

**UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA**

MAGISTRSKO DELO

**ODLOČITVENI MODEL ZA
IZBOR METODE GOSPODARJENJA Z ODPADKI**

LJUBLJANA, SEPTEMBER 2007

ROK ČINKOLE

IZJAVA

Študent Rok Činkole izjavljam, da sem avtor tega magistrskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom prof. dr. Vladislava Rajkoviča in skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovolim objavo magistrskega dela na fakultetnih spletnih straneh.

V Ljubljani, dne 21. 09. 2007

Podpis:

Kazalo

1. UVOD.....	1
1.1 OPIS PROBLEMATIKE	1
1.2 NAMEN IN CILJ MAGISTRSKEGA DELA.....	2
1.3 METODE DELA	3
1.4 STRUKTURA MAGISTRSKEGA DELA.....	3
2. OKOLJEVARSTVENA PROBLEMATIKA.....	4
2.1 REŠEVANJE PROBLEMATIKE ODPADKOV V SVETU	6
3. IZBOR SISTEMA ZA PODPORO ODLOČANJU	8
3.1 SAATYEVA METODA - AHP	11
3.2 KVALITATIVNA METODA - DEX	14
4. METODA VREDNOTENJA	17
4.1 EKONOMSKI UČINKI	18
4.1.1 <i>Odlaganje na komunalni deponiji</i>	<i>23</i>
4.1.2 <i>Ločeno zbiranje z recikliranjem</i>	<i>24</i>
4.1.3 <i>Incineracija.....</i>	<i>24</i>
4.1.4 <i>Postopek MBB.....</i>	<i>24</i>
4.1.5 <i>Mehansko biološka obdelava in stabilizacija</i>	<i>25</i>
4.2 VPLIVI NA OKOLJE	25
5. PREGLED IZBRANIH ALTERNATIV	27
5.1 ODLAGANJE ODPADKOV NA KOMUNALNI DEPONIJI.....	28
5.2 LOČENO ZBIRANJE Z RECIKLIRANJEM	30
5.3 INCINERACIJA	32
5.4 MEHANSKO BIOLOŠKA OBDELAVA.....	34
6. REŠEVANJE S SAATYEVO METODO.....	41
6.1 DEFINIRANJE PROBLEMA.....	42
6.2 IZGRADNJA MODELA	43
6.3 ZAGOTOVITEV PODATKOV	44
6.4 POSTOPEK IZBIRE NAJBOLJŠE REŠITVE	46
6.4.1 <i>Pregled in opis posameznih kriterijev vrednostne funkcije.....</i>	<i>47</i>
6.4.2 <i>Pregled in opis posameznih alternativ.....</i>	<i>51</i>
6.4.3 <i>Primerjava alternativ med seboj.....</i>	<i>51</i>
6.5 TESTIRANJE REŠITEV IN ANALIZA REZULTATOV.....	58
6.6 PRAKTIČNA UPORABA	59

7. REŠEVANJE Z METODO DEX	60
7.1 IDENTIFIKACIJA PROBLEMA.....	61
7.2 STRUKTURIRANJE KRITERIJEV	62
7.3 DEFINICIJA FUNKCIJ KORISTNOSTI.....	63
7.4 OPIS VARIANT	66
7.5 VREDNOTENJE IN ANALIZA VARIANT	68
7.6 VREDNOTENJE IN ANALIZA S PROGRAMOM VREDANA	70
8. PRIMERJAVA UPORABLJENIH METOD	72
9. SKLEP	74
10. LITERATURA	76
11. VIRI	80
12. KAZALO TABEL	82
13. KAZALO SLIK	84

Povzetek

ODLOČITVENI MODEL ZA IZBOR METODE GOSPODARJENJA Z ODPADKI V magistrskem delu je prikazano reševanje okoljevarstvene problematike s pomočjo orodij za podporo pri odločanju med različnimi koncepti ravnanja z odpadki. Prikazane so prednosti in pomanjkljivosti Saatyeve metode ter večparametrskega odločanja, podprtega s programskima orodjema DEXi in Vredana.

Ključne besede:

Sistemi za podporo odločanju, večparametrsko odločanje, Saatyev model, DEXi, Vredana, okoljevarstvena problematika

Abstract

DECISION MODEL FOR SELECTION OF WASTE TREATMENT METHOD

Master thesis shows help of decision support systems in case of selection between different concepts of waste treatment. Positive and negative findings of usage of Saaty method and multi-attribute decision system, supported by software DEXi and Vredana are shown.

Key words:

Decision support systems, multi-attribute decision making, Saaty model, DEXi, Vredana, environmental care

1. UVOD

1.1 Opis problematike

Odločanje predstavlja skozi celotno človeško zgodovino pomemben mentalen proces, ki včasih posredno, drugič pa neposredno vpliva na razvoj dogodkov. Obstaja neskončno vrst in tipov odločanja, od enostavnih operativnih odločitev, ki nas spremljajo v vsakdanjem življenju, do kompleksnih ali strukturiranih, dolgotrajnih procesov odločanja v osebnem in poslovnem svetu.

Tako ni presenetljivo dejstvo, da si je človek z napredkom informacijske tehnologije dokaj kmalu zaželel imeti zanesljiv in sposoben stroj (program), ki bi mu kot nekakšen virtualni svetovalec, pomagal pri kompleksnejših odločitvah. Računalniška podpora je bistveno poenostavila in hkrati izboljšala odločevalski proces, ter s tem ponudila možnost, da se lažje osredotočimo na kvaliteto podatkov, ki determinirajo odločitveni problem, ter na izbor in vrednotenje kriterijev, ki jih pri odločanju upoštevamo. Kljub napredku pa še vedno lahko govorimo le o podpori pri odločanju in ne odločanju samem, saj so tovrstni ekspertni sistemi navsezadnje zgolj računalniški programi, ki naj bi delovali tako kot človeški eksperti, še vedno pa jim ne moremo prepustiti avtomatizacije odločanja v primeru kompleksnih odločitev. Izjema so seveda preproste odločitve, kjer je odločitveni problem trivialno in enolično (ponavadi matematično) določen.

Kvaliteta sistema podpore odločanju vedno temelji na kvalitetnih vhodnih podatkih ter jasno določenih gradnikih sistema. Razvoj tehnologije zbiranja in skladiščenja ogromne množice podatkov danes omogoča odkrivanje potencialno uporabnega znanja s pomočjo rudarjenja podatkov (angl. »*Data mining*« - DM), ki temelji na iskanju vzorcev in povezav med podatki iz katerih lahko pridobimo uporabne vrednosti (Dhar, Stein, 1997, str. 21). Med najpomembnejšimi metodami DM najdemo statistične metode, vizualizacijo podatkov, metode strojnega učenja, asociacijska pravila in razvrščanje v skupine (Gasar et al., 2002, str. 508). Razvoj in uporaba podatkovnega rudarjenja sta se izkazala tudi

kot ena izmed prednosti modela sodobnega vodenja - TQM (angl. *Total Quality Management*), saj je bilo s tem omogočeno obravnavanje strukturiranih in nestrukturiranih rešitev z informacijskimi sistemi (Bidgoli, 1997, str. 282).

V pričujočem magistrskem delu želim na konkretnem problemu predstaviti nekaj možnosti uporabe programske opreme, kot podpore v procesu odločanja. Gre za problem izbire metode gospodarjenja z odpadki, ki je po eni strani, zaradi svoje kompleksnosti, zanimiv za tovrsten prikaz, po drugi strani pa zelo aktualen in pereč. Analize in trendi namreč kažejo, da je zaradi nepremišljenega ravnanja z odpadki v preteklosti enostavno zmanjkalo prostora za odlaganje vedno večje količine nastajajočih odpadkov. Razviti je bilo potrebno nove metode obdelave odpadkov, ki bi ta problem na učinkovit in hkrati ekonomsko optimalen način poskušale odpraviti. Izbrane metode so v nadaljevanju podrobneje opisane, pri vrednotenju posameznih metod pa je uporabljen tudi nedavno razvit in svetovno priznan sistem, imenovan LCI (angl. *LifeCycle Inventory*), ki omogoča nepristransko vrednotenje posameznih kriterijev. Pri svojem delu sem preveril dve različni metodi (Saatyevo metodo AHP in kvalitativno večparametrsko metodo DEX) ter na osnovi primerjave njunih specifičnih lastnosti in rezultatov poskušal izbrati primernejšo za tovrstne odločevalske primere.

1.2 Namen in cilj magistrskega dela

Moj namen je na konkretnem in aktualnem problemu predstaviti odločevalski proces, podprt z računalniškim sistemom odločanja. Pri tem želim primerjati različne modele računalniške podpore in na podlagi rezultatov določiti primernejšega za uporabo v tovrstnih primerih.

Z magistrskim delom želim torej doseči naslednje:

1. predstaviti kvalitativni pomen odločanja, podprtega z računalniškim sistemom;
2. na konkretnem primeru uporabiti dve različni metodi, kot pomoč pri izbiri optimalnega načina gospodarjenja z odpadki;

3. primerjati prednosti in slabosti obeh uporabljenih metod ter generalizirati njuno uporabo za tovrstne tipe odločevalskih problemov.

1.3 Metode dela

V magistrskem delu skušam sprva razložiti pomen izbranega problema in ga na ta način, s pomočjo izbora strokovne literature, uvrstiti med pereče probleme sodobnega časa. V nadaljevanju na osnovi literature na kratko opišem uporabljene odločitvene metode ter računalniška programa, ki te metode uporabljata. Ker so pri tovrstnih problemih izjemnega pomena podrobni opisi alternativ in kriterijev, so le ti opisani na osnovi dolgoletnega poznavanja problematike. Celotno magistrsko delo tako prikazuje teoretična spoznanja s področja sistemov za podporo pri odločanju in njihovo povezavo z dejansko uporabo v praksi.

1.4 Struktura magistrskega dela

Magistrsko delo je razdeljeno na devet poglavij. Po krajšem uvodu je v drugem poglavju razložen izbor problema, ter načini na katerega se tovrstne problematike lotevajo v svetu.

Tretje poglavje opisuje možnosti modeliranja odločitvenega modela z uporabo kvantitativne in kvalitativne metode. Kot kvantitativna je prikazana Saatyeva AHP metoda večparametrskega odločanja, kot kvalitativna pa metoda DEX. Obe metodi sta podprti z računalniškima programoma, uporabljenima za analizo konkretnega primera.

Četrto poglavje podrobneje predstavi metodo vrednotenja kriterijev LCI, ki je bila v svetovnem merilu izbrana kot priporočena univerzalna metoda s področja gospodarjenja z odpadki. Ker je kvaliteta vrednotenja alternativ v močni korelaciji s kvaliteto vhodnih podatkov, je metoda LCI opisana dokaj podrobno.

Peto poglavje je posvečeno opisu predlaganih alternativ na področju gospodarjenja z odpadki in sicer so to: klasično deponiranje odpadkov, incineracija (sežig), ločeno zbiranje in mehansko-biološko obdelava.

V šestem poglavju je prikazana praktična uporaba Saatyve metode ter njeni rezultati, medtem ko je v sedmem poglavju primer obravnavan z metodo DEX oz. programskim orodjem DEXi. Rezultati programa DEXi so zaradi razširjene možnosti analize in lažjega vrednotenja obdelani še s programom Vredana.

V osmem poglavju so predstavljeni rezultati analiz ter prednosti in slabosti obeh odločevalskih orodij.

Magistrsko delo se zaključi v devetem poglavju s povzetkom in razmišljanjem o nadaljnjem delu na tem področju.

2. OKOLJEVARSTVENA PROBLEMATIKA

Problematika varovanja okolja je stara skoraj toliko kot moderna človeška zgodovina, bistveno večjo pozornost pa ji posvečamo šele v zadnjem stoletju. Odnos do okolja je potrebno korenito spremeniti na številnih področjih, med katerimi pa so zagotovo najpomembnejši: kontroliran izpust emisij toplogrednih plinov v ozračje, skrb za vire pitne vode, izginevanje tropskih gozdov ter zmanjšanje onesnaževanja kopnega in morja.

Ljudje v civiliziranem svetu, kjer je zrak še relativno čist, tropskih gozdov nimamo, pitne vode pa je zaenkrat dovolj, si dolgoročnih posledic zgoraj navedenih problemov ponavadi ne znamo predstavljati, lahko pa si predstavljamo problem, ki ga imamo praktično pred našimi domovi – komunalne odpadke. Pomanjkanje prostora za odlaganje odpadkov je kot posledica ekonomske globalizacije, industrializacije in nekontrolirane rasti svetovne populacije postalo globalen problem, ki zadeva tako bogate, kot tudi revnejše in nerazvite države. V svetu je bilo do danes razvitih že precej različnih

načinov gospodarjenja z odpadki, njihova uporaba v praksi pa je vedno odvisna od cele vrste mikro in makro dejavnikov, kot so npr.: ekonomska stopnja razvoja družbe, razvoj okoljevarstvene zavesti ljudi, prostorske omejitve, navade potrošnikov, ipd.. Tudi med državami, ki so na enaki stopnji ekonomskega in "kulturnega" razvoja (npr. države EU), obstajajo pogosto velike razlike v načinu gospodarjenja z odpadki. Konkretno se na primer v Sloveniji odpadki pretežno odlagajo, v Nemčiji, Franciji in na Danskem pa sežigajo.

Vprašanje, ki si ga torej zastavljamo je: "Ali je možno izoblikovati smernice, ki bodo določile ekonomsko in ekološko optimalno strategijo gospodarjenja z odpadki za dano sredino?" V tem primeru si lahko pomagamo z odločitvenim modelom, ki nam bo izmed vnaprej izbranih načinov gospodarjenja z odpadki pomagal izbrati tistega, ki bo v najboljši meri zadostil vsem kriterijem. Pri tako kompleksnem problemu imajo pomembno vlogo vsi družbeni partnerji (politika, gospodarstvo in družba), še posebej pa industrija, ki predstavlja glavni vir odpadkov. Le-ta lahko namreč na eni strani sodeluje pri predelavi in oskrbi končnih odpadkov, na drugi pa pomaga pri samem viru nastajanja odpadkov. Razvija lahko izdelke in polizdelke, ki so okolju prijaznejši, kot odpadek pa lažji za nadaljnjo obdelavo, ponovno uporabo ali recikliranje. Odličen primer je recimo embalaža, katero poskušajo proizvajalci bodisi minimizirati, bodisi jo narediti okolju prijaznejšo. Vodilo razvoja na tem področju je manjša poraba naravnih surovin in energije, znižanje škodljivih emisij v zrak, vodo in zemljo do najnižje možne mere ter ustvarjanje manjše količine odpadkov. Eden izmed vidikov tega t.i. "več z manj" (angl. *More with less*) pristopa je koristnejša in učinkovitejša izraba odpadkov, ki rezultira v zmanjšanju količine odpadkov ter povrnitvi njihove uporabne vrednosti, kjer je le mogoče. S tem pa je ponavadi povezana tudi ekonomska upravičenost naložbe.

Za podrobnejšo obravnavo problematike, si je potrebno natančneje pogledati opredelitev pojma "odpadek", saj bi si ga sicer lahko različno razlagali. Iste stvari lahko namreč v drugi perspektivi dobijo povsem drug pomen. Gledano s pravne plati, torej v skladu s Pravilnikom o ravnanju z odpadki (Uradni list RS, št. 84/98) je odpadek "vsaka snov ali predmet, razvrščen v eno od skupin odpadkov, ki ga imetnik ne more ali ne želi uporabiti sam, ga ne potrebuje, ga moti ali mu škodi, ga zato zavrže, namerava ali mora zavreči." Odpadek je tudi

“vsaka snov ali predmet, ki ga je treba zaradi varstva okolja ali druge javne koristi prepustiti v zbiranje, oddati v predelavo ali odstranjevanje, prevažati, predelati ali odstraniti na predpisan način.” Zelo podobne slovenski interpretaciji so tudi ostale, kot primer naj navedem le nemško, ki pravi, da je odpadek vsaka premična stvar, katero je lastnik zapustil (Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996, str. 10). K temu spadajo še členi, ki govore o živalih, jedrski energiji, eksplozivnih telesih, gradbenih odpadkih ter raznih okoljskih emisijah. Odpadke ločimo med seboj po različnih kriterijih, vsakega pa v sodobni zakonodaji najdemo pod šifro v klasifikacijskem seznamu odpadkov. Najosnovnejša delitev je po vrsti odpadkov, kjer poznamo gospodinske, komunalne, industrijske in ostale odpadke. Za sam način ravnanja z odpadki je, zaradi praktičnih razlogov, zelo pomembna tudi delitev po kraju nastanka odpadka, ki je lahko mesto, podeželje ali industrija. Pri določanju končne oskrbe z odpadki, pa je potrebno upoštevati tudi sociološke parametre, predvsem zaradi negativnega pristopa do posameznih tehnologij v neposredni ali širši okolici posamezne skupnosti. Ponavadi skupnost ali posamezniki ne dovolijo dovoza odpadkov iz druge skupnosti v svojo bližino, brez ustrezne obdelave. Metoda LCI imenuje takšen način ravnanja posameznikov in skupin kot NIMBY efekt (NIMBY – *Not in my backyard*; slov. ne na mojem dvorišču).

2.1 Reševanje problematike odpadkov v svetu

Do danes še niso odkrili tehnologije, ki bi povsem preprečevala nastanek odpadkov ali omogočala ekonomsko upravičeno 100% izrabo teh odpadkov. Nastanku odpadkov se torej ne moremo izogniti, trend kaže celo vsakoleten prirast količine nastalih odpadkov. V tabeli 2.1 so prikazani podatki o količinah odpadkov v Sloveniji v obdobju med leti 2001 in 2005¹.

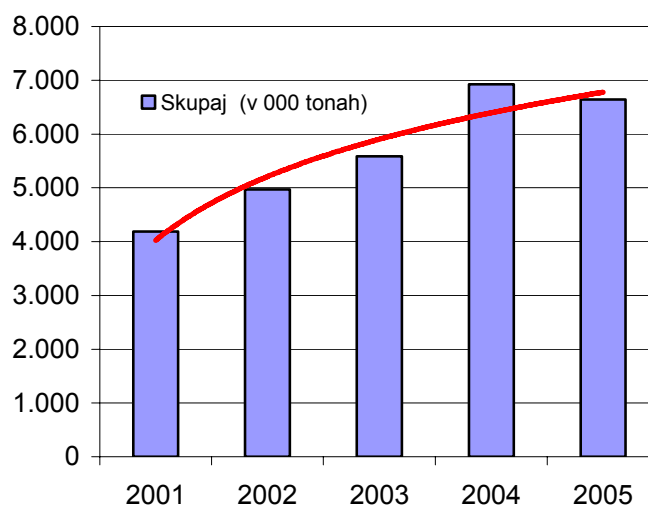
¹ Podatki za leto 2001 so zbrani iz Statističnega letopisa za leto 2003, podatki za leta 2002 do 2005 pa iz Statističnega letopisa za leto 2006.

Tabela 2.1: Letne količine odpadkov v Sloveniji, za obdobje od 2001 do 2005 (v 000 tonah)

Leto	Industrijski odpadki	Komunalni odpadki	Nevarni odpadki	Skupaj (v 000 tonah)
2001	3.135	986	68	4.189
2002	4.090	812	67	4.969
2003	4.686	834	68	5.588
2004	5.981	833	110	6.924
2005	5.669	845	127	6.642

Vir: Statistični urad RS (SI – Stat. podatkovni portal), 2006

Slika 2.1: Letne količine odpadkov v Sloveniji, za obdobje od 2001 do 2005 s prikazanim (logaritemskim) trendom



Vir: Statistični urad RS (SI – Stat. podatkovni portal), 2006

Če podatke preračunamo na število prebivalcev ugotovimo, da je v letu 2005 vsak Slovenec *pridelal* okoli 422 kg komunalnih odpadkov, ob upoštevanju industrijskih odpadkov pa več kot 3,3 tone odpadkov. Podobna situacija kot v Sloveniji je tudi v drugih državah, kar je kot posledica globalizacije tudi razumljivo. Povsod sicer navajajo zaokrožene ocene, ker se razmere spreminjajo po sezonah in pokrajinah, kljub temu pa so številke dovolj natančne za splošno primerjavo. V Avstriji npr. nastane letno na prebivalca okoli 230 kg odpadkov, v Franciji 270 kg, v Nemčiji in na Švedskem 320 kg, na Japonskem 340 kg, v Švici

380 kg, na Norveškem 470 kg in v ZDA 740 kg. Različna je tudi vsebina odpadkov. Primerjave z evropskimi državami nas opozarjajo, da lahko s smotrnim ravnanjem precej zmanjšamo količino odpadkov in da so smernice v strategiji uresničljive (Svet za varstvo okolja Republike Slovenije, 2006).

Danes poznane tehnologije ravnanja z odpadki so večinoma osredotočene na zmanjšanje količine že nastalih odpadkov, tako po teži, kot po volumnu. Predvsem v zadnjem času se pojavlja tudi preventivna skrb za odpadke, ki bodo nastali v prihodnosti in skrb, da odpadki sploh nebi nastali. Proizvajalci torej že pri zasnovi dobrin upoštevajo ponovno uporabo ali lažje uničenje po preteku življenjske dobe dobrine. Takšen trend je opaziti v avtomobilski industriji, ki vedno več vlaga v recikliranje. Počasi se na področju varovanja okolja »prebujajo« tudi ostala podjetja, ki se zavedajo deljene odgovornosti za odpadke, ki jo nakazuje Peti akcijski program EU. Znanih je že kar nekaj tovrstnih primerov, za droben primer vzemimo recimo proizvajalce plastičnih vrečk, ki med plastično maso dodajo škrob in s tem pomagajo pri biološkem razkroju odvržene vrečke.

Kljub tovrstnim uspešnim primerom se naša civilizacija ne zna izogniti nastajanju odpadkov, zato je potrebno investirati v tehnologije, ki bodo poleg reševanja škodljivih vplivov na okolje, kar najbolje izkoristile nastale odpadke.

3. IZBOR SISTEMA ZA PODORO ODLOČANJU

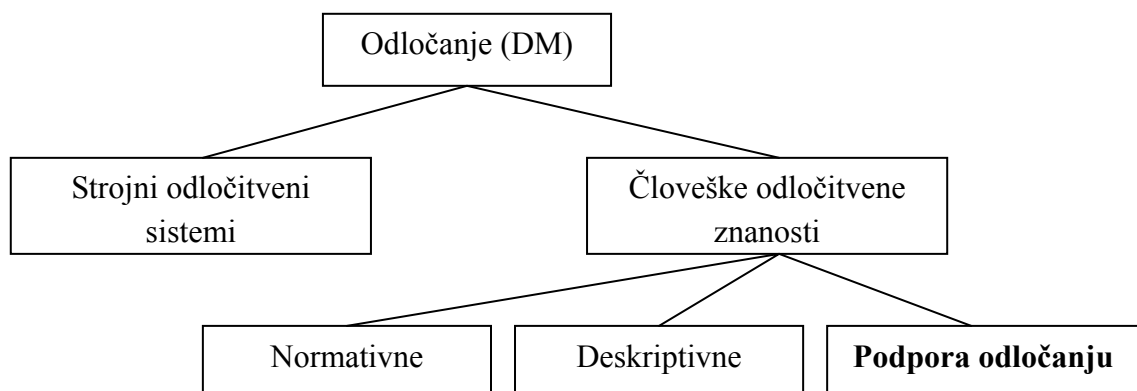
Kadar se odločamo o kompleksnih odločitvah, pri katerih je pomembno upoštevati mnogo dinamičnih oz. variabilnih spremenljivk, ponavadi potrebujemo sistem za podporo pri odločanju. Sprague in Carlson (1982) tovrsten sistem označita kot interaktiven, računalniško podprt sistem, ki pomaga odločevalcem izkoristiti podatke in modele za reševanje nestrukturiranih problemov. Ker je danes na voljo precej različnih ekspertnih sistemov, ki se med seboj ločijo tako po zasnovi, ki določa možnosti uporabe, kot tudi po različno zahtevni stopnji interakcije z uporabnikom, je pomembno, da izberemo sistem, ki bo kar najbolje ustrezal svojemu namenu ter strokovnosti uporabnika. V vsakem primeru mora imeti sistem enostaven vmesnik za komunikacijo z

uporabnikom in biti odprt za zamisli uporabnika (Turban, Aronson, 1998, str. 77).

Posebno skrb je potrebno nameniti vhodnim podatkom, ki pa v času informacijske družbe nebi smeli predstavljati problema, vse dokler smo jih sposobni ustrezno filtrirati oz. grupirati ter na takšen način zagotoviti njihovo kvaliteto. Za obvladovanje velike količine znanja so razvili moderne metode (npr. bazene znanja), ki omogočajo označevanje, razvrščanje in shranjevanje informacij (Pivec, Rajkovič, 1999, str. 450). To so osnovna vodila, če želimo korak naprej, torej iz informacijske družbe v družbo znanja (angl. »*Knowledge society*«) (Gütl, 1998, str. 2). Po letu 1990 so se na trgu uveljavile štiri ključne tehnologije obvladovanja podatkov. Prva tehnologija je skladiščenje podatkov, kot nadgradnja sta sledili OLAP in podatkovno rudarjenje (angl. »*data mining*«). Četrta, nova tehnologija, pa je spletna tehnologija, ki je doživela veliko zanimanje v teh letih in še večji odmev bo imela v prihodnosti. Vse te tehnologije ostajajo vroča tema v podjetjih in akademskih publikacijah (Shim, 2002, str. 120). Glede na trend nadaljnjega razvoja lahko ugotovimo, da so najnaprednejša orodja tista, ki omogočajo vzajemno povezovanje med možnostmi sodobne informacijske tehnologije in ustvarjalnimi sposobnostmi človeka (Mayer, 2001, str. 97).

Pri izboru metode za podporo odločanju naletimo na dve različni veji tovrstne podpore. Prva se nanaša na strojne odločitvene sisteme, druga pa na znanosti, ki jih uporablja zgolj človek. Kadar govorimo o podpori pri odločanju govorimo le o slednji (Bohanec, 2001, str. 88).

Slika 3.1: Vloga podpore odločanju pri odločanju



Vir: Bohanec, 2001, str. 87

Pri gradnji odločitvenih modelov se ne smemo ustrašiti številnih problemov, na katere ponavadi naletimo, saj se moramo zavedati, da problemi niso nikoli tehnološke narave, marveč človeške. Carlsson in Turban (2002, str. 107) sta pojasnila razloge za obstoj »človeških« problemov:

- ljudje imamo kognitivne ovire pri sprejemanju inteligentnih sistemov
- ljudje ne razumemo podpore, katere smo deležni in se ji odrekamo zaradi preteklih izkušenj in pričakovanj
- ljudje ne zmoremo procesirati velikih količin informacij in znanja
- ljudje so frustrirani s teorijami, ki jih ne razumemo dobro
- ljudje verjamejo, da lahko dobijo boljšo podporo s pogovorom z ostalimi (čeprav je njihovo znanje omejeno)

V obravnavanem primeru je prikazan računalniško podprt odločitveni sistem, ki služi kot pomoč pri odločanju o tehnologiji gospodarjenja z odpadki. Pri tem so poleg ekonomskih, zelo pomembni tudi ekološki in socialni vplivi na okolje. Prav tako ne iščemo enega samega sintetičnega kazalca, ki bi kazal na najboljšo tehnologijo, ampak bomo izoblikovali kriterije, ki jih morajo posamezne tehnologije izpolnjevati, da so v določeni situaciji sprejemljive. Na osnovi tako izdelanega sistema bomo lahko poljubno dodajali morebitne nove tehnologije ravnanja z okoljem, ter s tem na preprost način nadgradili izbor možnih alternativ. Kar v danem primeru torej potrebujemo je večkriterijsko odločanje, pri katerem je izbor ene izmed ponujenih alternativ pogojen z več kriteriji, ki pa niso vsi enako pomembni.

Za rešitev problema sem izbral dve podobni metodi, ki pa alternative vrednotita na povsem drugačnem principu. Saatyeva kvantitativna metoda uporablja pristop AHP (*Analytic Hierarchy Process* – slov. analitično hierarhični proces), opisan v nadaljevanju. Za izračun vrednosti posameznih kriterijev tako uporablja matematične formule, ki dajo natančen rezultat. Druga metoda, ki si jo bomo ogledali in je implementirana v program DEXi pa je za razliko od Saatyeve kvalitativna. Pri DEXIju namreč ni vnaprej določenih matematičnih formul, ampak so namesto njih uporabljena nelinearna pravila, ki jih določi uporabnik sam. Izbrani primer je le eden izmed množice problemov, zato je primarna naloga ugotoviti pozitivne in negativne lastnosti obeh uporabljenih metod.

3.1 Saatyeva metoda - AHP

Po Saatyevi metodi se odločamo na podlagi dveh vrst primerjav, ki jih ljudje poznamo – absolutnih in relativnih. Absolutne primerjave so tiste, kjer obravnavamo vrednost primerjamo z neko splošno uveljavljeno predstavo o tem, kakšna bi ta vrednost morala biti. Pri relativnih primerjavah pa nasprotno, primerjamo le različne alternative med seboj. Od vrste problema in razpoložljivosti podatkov je tako odvisno katero vrsto primerjav bomo uporabili (Saaty, Vargas, 1994, str. 24). V končni fazi se seštejejo vrednosti posameznih kriterijev in normalizirana vrednost tega rezultata predstavlja končno vrednost posamezne alternative.

V osnovi Saatyev program temelji na linearni vrednostni funkciji :

$$v(\mathbf{x}) = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_m x_m$$

Vrednost vrednostne funkcije na alternativni x , je torej izračunana kot vsota produktov $w_i \cdot x_i$, kjer je w_i utež, ki pripada i -temu kriteriju in meri pomembnost tega kriterija ter x_i vrednost i -tega kriterija za alternativo x . Pri tem je potrebno oceniti uteži in ovrednotiti alternative po vsakem kriteriju.

Vrednostna funkcija $v(x)$ meri stopnjo zaželenosti alternative x . Alternative razvrščamo s pomočjo vrednostne funkcije, pri čemer velja, da je alternativa x bolj zaželena od alternative y natanko takrat, kadar je $v(x) > v(y)$.

Po Saatyevemu postopku najprej ustvarimo (kvadratno) matriko A , ki predstavlja matriko vseh primerjav med pari m kriterijev ($A = a_{ij}$ ($i = 1..m, j = 1..m$)). Primerjave oziroma preferenčne relacije opravimo na osnovi naslednje lestvice:

- 1... kriterija i in j sta enako pomembna
- 3... kriterij i je malce pomembnejši od kriterija j
- 5... kriterij i je opazno pomembnejši od kriterija j
- 7... kriterij i je bistveno pomembnejši od kriterija j
- 9... kriterij i je absolutno pomembnejši od kriterija j

Pri ocenjevanju pa lahko uporabimo tudi vmesne vrednosti na lestvici. Za tako dobljeno pozitivno recipročno matriko velja, da ima le-ta na diagonali, kjer primerjamo vsak kriterij samega s seboj, enice, simetrične vrednosti matrike pa so inverzne (Mrvar, 1992, str. 35). Zavedati se moramo problema usklajenosti, oziroma konsistentnosti kompenzacijskih faktorjev ($a_{ik} * a_{kj} = a_{ij}$) in v primeru anomalij primerjave ponovno opraviti (Omladič, 2002, str. 113).

V naslednjem koraku izračunamo vektor uteži, oziroma pomembnosti kriterijev $w = [w_1, w_2, \dots, w_m]$, največjo lastno vrednost matrike, indeks usklajenosti in slučajni indeks.

Vektor w dobimo tako, da rešimo problem lastnih vrednosti matrike A , saj velja, da je λ največja lastna vrednost matrike A , w pa njen pripadajoči lastni vektor ($Aw = \lambda w$). Lastni vektor Saatyev program izračuna na osnovi potenčne metode, pri kateri matriko potenciramo na neko dovolj veliko potenco, nato seštejemo in normaliziramo po vrsticah tako, da je vsota vseh vrednosti enaka ena.

Največja lastna vrednost matrike se izračuna po formuli:

$$\lambda = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{(Aw)_i}{w_i}$$

m ... število kriterijev

w ... vektor uteži

Največja lastna vrednost je vedno večja od števila kriterijev, razen v primeru popolne usklajenosti, ko sta vrednosti enaki.

Indeks usklajenosti I se izračuna po naslednji formuli:

$$I = \frac{\lambda - m}{m - 1}$$

V zadnjem koraku izračunamo še slučajni indeks I_R , ki ga dobimo tako, da indeks usklajenosti primerjamo z indeksom, ki ga dobimo iz slučajno generiranih

pozitivnih recipročnih matrik enakih dimenzij nad lestvico 1..9 (Mrvar, 1992, str. 40).

Tabela 3.1: Vrednosti slučajnega indeksa I_R pri različnih dimenzijah matrike

m	2	3	4	5	6	7	8	9
I_R	0,50	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Vir: Mrvar, 1992.

Matrika je dovolj usklajena v primeru, da je $I/I_R < 0,1$, v nasprotnem primeru pa je potrebno določene primerjave kriterijev popraviti. Tako lastno vrednost matrike, kot tudi oba indeksa nam Saatyev program seveda samodejno izračuna.

Kadar uporabljamo računalniški program je dovolj, da le pripravimo podatke, na osnovi katerih temelji odločanje. Na začetku razbijemo odločitveni problem na tri nivoje, saj tak način omogoča celoten – holističen pregled nad kompleksno odločitveno situacijo in hkrati olajša delo pri neposredni primerjavi ocenjevanih alternativ.

Večnivojska hierarhična struktura se tako deli na naslednje nivoje:

- Cilj
- Kriteriji
- Alternative

Na prvem nivoju opredelimo cilj našega odločitvenega problema, ki ga želimo z izbiro ene izmed alternativ v odločitvenem procesu tudi rešiti. Cilj moramo določiti jasno in nedvoumno, saj je to bistvenega pomena za izbiro prave alternative.

Na drugem nivoju predstavimo kriterije, na osnovi katerih se odločamo med alternativami. Primerjamo lahko samo homogene in simultano primerljive kriterije, katere v primeru, da v osnovi niso taki, ovrednotimo na način, da dobijo skupni imenovalec. Pri izbiri kriterijev moramo biti pozorni na to, da

izberemo le tiste, ki so bistvenega pomena pri doseganju zelenega cilja. V primeru, da bo teh kriterijev preveč, se oddaljimo od osnovnega načela preglednosti nad situacijo, prav tako pa si otežimo delo z ocenjevanjem posameznih kriterijev. Kadar kljub vsemu ne moremo zmanjšati števila kriterijev, jih grupiramo in tako ustvarimo v naši hierarhiji nadkriterije (Mrvar, 1995, str. 198). To je nazorno prikazano tudi na obravnavanem primeru.

Na zadnjem nivoju so predstavljene alternative med katerimi se odločamo. Opredelitev teh alternativ mora biti dovolj natančna in obširna, da predstavlja realno sliko in rešitev problema, ter morebitne predvidene izboljšave v prihodnje.

Model mora na koncu ustrezati še štirim osnovnim aksiomom, ki opredeljujejo naslednje bistvene sestavine:

- Opredelitev recipročne relacije tipa $a_{ij} = 1/a_{ji}$
- Primerjavo homogenih elementov
- Hierarhično in sistemska odvisnost ter opredelitev veljavnosti ranga in
- Izhodno vrednost (rezultat) in njeno odvisnost od strukture problema

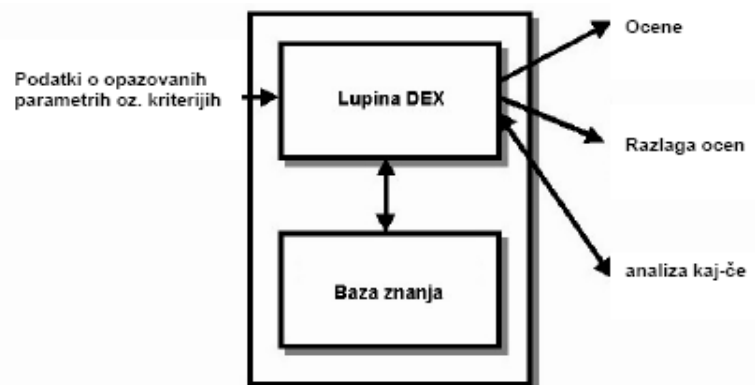
3.2 Kvalitativna metoda - DEX

DEXi je slovenski program, razvit za potrebe večparametrskega odločanja (Jereb et al., 2003, str. 5). Njegove kvalitete se skrivajo predvsem v izjemni prilagodljivosti, preprosti uporabi in nenazadnje dejstvu, da je za domačo uporabo na voljo brezplačno. DEXi temelji na lupini ekspertnega sistema DEX, razvitega na Inštitutu Jožef Štefan v Ljubljani v letu 1990 (Bohanec, Rajkovič, 1990, str. 146). V primerjavi z ostalimi večkriterijskimi sistemi lahko ugotovimo, da DEXi uporablja kvalitativne diskretne kriterije, pri čemer so vrednosti ponavadi opisane z besedami. Funkcije koristnosti pa so podane s preprostimi odločitvenimi pravili tipa: če – potem. Na ta način je funkcija koristnosti podana po točkah.

Pri delu z DEXIjem je potrebno poznati nekaj osnovnih pravil. Tipična lastnost večparametrskega odločanja je v tem, da je problem potrebno razgraditi na manjše podprobleme. Vsako alternativo tako sestavlja več kriterijev, ki se ocenjujejo sprva posamično, nato pa se po vnaprej določenih pravilih vrednosti teh kriterijev preračunajo na vedno višjih nivojih.

Vsak kriterij (atribut) predstavlja v drevesni strukturi vozlišče, kjer mu določimo eno izmed vrednosti, podanih v zalogi vrednosti. Le-ta je definirana s strani uporabnika v kvalitativni obliki. Preprosta uporaba DEXIja se pokaže pri določanju pravil prenašanja vrednosti po hierarhiji navzgor, saj so le ta lahko nelinearna in zato popolnoma poljubna. Najlažje si to pogledamo na primeru in sicer, če je recimo cena=visoka in vzdrževanje=enostavno, potem določimo pravilo, ki bo na hierarhično višjem nivoju dalo atributu ekonomičnost vrednost odlično. Lahko pa bi pravilo spremenili tako, da bi ob istih vrednostih obeh atributov bila ekonomičnost npr. srednje dobra. DEXi temelji na tipični DSS arhitekturi, kjer uporabnik zgradi odločitveni model, ga oplemeniti z bazo znanja (pravili za določanje funkcij koristnosti na posameznih vozliščih), ter na koncu vnese podatkovno bazo – posamezne alternative s pripadajočimi vrednostmi kriterijev. Povezava lupine DEXI in pripadajoče baze znanja je prikazana na sliki 3.2.

Slika 3.2: Shematični prikaz povezave lupine DEX in baze znanja

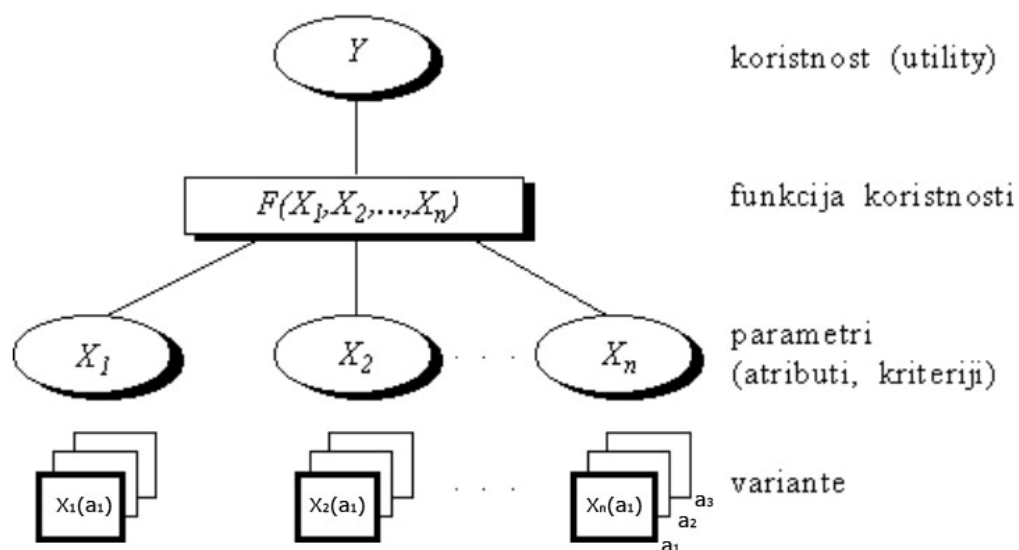


Vir: Rajkovič, 1999, str. 388

V tej arhitekturi je implementirano tudi večparametrsko odločanje, prikazano na sliki 3.3, kjer so nad alternativami, med katerimi se odločamo, prikazani prej opisani atributi – razčlenjene lastnosti vsake alternative. Večkriterijsko

modeliranje sledi konceptu večparametrskega odločanja, hkrati pa je še dodatno tudi formalno utemeljeno z matematičnimi koncepti (Bohanec, 2006, str. 30). Funkcija koristnosti je v našem primeru opisana z nelinearnimi pravili in pove, kako združevati vrednosti posameznih atributov v končno oceno posamezne alternative.

Slika 3.3: Večparametrski odločitveni model



Vir: Bohanec, Rajkovič, 1992, str. 429

Možnosti uporabe DEXIja je torej ogromno, zato ne preseneča dejstvo, da je bil že uporabljen pri podpori več deset zahtevnih realnih odločitvenih problemov doma in v tujini (Bohanec, Rajkovič, 1999, str. 71).

Še ena izmed prednosti DEXIja je njegova razširljivost oz. možnost nadgradnje. Njegove izhodne vrednosti lahko namreč analiziramo s programom Vredana, ki je namensko programsko orodje za vrednotenje in analizo alternativ. Vredana alternativ ne rangira zgolj po razredih, ampak vsaki določi natančno mesto v razredu. Njena prednost je tudi možnost uporabe *what-if* (slov. kaj-če) analize, ki nam omogoča igranje z vrednostmi posameznih kriterijev, to pa lahko posledično privede tudi do drugačne izbire najboljše alternative.

4. METODA VREDNOTENJA

Bistvenega pomena pri izgradnji odločitvenega modela sta kakovost in zanesljivost vhodnih podatkov. Ker gre pri ocenjevanju kriterijev pogosto za subjektivne ocene, je pri tem smotrno upoštevati standardiziran pristop do ocenjevanja, v kolikor le-ta seveda obstaja.

Na področju gospodarjenja z odpadki se je v zadnjem času pojavila metoda, imenovana LCI² (*Lifecycle Inventory*). Metoda uporablja za doseganje rezultatov več principov, med drugim integralni in celosten pristop, holistični pristop, celostni management (*Total Quality Management*) in druge.

Po metodi LCI spremljamo izbrani odpadki od "zibelke do groba". Zibelka je v našem primeru določena kot trenutek, v katerem izdelek izgubi vrednost in postane odpadki. Takrat je zeleno, da se istočasno "rodi" surovina, ki v postopku obdelave pridobi uporabno vrednost, oziroma možnost ponovne uporabe. Tako lahko pridobimo nove surovine, polizdelke ali (s podaljšano obdelavo) končne uporabne izdelke (Owens, 1996, str. 212). Prej navedena zakonska opredelitev odpadka je pri metodi LCI tako povsem drugačna.

Poglejmo si preprost, a dovolj nazoren primer:

Pred seboj imamo steklenico soka. Ko ga popijemo, vržemo steklenico med odpadke, čeprav je še pred minuto stala na naši mizi. Se je morda njena sestava medtem kaj spremenila? Odgovor je jasen, saj se je spremenil le eden od parametrov – dejstvo, da je steklenica sedaj prazna in da je namenjena na komunalno deponijo. Skupne lastnosti večine odpadkov so, da se nahajajo na napačnem mestu in v neustrezni koncentraciji. Nekateri pridobijo negativne lastnosti, ker so preveč koncentrirani (npr. težke kovine), drugi pa, ker so preveč razredčeni ali pomešani (npr. papir ali steklo).

Pri odločitvenem modelu moramo upoštevati vse kriterije za izbor določene tehnologije. V grobem jih lahko razdelimo na stroške same tehnologije (torej

² Prevod v slovenščino v strokovni literaturi še ni bil uporabljen, zato jo lahko imenujemo kot metoda življenjskega cikla. V literaturi najdemo tudi oznako LCA (angl. *Life Cycle Assessment*).

ekonomske učinke) in ekološke stroške, ki so zaradi svoje narave precej težje ugotovljivi, vendar ponavadi pomembnejši. Na podlagi vseh emisij v okolje, se namreč zastavljajo merila in omejitve za možnost uporabe določene tehnologije v praksi.

4.1 Ekonomski učinki

Kadarkoli govorimo o upravljanju oz. gospodarjenju z odpadki, govorimo tudi o stroških, ki pri procesiranju odpadkov nastajajo. Danes, ko praktično vse družbene dejavnosti postajajo čedalje bolj ekonomsko učinkovite, to postaja nuja tudi za komunalna podjetja. Ekonomski interes vidijo podjetja, ki se ukvarjajo s predelavo odpadkov v izboljšanih in cenejših tehnologijah od običajnih tehnologij predelave.

Globalno gledano se dobiček torej ne izračuna po klasični formuli,

$$\text{Dobiček} = \text{Prihodki} - (\text{Fiksni stroški} + \text{Variabilni stroški}),$$

marveč po formuli³ :

$$\text{Dobiček}_i = \text{Prihodki}_i - (\text{Fiksni stroški}_i + \text{Variabilni stroški}_i) + \text{Prihranek pri izboljšani tehnologiji}_i$$

Kje torej podjetja iščejo priložnost za zaslužek? V vsakem kraju obstaja nek uveljavljen sistem gospodarjenja z odpadki. Ekonomsko gledano se najboljši učinek doseže z nadgradnjo, oziroma počasnim in postopnim prehodom na učinkovitejši sistem. Počasen in postopen prehod pomeni, da se odpadki postopoma lahko drugače zbirajo, ter predelujejo in kombinirajo tako, da je proizvod nadalje uporaben. Pri tem ni nujno, da je predelava enega samega proizvoda donosna. Bistveno je, da v celoti dosežemo dobiček (izračunan po zgornji formuli). Nekatere tehnologije pokažejo svoje pomanjkljivosti prav na

³ Tako izračunan dobiček velja znotraj leta i , saj ne moremo naenkrat upoštevati vseh prihrankov, ki sicer dospevajo kasneje.

tem področju. Tako recimo pri sistemu ločenega zbiranja, z nadgradnjo osnovnega sistema gospodarjenja z odpadki, dobimo dva sistema, z dvojnimi stroški in povečanim vplivom na okolje. Kjer je odpadke prej pobiral le en komunalni avto, sta sedaj, zaradi ločenega zbiranja na viru, dva.

Kot že omenjeno, je dobiček predelovalnih podjetjih odvisen predvsem od ekonomičnosti njihove tehnologije v primerjavi s klasično. Prehod na nove tehnologije vedno pomeni temeljne spremembe obstoječega sistema, povezane z bistvenimi investicijskimi stroški. Integralni pristop ima veliko prednost prav v tem, da ne zahteva nujnega uvajanja vseh tehnoloških rešitev naenkrat. Praktično gre za postopne spremembe obstoječega sistema z majhnimi koraki. Postopek (integralno) vključuje tudi predelavo industrijskih odpadkov, kar sicer večina komunalnih podjetij ponuja v obliki ločenega sistema predelave.

Pri recikliranju in postopkih mehansko-biološke obdelave dobimo kot rezultat (poleg zmanjšanja količine odpadkov) tudi ponovno uporabne surovine, včasih celo pol-izdelke ali izdelke. Tako pridobljene surovine nam kot izredni prihodki neposredno povečujejo dobiček. Po metodi LCI lahko izredne prihodke upoštevamo takrat, ko dosežena tržna vrednost reciklatov preseže stroške samega recikliranja in transporta. Za recikliranje in nadaljnji razvoj na tem področju je torej bistvenega pomena stalno zniževanje stroškov postopka predelave.

V nekaterih primerih je težko doseči ustrezno ceno reciklata na trgu, saj je v osnovni obliki cenejši, oziroma so prihranki pri predelavi premajhni (Matas et al., 1992, str. 112). Takšen primer so recimo plastične mase. Povsem nasprotno je pri materialih, ki nam omogočajo velike energijske prihranke in so zato v reciklirani obliki cenejši. Primer predstavlja recimo recikliranje stekla ali aluminija, za katerega je znano, da se pri izdelavi porabi ogromno električne energije. Pri recikliranju aluminija lahko tako prihranimo do 95 % energije.

Problem transportnih stroškov poskušajo reciklažna podjetja rešiti nekoliko drugače. Na tem mestu se zastavlja vprašanje ali se ločeno zbiranje sploh splača. Sortiranje oz. ločevanje snovi, primernih za recikliranje je mogoče tudi iz skupno zbranih, torej pomešanih komunalnih odpadkov. Tehnologija, ki

omogoča ločevanje posameznih komponent je namreč na voljo že nekaj časa. Pri tem načinu je vprašljiva le kvaliteta določenih izsortiranih snovi. Tako recimo ni težav pri kovinah in plastiki, problem pa predstavlja papir, katerega papirnice zavračajo, če je bil prej pomešan z ostalimi odpadki.

Za odločitveni model je bistvenega pomena, da izberemo univerzalno metodo vrednotenja ekonomskih in ekoloških stroškov. Metoda LCI priporoča za vrednotenje stroškov enoto, ki jo imenuje skupni strošek na leto. Stroški zbiranja komunalnih odpadkov so namreč v večini primerov podani v enotah cena/gospodinjstvo/leto, pri industrijskih odpadkih pa cena/tono. Uporabljena enota skupni stroški/leto nam torej postavi na isti imenovalec obe, v praksi uporabljeni enoti. S tako določeno enoto lahko torej obravnavamo komunalne in industrijske odpadke hkrati.

Zaradi velikih razlik med podatki o stroških upravljanja z odpadki z istimi tehnologijami, ki jih najdemo v literaturi in zaradi dokaj različnih vhodnih podatkov (stroški dela, vključevanje in ne vključevanje lokacije, stroškov kapitala,...) ocenjujem, da ni smiselno preračunavanje teh stroškov, zato si raje pogledimo teoretično osnovo povprečnih stroškov posameznih tehnologij. Celoten prikaz stroškov je poenostavljen, saj ne upošteva stroškov kreditov in lokacije. Letni obratovalni stroški vključujejo vse obratovalne stroške (vključno z deponiranjem preostanka), amortizacijsko dobo opreme 25 let, ter letno količino povprečnih gospodinjstev odpadkov, ocenjeno na 200.000 ton. Oprema, ki se uporablja za obdelavo ali predelavo odpadkov je večinoma narejena zelo robustno, tako da znaša ob ustreznem vzdrževanju, njena življenjska doba tudi preko 25 let.

Tabela 4.1: Izračun stroškov po posameznih tehnologijah za 200.000 ton letnih gospodinjstev odpadkov

DEPONIRANJE			
	Povprečni podatki EU	Ljubljanska strategija	Mariborska strategija
Investicija		109 mio EUR	109 mio EUR
Zaprtje		12 mio EUR	12 mio EUR

Obratovalni stroški		80 EUR/t	89 EUR/t
C obrat/leto		16 mio EUR	17,8 mio EUR
C obrat/leto (vključena invest.)	18,5 mio EUR	20,4 mio EUR	22,2 mio EUR
C obrat/leto/tono (vključena invest.)	93 EUR/t	102 EUR/t	111 EUR/t

LOČENO ZBIRANJE Z RECIKLIRANJEM			
	Povprečni podatki EU	Ljubljanska strategija	Mariborska strategija
Investicija		1,7 mio EUR	
Obratovalni stroški		21 EUR/t	
C obrat/leto		20.000 ton = 420.000 EUR	
Deponiranje preostanka		180.000 ton = 18,4 mio EUR	
C obrat/leto (vključena invest.)	23 mio EUR	15 mio EUR	
C obrat/leto/tono (vključena invest.)	115 EUR/t	75 EUR/t	

INCINERACIJA			
	Povprečni podatki EU	Ljubljanska strategija	Mariborska strategija
Investicija		120 mio EUR	110 mio EUR
Obratovalni C		100 EUR/t	150 EUR/t
C obrat/leto		20 mio – 4,3 mio = 15,7 mio EUR	30 mio – 4,3 mio = 25,7 mio EUR
Deponiranje preostanka		55.000 ton = 7,2 mio EUR	55.000 ton = 7,2 mio EUR
Deponiranje nevarnega preostanka		6000 ton = 1,5 mio EUR	6000 ton = 1,5 mio EUR
C obrat/leto (vključena invest.)	30 mio EUR	24,4 mio EUR	34,4 mio EUR
C obrat/leto/tono (vključena invest.)	150 EUR/t	122 EUR/t	172 EUR/t

MEHANSKO – BIOLOŠKO BRIKETIRANJE (Postopek MBB)			
	Povprečni podatki EU	Ljubljanska strategija	Mariborska strategija
Investicija		12 mio EUR	
Obratovalni C		22 EUR/t	
C obrat/leto		4,4 mio EUR	
Deponiranje preostanka		2000 ton = 160.000 EUR	
C obrat/leto (vključena invest.)		4,6 mio EUR	
C obrat/leto/tono (vključena invest.)		22,8 EUR/t	

MEHANSKO BIOLOŠKA OBDELAVA + TOPLOTNA OBDELAVA			
	Povprečni podatki EU	Ljubljanska strategija	Mariborska strategija
Investicija		25 mio EUR + 78 mio EUR	37,6 mio EUR + 78 mio EUR
Obratovalni C		63 EUR/t + 115 EUR/t	87 EUR/t + 150 EUR/t
C obrat/leto		12,5 mio EUR + 11,5 mio EUR	17,4 mio EUR + 15,0 mio EUR
Deponiranje preostanka		60.000 ton = 4,8 mio EUR	60.000 ton = 4,8 mio EUR
Deponiranje nevarnega preostanka		30.000 ton = 4,3 mio EUR	30.000 ton = 4,3 mio EUR
C obrat/leto (vključena invest.)		37,2 mio EUR	46,1 mio EUR
C obrat/leto/tono (vključena invest.)		186 EUR/t	230 EUR/t

MEHANSKO BIOLOŠKA STABILIZACIJA + TOPLOTNA OBDELAVA			
Investicija		22,8 mio EUR + 110,0 mio EUR	33,6 mio EUR + 110,0 mio EUR
Obratovalni C		22 EUR/t + 108 EUR/t	95 EUR/t + 150 EUR/t
C obrat/leto		4,4 mio EUR	19,0 mio EUR

		+ 10,8 mio EUR	+ 15,0 mio EUR
Deponiranje preostanka		20.000 ton = 1,6 mio EUR	20.000 ton = 1,6 mio EUR
Deponiranje nevarnega preostanka		36.000 ton = 5,1 mio EUR	36.000 ton = 5,1 mio EUR
C obrat/leto (vključena invest.)		27,1 mio EUR	46,4 mio EUR
C obrat/leto/tono (vključena invest.)		136 EUR/t	232 EUR/t

Viri: European Commission, Cost-Benefit Analysis of the different municipal solid waste, 1997,
 IBE, d.d., Strategija ravnanja z odpadki v ljubljanski regiji, 1998,
 Heinz Steffen, Študija možnosti vključitve mehansko-biološke obdelave odpadkov v koncept gospodarjenja z odpadki, 1998.

4.1.1 Odlaganje na komunalni deponiji

Pri deponiranju odpadkov je strošek izgradnje nove deponije izredno visok, saj mora deponija ustrezati vsem novim varnostnim in ekološkim standardom in predpisom. Pri tem so upoštevani le ekonomski dejavniki, ne pa tudi dejstvo, da je lokacija za novo deponijo zelo težko najti. Stroški zaprtja deponije so samo ocenjeni in upoštevajo zasutje deponije in zatravitev, ne pa tudi 30-letnega monitoringa po zaprtju. V Pravilniku o odlaganju odpadkov (na podlagi drugega odstavka 30. in 70. člena Zakona o varstvu okolja - Uradni list RS, št. 32/92, Priloga 7) so določeni parametri zaprtja deponije. Za rekultivacijo je tako potrebna vsaj 50 cm visoka izravnalna plast, vsaj 50 cm mineralne plasti, najmanj 40 cm drenažnega sloja in vsaj 100 cm rekultivacijske plasti. Ob upoštevanju specifične gostote odpadkov 0,7, višine nasutja odpadkov 20 m, obratovalne dobe deponije 25 let in cene zasutja 35 EUR/m², dobimo kot rezultat ocenjen strošek zaprtja deponije:

$$C_{\text{zaprtja}} = 200.000 \text{ ton} / (20 \text{ m} \times 0,7) \times 25 \text{ let} \times 35 \text{ EUR/m}^2 = 12,5 \text{ mio EUR.}$$

4.1.2 Ločeno zbiranje z recikliranjem

V izkazu stroškov je upoštevan obrat za recikliranje, namestitev ločenih zabojnikov in vsa potrebna strojna oprema. V izračunu niso upoštevani izredni prihodki od prodaje reciklatov zato, ker ustvarjamo pri recikliranju celotne mase odpadkov pri nekaterih surovinah prihodek, pri drugih pa izgubo. Poglejmo si recimo ljubljanski primer. V Ljubljani stane občino odstranjevanje stekla med 48 in 72 EUR na tono. Pri papirju se odvisno od kvalitete ustvarja dobiček v višini do 18 EUR ali strošek do 120 EUR/tono. Pri PET steklenicah in aluminiju prodajna cena že vključuje 6%, namenjenih reciklaži. Pri PET plastiki se ustvarja dobiček zaradi energetske izrabe (prihranek energije je do 60 %), prav tako pa velja tudi za aluminij, kjer je energetski prihranek do 90 %. Občina tako prejme po 18 EUR za tono zbranega aluminija za pokrivanje stroškov zbiranja, oz. po 0,8 EUR za kilogram zbranih aluminijastih pločevink (IBE, Drugo vmesno poročilo, 1998, str. 5).

4.1.3 Incineracija

Glavni investicijski strošek pri izgradnji sežigalne naprave je sama sežigalnica (z generatorjem električne energije ali napravo za izrabo pare) in čistilnimi napravami za vodo in zrak. Pogosto je precejšen strošek tudi sama lokacija sežigalnice. Pri obratovalnih stroških incineratorja je upoštevan prihodek od prodaje električne energije v višini 4,3 mio EUR/leto. Stroški incineracije (podatek EU) so prikazani kot povprečje stroškov in lahko po posameznih državah precej odstopajo od tega povprečja - v Nemčiji se lahko recimo gibljejo med 85 in 315 EUR/toni.

4.1.4 Postopek MBB

Pri tej tehnologiji je potrebno upoštevati dejstvo, da prikazani stroški temeljijo na precej manjši pilotni predelavi odpadkov, zato jih je potrebno vzeti z manjšo rezervo. Sicer pa vse kaže na to, da bodo ti stroški na velikih napravah najmanj istega reda, če ne še ugodnejši. V stroških tehnologije je upoštevana tudi zadnja stopnja predelave - briketiranje, s katerim lahko dobimo preostanek v obliki uporabnih briketov. V strošku postopka MBB je zajeta tudi predelava take

količine odpadkov stare deponije, da se na tem mestu deponira morebiten preostanek postopka MBB in zato ni nobene dodatne potrebe po deponiranju.

4.1.5 Mehansko biološka obdelava in stabilizacija

Mehansko biološka obdelava in mehansko biološka stabilizacija sta postopka, ki v okviru Strategije za ravnanje z odpadki v Ljubljani predvidevata tudi hkratno termično obdelavo odpadkov. Obe tehnologiji sta tako, zaradi potrebne gradnje sežigalnice, precej dražji od ostalih predstavljenih postopkov. Pri podatkih mariborske Strategije manjka podatek za ceno incineratorja, zato je le-ta enaka kot v ljubljanskem primeru. Pri izračunu obratovalnih stroškov je upoštevano, da gre v predelavo najprej vseh *200.000 ton*, v incinerator pa polovica od tega, torej *100.000 ton* odpadkov. Najdražja pri tem načinu je seveda gradnja sežigalnice in njeni obratovalni stroški. Če bi odpadke, predelane samo na mehansko-biološki način deponirali, bi stroški v Ljubljani, za postopek MB znašali letno *24,7 mio EUR*, za postopek MBS pa *18,1 mio EUR* z vključenimi stroški investicije.

4.2 Vplivi na okolje

Pri vsakem vrednotenju je potrebno postaviti meje sistema, znotraj katerih opazujemo posamezne elemente. Pri vrednotenju ekoloških vplivov posameznih tehnologij so znotraj teh meja upoštrevane vse oblike prevoza odpadkov (od vira do končne obdelave), emisije v zrak med postopkom obdelave in pri morebitni proizvodnji električne energije, ter vse emisije, katerim smo se zaradi tehnologije postopka izognili (EU Commission, 1996, str. 65).

V tabeli 4.2 so prikazani povprečni ekološki stroški večine evropskih držav, pri izračunu pa je upoštevana prihodkovna elastičnost *0,3*.

Tabela 4.2: Povprečni ekološki stroški evropskih držav za sedanjo povprečno sestavo komunalnih odpadkov, ter ob neločenem pobiranju

Tehnologija obdelave	Strošek (EUR/tono)
Deponiranje	7,70
Sežig – pridobljena elektrike nadomešča elektriko iz termoelektrarn (premog)	- 18,60
Sežig – pridobljena elektrike nadomešča povprečno evropsko elektriko	15,20
Recikliranje	- 115,00
Kompostiranje	25,50

Vir: Cost-Benefit Analysis of the different municipal Solid Waste, EU Commission, 1996.

Prikazani stroški predstavljajo povprečje stroškov posameznih držav in se dejansko med državami lahko razlikujejo tudi za nekaj razredov. Negativna vrednost pomeni ekološki prihranek, kar je dokaj tvegan termin. Žal v svetu še ne obstaja možnost natančnega obračuna »ekoloških prihrankov«. Pri sežigu, kjer pridobljena elektrika nadomesti elektriko iz termoelektrarn imamo ekološki prihranek zato, ker kurjenje s premogom precej bolj obremenjuje okolje kot incinerator. Pri recikliranju je ekološki prihranek posledica prihrankov energije pri izdelavi surovin in razbremenjevanja okolja z odlaganjem. Seveda moramo upoštevati, da izračuni veljajo na globalni ravni in da so lahko v posameznem primeru številke povsem drugačne. Drugo plat medalje predstavljajo ekonomski stroški, ki lahko sicer ekološko najprimernejšo tehnologijo naredijo precej manj privlačno. Pri iskanju rešitve, ki je v dani situaciji najboljša, je tako potrebno upoštevati oba kriterija, saj ju ni moč postaviti na skupni imenovalc.

5. PREGLED IZBRANIH ALTERNATIV

Kadar govorimo o procesiranju odpadkov uporabljamo dve besedni zvezi in sicer gospodarjenje z odpadki in ravnanje z njimi, pri čemer je prva nadpomenka (torej vključuje tudi ravnanje z odpadki). Gospodarjenje zajema preprečevanje nastajanja odpadkov, zmanjševanje količin in zmanjševanje škodljivih vplivov na okolje. Ob tem je ravnanje omejeno na postopke od nastajanja odpadkov do končne odstranitve oziroma oskrbe (zbiranje, prevoz, začasno skladiščenje, predelava, odstranjevanje), vključno s kontrolo teh postopkov in okoljevarstvenimi ukrepi (ARSO, 2004).

V preteklosti so ljudje ravnali z odpadki na različne načine. Prvi zapisi segajo celo v obdobje 8000 let pred našim štetjem, ko so ljudje z odpadki počeli to, kar večinoma počnemo še danes – odlagali so jih na posebne deponije zunaj naselij (Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996, str. 2). Ugotovili so namreč, da se je zaradi sestave odpadkov (večinoma hrana, kosti, neuporabni organski predmeti...) razvijal neznosen smrad. Prav tako so smeti povzročale ostale neprijetnosti, kot npr. razvoj bolezni, privabljanje divjih živali, ipd. Stari Grki in Rimljani so se v tej smeri razvili celo tako daleč, da so organizirali pobiranje smeti po naselju ter pometanje ulic. Prave tehnologije, ki so osnova današnjim, so se razvile v modernejši zgodovini, torej s pričetkom 19. stoletja, predvsem kot posledica številnih smrtnih epidemij kolere in kuge.

Najosnovnejša in najstarejša tehnologija ravnanja z odpadki je torej odlaganje na komunalni deponiji. Časovno ji sledijo: ločeno zbiranje s postopkom ponovne uporabe, snovne izrabe in recikliranja; hidrogenizacija in hidroliza; sušenje; mehansko biološka obdelava in termična izraba (incineracija, piroliza in vplinjavanje). Glede na množičnost uporabe tehnologij v praksi bomo nekoliko podrobneje pogledali klasično deponiranje odpadkov, incineracijo, ločeno zbiranje in mehansko-biološko obdelavo.

5.1 Odlaganje odpadkov na komunalni deponiji

Odlaganje odpadkov na obrobju naseljenih področij se ljudem že dolgo zdi najlažja in najenostavnejša rešitev problema komunalnih odpadkov. Kriteriji in predpisi so se do sedaj močno poostrili, tako da je gradnja deponij danes postala nekajkrat dražja, kot v preteklosti. Poleg tehnične opreme je problem nastal tudi pri izboru lokacije deponije, saj so ljudje v bližnjih naseljih praviloma proti gradnji nove deponije (NIMBY efekt). Tudi sama teoretična zasnova je precej zgrešena, saj je pri deponiji le vprašanje časa, kdaj se bo napolnila in bo potrebno zgraditi novo. Pri ostalih tehnologijah lahko predelamo vedno več odpadkov, medtem ko jih lahko deponija, tekom življenjske dobe, sprejme vedno manj. Zaradi tega in ostalih vzrokov število novih deponij v svetu upada. V Nemčiji se je tako število deponij zmanjšalo s 372 v letu 1984 na 295 v letu 1990. Sorazmerno se je zmanjšala tudi količina deponiranih odpadkov in sicer iz 73 % v letu 1984 na 64 % v letu 1990 in predvidenih 49 % leta 2000 (Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996, str. 260). V Sloveniji je trenutno registriranih 60 komunalnih deponij in 27 industrijskih odlagališč odpadkov (Gostinčar, Janežič, 2007). Odlaganje odpadkov na deponiji je smotrno, kadar predhodna obdelava odpadkov ekonomsko ali ekološko ni upravičena. Prav tako je potrebno deponirati preostanek, ki ostane po obdelavi odpadkov z drugimi tehnologijami.

V svetu je poznanih več tipov deponij, med katerimi sta najpogostejši odprti in zaprti tip. V Sloveniji uporabljamo v splošnem le odprti tip deponij, čeprav se za nekatere odpadke uporabljajo tudi zaprti rudniški rovi.

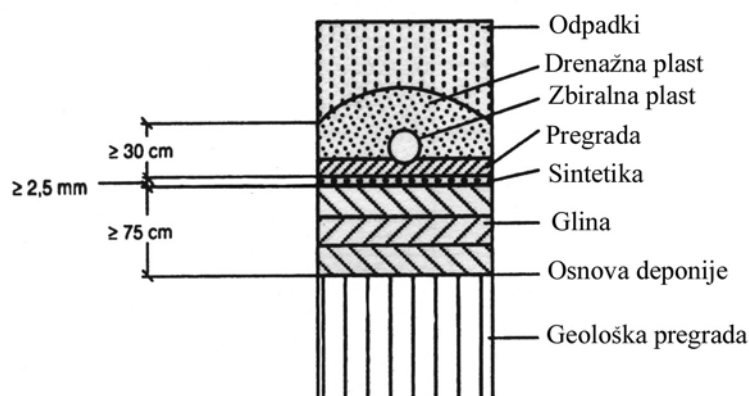
Glede na sestavo odpadkov poznamo 3 tipe deponij (Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996, str. 261):

- Deponija tipa I namenjena odpadkom z zelo majhnim deležem organskih sestavin z minimalnimi izcedki
- Deponija tipa II ustreza višjim standardom, saj je namenjena odpadkom z večjim deležem organskih sestavin in z večjimi izcedki

Mono deponija namenjena odpadkom s sorodnimi kemičnimi lastnostmi, npr. deponija pepela iz toplarn

Glede na načrtovano namembnost deponije in pričakovano življenjsko dobo je potrebno najprej izbrati ustrezno lokacijo in na njej izdelati vse potrebne študije (hidrogeološka, inženirskogeološka, stopnja ranljivosti, vplivi na okolje, itd.) Pomembni dejavniki pri izbiri so še sociološki dejavniki, oddaljenost naselij, prisotnost podtalnih voda in ostali. Tipična sestava deponije je prikazana na sliki 5.1

Slika 5.1: Tipična sestava deponije – prečni prerez

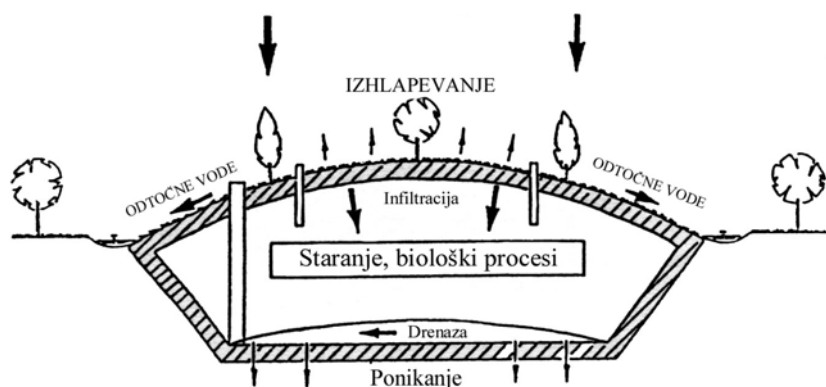


Vir: Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996.

Postopek deponiranja na odprtem tipu deponije je sledeč:

Komunalno vozilo v katerem se odpadki že kompaktirajo strese vsebino na določeno mesto na deponiji. S prirejenim delovnim strojem, imenovanim tlačilec, odpadke razporedijo na čimvečji površini, večkrat povozijo in s tem zmanjšajo njihov volumen. Ko se nabere dovolj visoka plast odpadkov, jih zasujejo z zemljinami in postopek se ponavlja, dokler se deponija ne zapolni. Polno deponijo prekrijejo z vodotesnim slojem in folijo, ter nato s humusom, ki omogoča zatravitev.

Slika 5.2: Tipična sestava deponije – globalni pregled



Vir: Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996.

V notranjosti deponije poteka proces biološke razgradnje, pri katerem kot stranski produkt nastajajo vnetljivi plini (predvsem metan), ki lahko povzročijo vžig oz. eksplozijo. Zato mora imeti vsaka deponija urejeno tudi odplinjevanje, ki omogoča sežig nastalih plinov. Odplinjevanje ostane v uporabi tudi po zaprtju deponije in se med drugim nadzoruje med rednim monitoringom še nadaljnjih 30 let. Količina metana, ki nastane pri anaerobni razgradnji komunalnih odpadkov je odvisna od sestave odpadkov, ki pa je ponavadi zelo slabo poznana. Po podatkih za gorenjsko regijo nastane pri letni količini 135.000 ton odpadkov približno 10.400 ton metana, kar je po mednarodno dogovorjeni metodologiji vrednotenja toplogrednih plinov IPCC, ekvivalentno 218.000 tonam toplogrednega plina CO₂ (Phare, MOP, Konzorcij Cero, 1996, str. 159).

5.2 Ločeno zbiranje z recikliranjem

Ideja o ločenem zbiranju odpadkov se je porodila v kombinaciji s ponovno uporabo in recikliranjem. Kljub številnim prednostim pred ostalimi tehnologijami, ima ločeno zbiranje tudi nekaj slabosti. Prva stopnja je pobiranje odpadkov, ki so glede na vrsto, ločeni po različnih kontejnerjih. Pri tem se pojavita vsaj dva, med seboj povezana problema; ekonomski in ekološki, saj

sedaj odpadke pobira toliko komunalnih vozil, kot je različnih kontejnerjev. To seveda pomeni večje stroške pobiranja in povečano onesnaževanja okolja.

Najpogosteje se ločeno zbira papir, steklo, plastika, biološki in nevarni odpadki (npr. baterijski vložki, zdravila, itd.). V posebnih akcijah pa se zbira tudi kosovne in tekstilne odpadke, ki so večinoma še uporabni in tako namenjeni dobrodelnim organizacijam. Poleg tega se zbira tudi železne odpadke (npr. pločevinke) in ostale kovine (npr. aluminij).

Papir oz. karton se najpogosteje odvažna v papirnice, kjer ga uporabijo pri izdelavi novega papirja. Današnja tehnologija omogoča, da iz tone odpadnega papirja izdelamo *850 kg* novega papirja. V slovenski praksi je situacija žal nekoliko drugačna. V ljubljanskem primeru so npr. z vnaprejšnjo prognozo pričakovanih masnih tokov predvidevali, da bodo papir, kot surovino, uporabljale nekatere papirnice. Po investiciji v ločene zabojnike in sortirnico papirja iz preostanka komunalnih odpadkov se je izkazalo, da kvaliteta izločenega in ločeno zbranega papirja ne zadošča kriterijem papirnic. Papir se zato sedaj odlaga na deponiji. Rešitev tega problema bi lahko bila, da bi uporabili le papir, zbran pod nadzorom (npr. kartonske škatle iz trgovin). Nekvaliteten oz. neprimeren papir pa bi biološko razgradili.

Steklo se v procesu sortiranja najprej loči od spremljajočih materialov, kot so papir in plastika (zamaški), nato pa se ga sortira po barvi. V tem postopku se izgubi približno *5-6 %* stekla (White, Franke, Hindle, 1995, str. 162). Zmleto sortirano steklo se pomeša z osnovno surovino in stopi v peči, pri čemer dobimo kot rezultat novo stekleno maso. Največji prihranek je prav energijski, saj pri tem načinu porabimo znatno manj energije. Praktične izkušnje z zbiranjem stekla v Ljubljani kažejo, da način zbiranja v zabojnikih, ki so postavljeni na javnih površinah, ni v celoti ekonomsko upravičen. Zato mora Mesto Ljubljana zbiralca subvencionirati. Kvaliteta zbranega stekla je tako nizka, da ga predelovalci niso pripravljeni prevzeti, oziroma zanj plačati cene, ki bi pokrila vsaj transportne stroške.

Za recikliranje **plastike** je uporabna zgolj termoplastika. V uporabi sta mehanski in kemični postopek recikliranja. Pri mehanskem postopku se plastika

zmelje, očisti in ekstrudira v granulato, ki ima svojo tržno vrednost. Pri kemičnem postopku se polimeri spremenijo v monomere in med postopkom obdelave nazaj v polimere. Najprimernejša za kemično obdelavo je plastika imenovana PET, pri kateri lahko prihranimo do 60 % energije. Izkušnje iz zahodne Evrope pri recikliranju plastičnih mas vseeno niso obetavne. V večini obratov se količine recikliranih plastičnih mas zmanjšujejo. Razlogi za to so različni, najpogostejša pa sta naslednja:

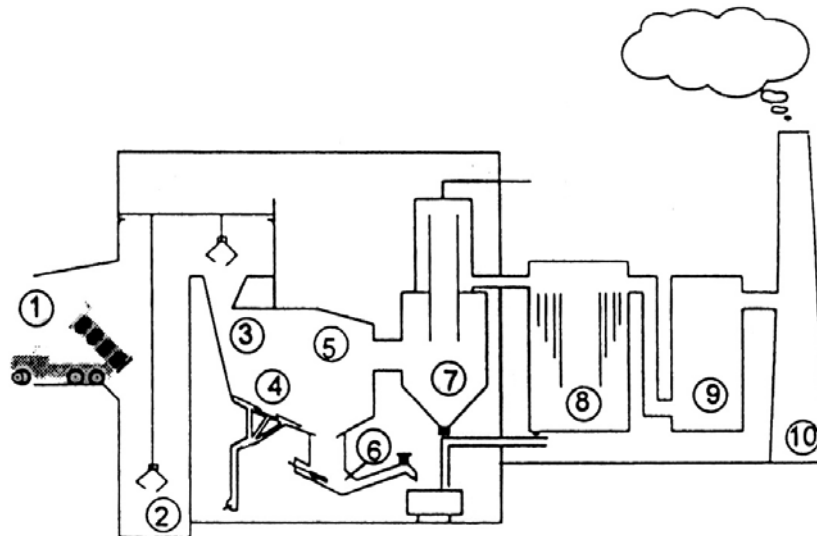
- a.) slaba kvaliteta recikliranih plastik, vključno z neprijetnim vonjem
- b.) stroški zbiranja in predelave so višji kot je tržna vrednost recikliranih plastičnih mas

5.3 Incineracija

Prvi incineratorji so pričeli obratovati v 19. stoletju v Angliji, največji problem pa so že od vsega začetka predstavljale emisije v zrak. Narejeni so bili z namenom upravljanja z vsemi odpadki, vendar so sodobne raziskave dokazale, da je njihova uporaba ekonomsko smiselna le pri odpadkih, ki jih ni moč reciklirati ali ponovno uporabiti. Prvotni namen incineratorjev je v tem primeru zmanjšanje volumna in inertizacija odpadkov, ki bi sicer na deponiji predstavljali potencialno nevarnost. Pri sežigu se odpadki inertizirajo, vendar le v primeru nadgradnje sežiga z inertizacijo pepela in žlindre. Sežig je danes povsod, tudi v Sloveniji, dovoljen le ob istočasni energetski izrabi toplote. Sežigalnice gradijo po svetu predvsem tam, kjer največji problem, zaradi prenaseljenosti, predstavlja prostor za gradnjo številnih deponij (npr. Švica, Japonska, itd).

Poleg inertizacije in zmanjšanja volumna, sežig nima bistvenih prednosti pred ostalimi tehnologijami. Pridobljena električna energija je predstavljala v Nemčiji leta 1990 le 0,46 % skupno pridobljene energije (Bilitewski, Hardtle, Marek, 1996, str. 128).

Slika 5.3: Tipična sestava sežigalnice



1. Sprejemna hala 2. Zbiralni bunker 3. Polnilni kanal incineratorja 4. Gorilne rešetke 5. Zgorevalna komora 6. Zbiralnik spodnjega pepela 7. Bojler za zbiranje toplotne energije 8. Elektrostatični prespirator 9. Čistilnica kislih plinov 10. Dimnik

Vir: White, Franke, Hindle, 1995

Med slabosti incineratorjev sodijo:

- visok strošek sežiga
- emisije rakotvornih dioksinov in furanov v ozračje
- emisije živega srebra ter težkih kovin (svinec, kositer, arzen, krom)
- potreba po inertizaciji nevarnega preostanka sežiga in odlaganju na deponijo posebnih odpadkov

Preostanek sežiga je pepel in žindra, ki vsebujeta težke kovine in sta zato neprimerna za odlaganje na komunalno deponijo. V povprečju se pri sežigu volumen odpadkov lahko zmanjša za 90 %, teža pa za 70 %.

V Sloveniji trenutno ne obratuje nobena sežigalnica komunalnih odpadkov, v predlogu Strategije za ravnanje z odpadki, pa sta predvideni najmanj dve in sicer ena v severovzhodni Sloveniji (Maribor) in druga v Ljubljanski regiji. Med zadnjimi predlogi sta bili tudi sežigalnici odpadkov v Šoštanju in Kovorju na

Gorenjskem, vendar do realizacije, predvsem zaradi pritiskov lokalne skupnosti, ni prišlo.

5.4 Mehansko biološka obdelava

Poznamo več vrst t.i. kombinirane obdelave odpadkov, vse pa temeljijo na dveh postopkih: mehansko-biološke razgradnje in mehansko-biološke stabilizacije.

A.) Bistvo **mehansko-biološke razgradnje** je redukcija biološko razgradljivih komponent s predhodno mehansko obdelavo (mletjem, sejanjem, ipd.). S tem bistveno zmanjšamo količine škodljivih snovi v izcednih vodah, ter količino odpadkov, ki se lahko zmanjša za cca. 45%. Posredno se zmanjšajo tudi emisije toplogrednih plinov. Celoten postopek obdelave traja nekaj mesecev, odvisen pa je predvsem od sestave odpadkov. Delež vode v odpadkih se pri tem postopku zmanjša z začetnih cca. 60% na 45%.

B.) Namen **mehansko-biološke stabilizacije** je proizvodnja stabilata, ki se uporablja kot gorivo. Postopek bi lahko poenostavili z redukcijo na dve stopnji in sicer mehansko predpripravo in sušenje odpadkov. Po končanem sušenju so odpadki stabilizirani, torej niso podvrženi nadaljnjemu razkroju, ne smrdijo in so sipki. Bistveno je tudi, da ohranijo v njih vezano kemično energijo, kar jih uvršča med goriva. Končni delež vode v odpadkih znaša cca. 18%. S predhodnim izločevanjem grobih delov se skupna masa odpadkov lahko zmanjša za 55%.

C.) Kombinacijo in obenem nadgradnjo omenjenih postopkov predstavlja **postopek MBB**. Njegov osnovni princip je v celostnem (integralnem) pristopu k reševanju problematike gospodarjenja z odpadki, tehnologija, ki omogoča praktično izvedbo pa je označena z mehansko - biološkim - briketiranjem (MBB). Pri tem je poudarek na ekonomsko sprejemljivi maksimalni snovni izrabi odpadkov. Celotni postopek je plod slovenskega znanja in razvoja, preverjen pa je na primeru domžalske deponije Dob, kjer je pilotno predelavo izvedlo podjetje Biocycle, d.o.o.. Odpadki se obdelujejo z različnimi mehanskimi

postopki, pogosto v kombinaciji z biološkim postopkom, ki se neposredno nadaljuje in konča s prirejenim postopkom briketiranja. V določenih primerih se ne uporabijo vsi postopki, saj včasih zadovoljiv rezultat omogoči tudi skrajšan postopek. V primeru postopka MBB, celostni pristop pomeni predvsem to, da je postopek optimiran z ozirom na vse specifične pogoje določenega okolja, hkrati pa obravnava praktično vse vrste odpadkov, ne glede na vrsto, agregatno stanje (trdno, tekoče, pastozno itd.) ali vir nastanka odpadka (gospodinjstva, komunala, industrija, trgovina, kmetijstvo, itd.). V predelavo je možno, kot enega izmed virov odpadkov, vključiti tudi predelavo in izrabo že odloženih odpadkov.

Zbiranje odpadkov se v zvezi s tem postopkom obravnava le v segmentu določanja obsega in načina ločenega zbiranja, ki pa je v večini primerov potrebno v precej manjšem obsegu. Ločeno zbiranje namreč ne opravičuje vloženih sredstev in energije, kar se da lepo dokazati z metodo določanja LCI (*Lifecycle Inventory*).

Poudarek postopka je na snovni izrabi in recikliranju, vendar s celostnim pristopom, kar zaradi širokega nabora odpadkov omogoča rešitve, ki s posameznim pristopom ponavadi niso možne. Tako se npr. tekoči ali pastozni odpadki v kombinacijah z drugimi odpadki spremenijo v suhe in sipke, oziroma se jim lastnosti prilagodijo po zahtevah koristne izrabe. Tudi biološka obdelava je pomemben del postopka, ki omogoča predvsem lažje mehansko separiranje preostanka, zmanjšanje organske mase odpadkov in volumna, ter pridobivanje uporabnega komposta.

Volumski preostanek svežih gospodinjstev ostankov lahko znaša do 10% prvotnega volumna, preostanek predhodno kompaktirane stare deponije pa (brez zadnje faze briketiranja) do 20% prvotnega volumna. Z briketiranjem so ti rezultati lahko bistveno boljši (še vsaj 5 krat manjši volumen preostanka), preostanek pa je inerten.

Redukcija volumna preostanka predelave odpadkov je v korelaciji s stroški predelave in odjema, zato se stopnja predelave prilagaja tako potrebam same deponije, kot tudi finančnim zmožnostim.

Bistvene tehnično-tehnološke prednosti pred ostalimi tehnologijami so sledeče:

- maksimalna redukcija teže in volumna odpadkov
- možnost hkratne obdelave svežih in že deponiranih odpadkov v razmerju, ki omogoča ohranjanje deponij v obstoječih gabaritih in s tem podaljševanje njene življenjske dobe za praktično skoraj neomejeno obdobje
- preostanek obdelave so (ob nadgradnji tehnologije z briketirko) skoraj popolnoma inertni briketi brez izcedkov, s kalorično vrednostjo nad *11.000 kJ/kg* (spodnja meja v nekaterih državah EU za energetske izrabo)
- ekološko prijazna tehnologija v smislu minimalnih emisij, onesnaževanja okolja in varčevanja z energijo, kar je očitno pri vrednotenju z metodo *Lifecycle Assessment* in *Lifecycle inventory*
- majhni investicijski in obratovalni stroški
- celovito reševanje problematike različnih tipov odpadkov, med drugim tudi tekočih odpadkov, različnih vrst blata, pepela in ostalih mineralnih odpadkov. Vključi se seveda samo take ne-gospodinjske odpadke, ki omogočajo večjo fleksibilnost recikliranja in koristne izrabe preostanka predelave gospodinjskih odpadkov. Teh industrijskih (in drugih) odpadkov se ne vključuje z namenom odlaganja.
- popolna preprečitev emisij neprijetnih vonjav
- nizka stopnja hazardnosti obratovanja in tveganja
- ločevanje odpadkov ni potrebno. Tehnologija lahko procesira neločeno zbrane odpadke, kar bistveno vpliva na stroške celostnega gospodarjenja z odpadki.

Za razumevanje samega postopka MBB si pogledjmo njegove faze:

1. Na reciklažnem dvorišču se izločijo eventualno čisti, enorodni materiali in večji predmeti, od katerih gredo nekateri (pohištvo, vejevje, zeleni odpad, itd.) v postopek MBB, drugi pa zahtevajo poseben pristop (gospodinjski aparati, avtomobilski ostanki, itd.). Ta korak je enak tudi pri ostalih mehansko-bioloških predelavah.
2. Z ozirom na sestavo odpadkov se pripravi mešanica gospodinjskih, komunalnih, industrijskih in drugih odpadkov v ustreznih razmerjih.
3. Ločevanje lahkih in težkih frakcij.
4. Ročno sortiranje lahkih frakcij.

5. Izločevanje železa.
6. Težka frakcija in preostanek sortiranja lahke frakcije se zmeljeta na ustrezno granulacijo. V mlinu kompozitni materiali razpadejo, pri čemer je drobna frakcija steklo, groba pa plastika in druge mase. Tu obstaja možnost dodatnega rafiniranja z vibracijskimi in zračnimi separatorji, vendar to v glavnem ni potrebno. Bolje je izbrati proizvod, za katerega kvaliteta izsortiranega materiala že ustreza.
7. Zmes se predela na (sestavi prilagojen) biološki način, tako da se organski del spremeni v kompost in humus, celotna zmes pa se osuši.
8. Po končanem biološkem procesu se zmes strojno separira, izločijo se komponente za katere že obstaja znani uporabnik.
9. Preostanek predelave se briketira ter dodatno inertizira.

V vsakem primeru je ena od komponent kompost, v katerega se spremeni večji del organskih odpadkov, kot so: kuhinjski ostanki, ostanki sadja in zelenjave s tržnic in trgovin, vejevje, trava, pokopališki odpadki, papir, bombaž, kartonska embalaža, greznične gošče, organska blata čistilnih naprav, vsebina maščobnih lovilcev itd. Biološki postopek je voden tako, da se zmes obenem tudi sterilizira, preostanek pa je lahko inerten in dobi vonj po gozdnem humusu. Pri ustreznem načinu te predelave se predelajo tudi materiali, za katere sicer velja splošno prepričanje, da jih biološko ni moč predelati. Dejansko se predela tudi večina organskih strupov, pesticidov in drugih nevarnih snovi. Postopek je aeroben in ima prednosti pred anaerobnim postopkom, tako v smislu ekonomičnosti in enostavnosti, kakor tudi v smislu kvalitete in stabilnosti končnega uporabnega proizvoda.

Pri postopku te predelave se sprošča bistveno manj smradu, kot pri klasičnem deponiranju. Z dodatnimi ukrepi je možno smrad nadalje omejiti na popolnoma želeno in kontrolirano raven.

Preostale komponente predelave so lahko: železo in druge kovine, različne plastične mase, steklo, kamenje, stiropor, guma, lesni ostanki, itd. Komponente se pripravijo tako, da kvaliteta odgovarja potrebam končnega uporabnika.

Ostanki predelave predstavljajo zmes materialov, za katere ni znanih uporabnikov, oziroma bi bili stroški eventualnega dodatnega čiščenja večji, kot

bi bil morebiten porabnik pripravljen plačati. Ta preostanek se z nekaj dodatnega dela in energije spremeni v trdne kocke - brikete z visoko gostoto (specifično maso $1,0$ do $1,5 \text{ g/cm}^3$). Briketi v obliki trdnih kock so stabilni in ne podležejo nadaljnji razgradnji. Nadaljnja uporaba tako briketiranih odpadkov se še preverja, dosednji rezultati pa so vzpodbudni.

Postopek MBB v celoti ustreza priporočilom metode LCI. Bistveno za integralni pristop gospodarjenju z odpadki je recikliranje le tistih snovi, za katere uspemo predhodno najti odjemalca in se dogovoriti za ustrezno ceno. V postopku se tako predela le določene reciklabilne snovi, ostale pa se priključijo masnemu toku ostalih odpadkov.

Inovativne rešitve, ki jih upošteva tehnologija MBB:

Pri odpadnem papirju bi z uporabo celostnega pristopa gospodarjenja z odpadki, predvsem pa upoštevalje vse ekonomske, ekološke in druge kriterije problem rešili takole :

- a.) Papir in karton bi ločeno zbirali le tam, kjer je možen nadzor. To je predvsem v trgovinah, tiskarnah, tržnicah in dejavnostih, kjer se da zagotoviti nadzor nad sestavo odpadkov. Papir iz gospodinjestev bi zbirali akcijsko, prav tako tudi po šolah in ustanovah, kjer nastaja odpadni papir. Vse male zbiratelje bi pošteno nagradili. Zabožnikov s prostim dostopom na javnih površinah ne bi postavljali, saj se pri njih pojavlja problem stroškov in nečistoč v zbranem papirju.
- b.) Papir in karton, ki sta pomešana v preostanku gospodinjskih odpadkov, bi sortirali upoštevalje kriterije papirnic za sprejem papirja. Moker ter umazan papir bi biološko razgradili. Primerjava z možnostjo izločevanja papirja in vključevanja v tako imenovano »lahko frakcijo«, ki služi za energetska izrabo jasno pokaže, da so potrebni stroški za sušenje in vse druge potrebne tehnološke postopke mnogo višji od vrednosti pridobljene energije.

Kolikšen delež papirja je možno izločiti ob zagotovitvi zahtevane kvalitete ni moč natančno predvideti. Iz papirja in kartona lahko npr. izdelamo odličen material za pakiranje občutljivih izdelkov. Stroški predelave so zelo majhni, dosežena

tržna vrednost pa nekajkrat večja. Bistveni element pri presoji je namreč izključno ekonomski kriterij.

Pri steklu, kjer je v praksi problem neekonomičnosti ločenega zbiranja in kvalitete zbranega stekla, bi upoštevalje kriterije celostnega pristopa, steklo strojno sortirali po biološki razgradnji na način, da ima pridobljeno odpadno steklo uporabno vrednost za predelovalce stekla. Stroški takega sortiranja so do deset krat nižji od stroškov ločenega zbiranja. Pri sortiranju predstavlja to namreč le en dodaten korak, kar za ločeno zbiranje ne moremo trditi. Dosežena cena pri predelovalcih večkrat pokrije stroške reciklaže.

V praksi je tudi ločeno zbrana in reciklirana plastika problematična, zaradi slabe kvalitete, smradu in ekonomske neprivlačnosti. Predlagana rešitev po postopku MBB je, da se na začetku izločijo čiste plastične mase, kot npr. zabožki za steklenice in t.i. »big-bag-i«. Preostanek, ki ostane po biološki razgradnji je po izločitvi drugih uporabnih snovi, sestavljen pretežno iz različnih vrst plastičnih mas. Z dodatkom posebnih industrijskih in drugih ostankov, ter vključitvijo avtomobilskih gum, je možno pripraviti tehnološki proces, ki omogoča iz omenjene mešanice pripraviti uporabne pol-izdelke in izdelke z mnogostransko uporabnostjo. Stroški predelave so nižji od tržne vrednosti polizdelkov in izdelkov. Tržna vrednost tako reciklirane plastike znaša cca. 500 EUR/tono, stroški recikliranja pa le cca. 50 EUR/tono. To seveda pomeni, da ob ustreznem tržnem angažiranju preostanka obdelave odpadkov praktično ni.

KONČNA DISPOZICIJA RECIKLIRANIH ODPADKOV

Biološki odpadki	Kompost; ozelenjevanje, cvetje
Papir in karton	a.) Kompost; ozelenjevanje, cvetje b.) Papirnice c.) Proizvodnja polizdelkov za pakiranje
Steklo	a.) Steklarne b.) Proizvodnja kamene volne c.) Polizdelki in izdelki, kot npr. material za drenažo, zunanji sloj

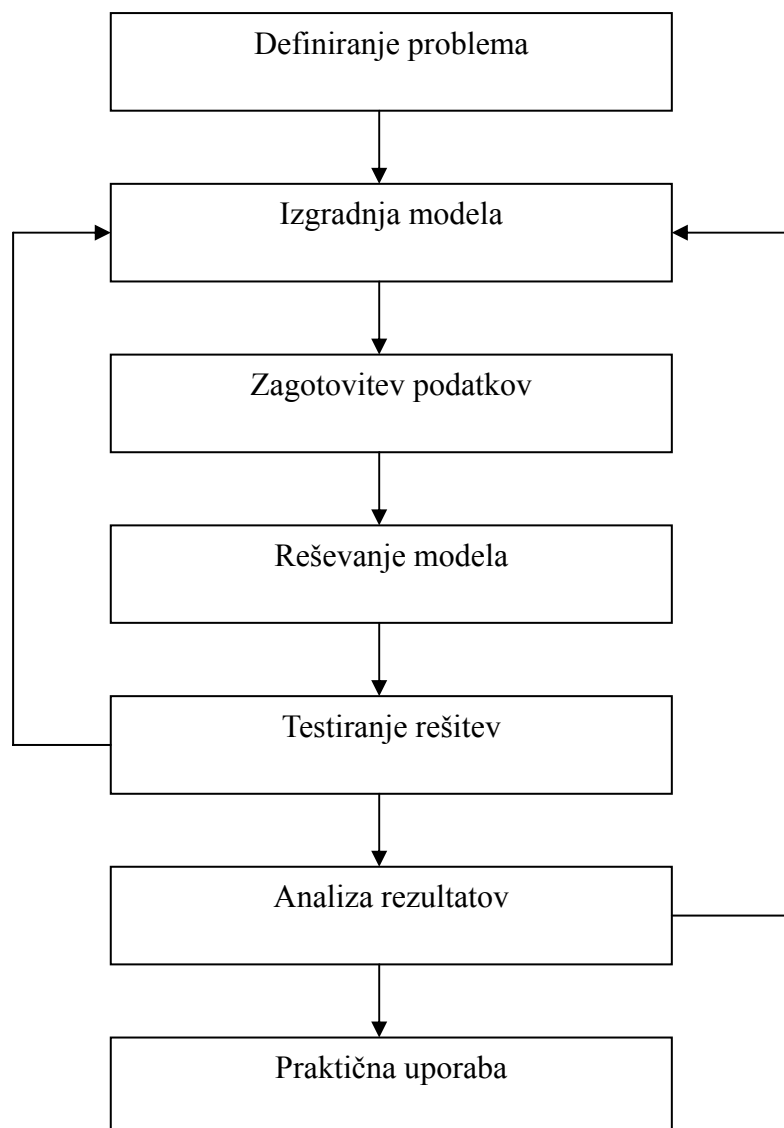
	talnih oblog, itd. d.) Dodatek betonom
Kovine	Zbiralci kovin, železarne, topilnice
Tekstil	Dobrodelne organizacije, izdelava toplotno – izolacijskih in zvočno – izolacijskih materialov, itd.
Plastika	a.) Čista – recikliranje b.) Nečista – uporabni pol-izdelki ali briketiranje
Bela tehnika	Recikliranje
Električni agregati	Recikliranje
Lesni odpadki	Kotlovnice na trdo gorivo
Avtomobilske gume	Vključene v izdelavo pol-izdelkov ali v preostanek
Preostanek	Briketiranje, izdelava različnih polizdelkov in izdelkov, kot so: pohodne in povozne talne obloge, izdelava transportnih palet, itd.

Do sedaj smo ugotovili, da ima vsaka od predlaganih tehnoloških rešitev gospodarjenja z odpadki določene prednosti in pomanjkljivosti. Tako bi bilo neracionalno, pa tudi ekološko neupravičeno, če bi privilegirali le eno izmed tehnologij. Bistveno za ekonomičnost in ekološko upravičenost je v sinergiji posameznih tehnologij, ki ni zgolj vsota prednosti upoštevanih tehnologij, marveč mnogo več. Najbližji sinergiji je verjetno postopek MBB (MB in MBS pa samo deloma). Pri tem uporablja oba principa sodobnega gospodarjenja in sicer hevristični pristop in celostno kvalitetno gospodarjenje (Total Quality Management).

6. REŠEVANJE S SAATYEVO METODO

Za izoblikovanje odločitvenega modela se bomo lotili posameznih faz kvantitativne analize, kot jih prikazuje naslednja shema:

Slika 6.1: Faze oblikovanja sistema za podporo odločanju



Vir: Čibej, 1998, str. 19.

6.1 Definiranje problema

Problem, ki ga obravnava predstavljeni model je izbor tehnologije za gospodarjenje z odpadki v dani situaciji. Na izbiro imamo več tehnologij, kjer ima vsaka določene prednosti, a tudi pomanjkljivosti. Za rezultat si želimo eno samo tehnologijo, ki pa je lahko integrirana iz več posameznih tehnik, saj smo ugotovili, da preprosta nadgradnja obstoječe tehnologije ponavadi predstavlja dodatne stroške. Za izoblikovanje in vrednotenje kriterijev za odločanje je uporabljena metoda LCI (angl. *Lifecycle Inventory*), ki zajema vsa zahtevana področja uporabe.

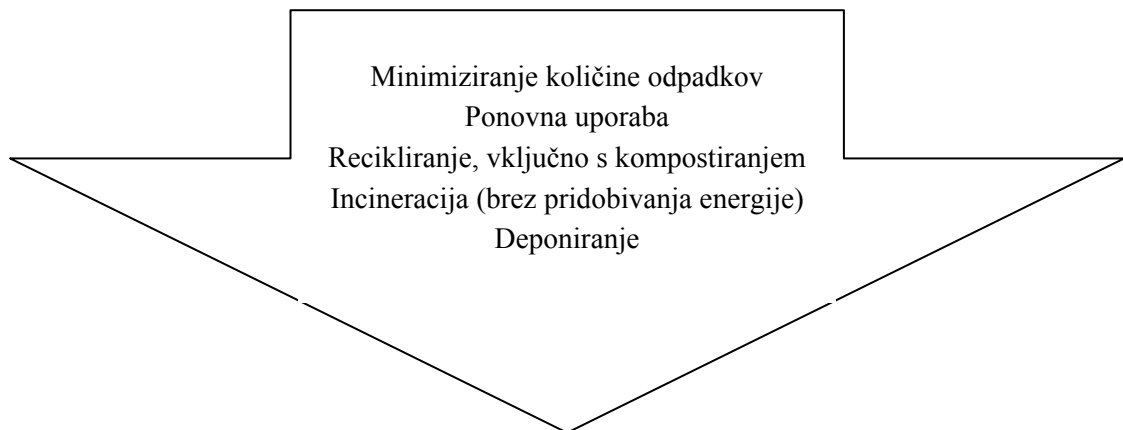
Metoda LCI postavlja za uspešen integralni koncept gospodarjenja z odpadki naslednje kriterije:

- sposobnost predelati vse tipe odpadkov, ne glede na njihovo agregatno stanje in vir nastanka
- tržna usmerjenost, kar pomeni da je potrebno pred pričetkom recikliranja določenega proizvoda najti odjemalca in se dogovoriti za ustrezno ceno
- fleksibilnost oz. možnost izbire več načinov predelave, saj se s časom spreminjajo tako ekonomski kot ekološki vplivi
- velikost sistema, saj možnosti uspešnega recikliranja in kombiniranja posameznih odpadkov, z velikostjo sistema linearno naraščajo

Metoda LCI priporoča holistični pristop, ki omogoča hkratno ekonomsko in ekološko sprejemljivost. S holističnim pristopom si zagotovimo globalni pogled na situacijo, ki je zaradi ekološke sprejemljivosti nujen. Vsi smo namreč del velikega svetovnega ekosistema in temu primerno se moramo tudi obnašati. Prav tako nam holistični pristop omogoča ekonomski nadzor nad posameznimi enotami, saj nobena enota ne sme izkazovati izgube.

Idealna hierarhija načinov gospodarjenja z odpadki, ki pa se v dani situaciji glede na ekonomske in ekološke razmere lahko povsem spremeni, je prikazana v naslednji sliki.

Slika 6.2: Hierarhija integralnega pristopa k upravljanju z odpadki (metoda LCI)



Vir: White, Franke, Hindle, 1995.

6.2 Izgradnja modela

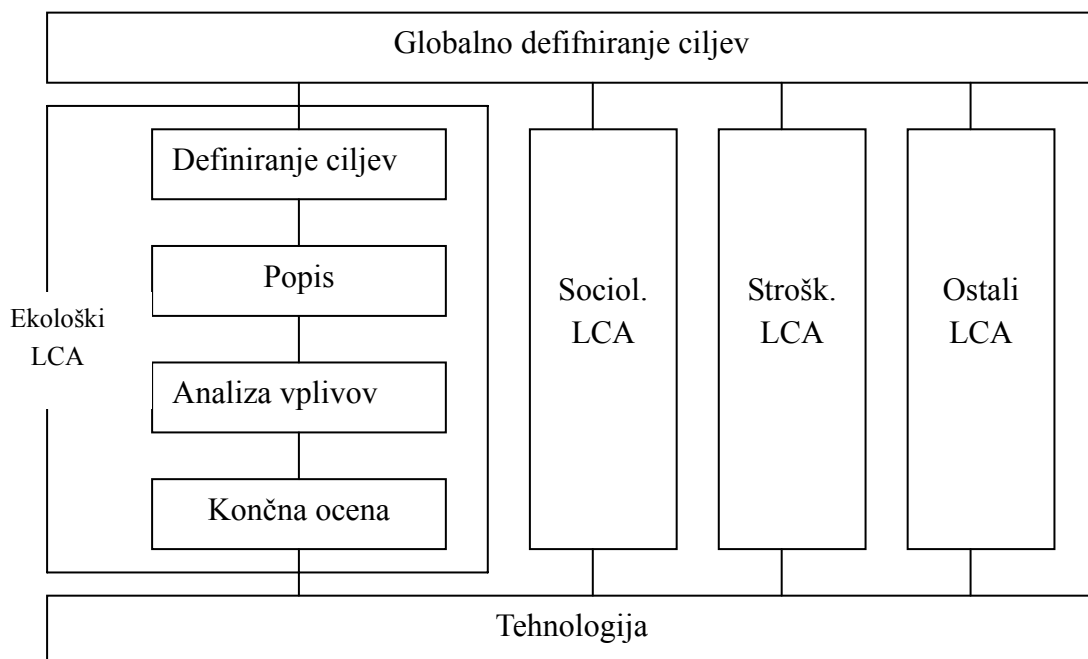
Pri optimizaciji sistema za gospodarjenje z odpadki oziroma iskanju ustrezne tehnologije, imamo na razpolago vse podatke, ki se med končno izvedbo ne bodo spreminjali. Sistem je torej deterministične narave, kjer uporabljamo kriterije, ki jih predlaga metoda LCI in kjer je linearna vrednostna funkcija podana z ekonomskimi, ekološkimi in socialnimi kriteriji. Za linearno funkcijo mora biti izpolnjen pogoj, da so kriteriji med seboj preferenčno neodvisni.

Model mora omogočati nadaljnje analize tipa »kaj če« (angl. what if..?) in napovedi ekoloških vplivov ter stroškov v dani situaciji. Te napovedi so še posebej pomembne pri dolgoročnem planiranju prodaje reciklatov na trg sekundarnih surovin, ki je praktično še v razvoju. Model bo zgrajen na osnovi Saatyvega programa, ki bo vseboval vse potrebne vrednosti odločitvenih kriterijev in posledično razpoložljivih alternativ.

6.3 Zagotovitev podatkov

Za pridobitev vseh potrebnih podatkov, ki jih potrebujemo za izoblikovanje sistema za podporo odločanju, je potrebno opraviti vrsto analiz, saj je večina razpoložljivih podatkov neažurnih in nepopolnih. Potrebno bi bilo opraviti tudi precej raziskav, ki še nikoli niso bile opravljene in niso niti metodološko določene. Zaradi kompleksnosti problematike pridobivanja podatkov, pri večini tehnologij izhajam iz splošnih podatkov, ki jih priporoča metoda vrednotenja LCI, pri metodi MBB pa so podani podatki iz pilotnega projekta, saj so le-ti še najbolj točni. Metoda LCI uporablja pri analiziranju podatkov t.i. »product line analysis« (PLA), sestavljeno iz ekoloških, socialnih in ekonomskih analiz. Le-ta je prikazana na sliki 6.3.

Slika 6.3: Razmerja med različnimi tipi LCI⁴

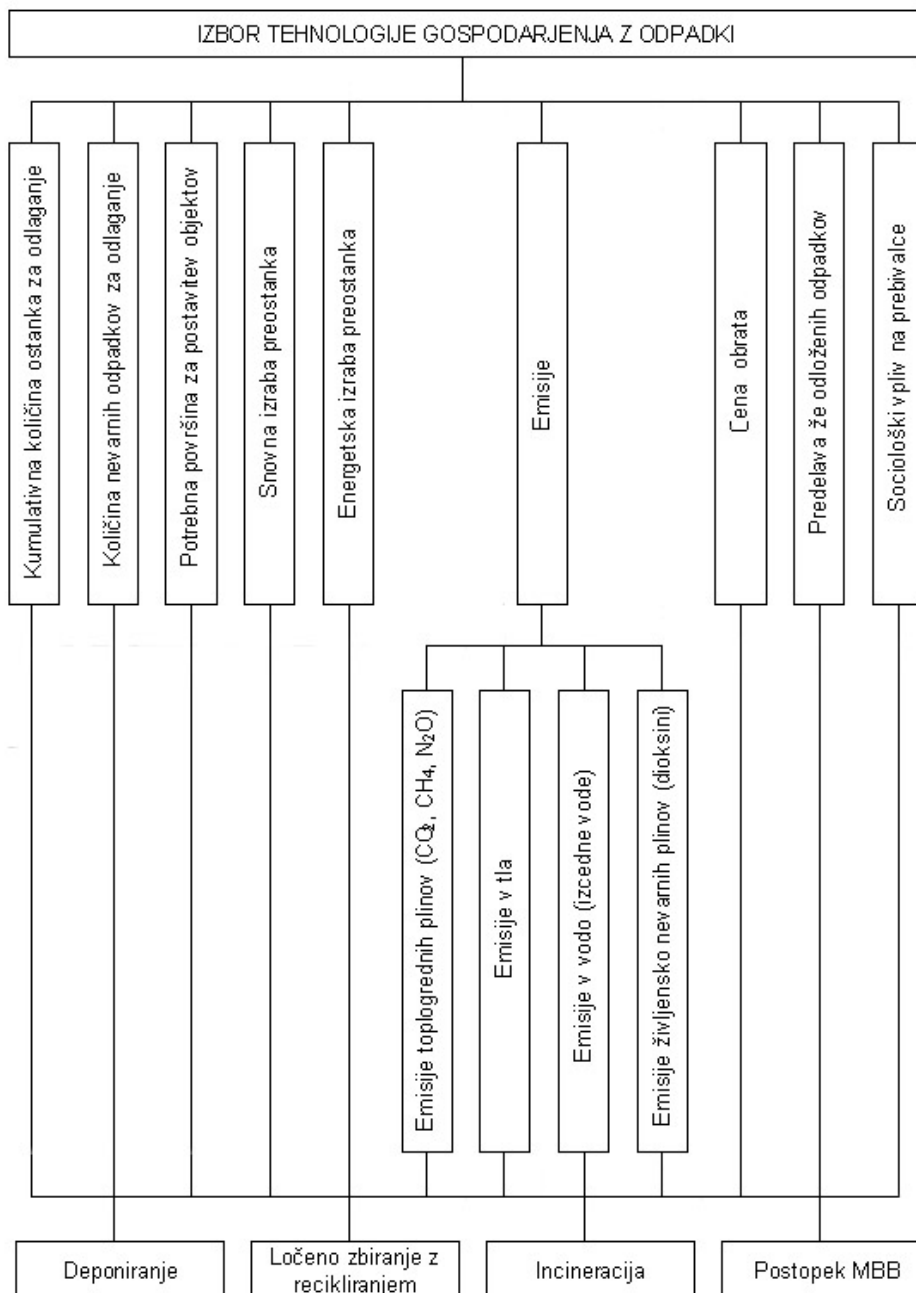


Vir: White, Franke, Hindle, 1995.

⁴ Ker metoda LCI pri nas še ni splošno razširjena tudi še ni pravih prevodov, zato navajam na tem mestu originalne angleške izraze: Globalno defifniranje ciljev = Overall Goal Definition, Definiranje ciljev = Goal Definition, Popis = Inventory, Analiza vplivov = Impact Analysis, Končna ocena = Valuation, Tehnologija = Overall Application.

Zaradi velikega števila kriterijev, ki so v kompleksni situaciji, kot je izbor tehnologije za gospodarjenje z odpadki, nujni, je potrebno določene kriterije grupirati in jih predstaviti v hierarhični strukturi. Le-ta je predstavljena na sliki 6.4.

Slika 6.4: Dekompozicija problema v hierarhijo



V prvem koraku Saatyve metode je potrebno določiti cilje, kriterije in alternative, ki jih v nadaljevanju primerjamo med seboj. Cilj in alternative imamo že določene, problem pa ostaja pri kriterijih, saj je potrebno izbrati takšne, za katere lahko zagotovimo verodostojne podatke ali vsaj ocene zanje.

6.4 Postopek izbire najboljše rešitve

Pri reševanju modela, torej izbiri tehnologije predelave odpadkov, ki najbolj ustreza ekološkimi, ekonomskim, socialnim in ostalim kriterijem, se odločamo med naslednjimi tehnologijami predelave odpadkov:

- Odlaganje na komunalni deponiji,
- Incineracija
- Ločeno zbiranje z recikliranjem in,
- Mehansko biološka obdelava (postopek MBB)

Predvidena letna količina odpadkov znaša *200.000 ton*, sestava odpadkov je sledeča:

Tabela 6.1: Vrsta odpadkov in njihov povprečni masni delež v Sloveniji

Vrsta odpadkov	Masni delež (% mase)
biološki odpadki	35,0
papir	15,0
steklo	5,0
kovine	5,0
tekstil	5,0
plastika	10,0
ostalo	25,0
Skupaj	100,0

Vir: Razpisna dokumentacija za reciklažni center v Mariboru, 1999.

Predvideni ocenjeni stroški predelave po posameznih tehnologijah, prikazani v naslednji tabeli, izhajajo iz tabele 4.1 in so izračunani kot povprečna vrednost stroškov EU, predvidenih stroškov predelave v Ljubljani in Mariboru. Prikazani so tudi stroški v predvideni življenjski dobi objekta, ki je ocenjena na 25 let.

Tabela 6.2: Stroški investicije in obratovalni stroški za posamezne tehnologije

Tehnologija	Deponiranje	Incineracija	Ločeno zbiranje z recikliranjem	Postopek MBB
Investicija (mio EUR)	109,0	115,0	1,7	11,5
Celotni stroški/leto (mio EUR)	20,4	29,6	19	4,6
Celotni stroški v ŽD ⁵ (mio EUR)	510	740	475	115

6.4.1 Pregled in opis posameznih kriterijev vrednostne funkcije

Alternative, ki so predstavljene v modelu, so rangirane na osnovi naslednjih kriterijev:

1. Kumulativna količina ostanka za odlaganje

Pri tem kriteriju merimo količino preostanka nenevarnih odpadkov po končani fazi obdelave z vsako izmed alternativnih možnosti predelave. Preostanek predstavlja dodaten strošek, ki ga je potrebno vzeti v zakup ob izbiri določene alternative.

2. Količina nevarnih odpadkov za odlaganje

V primeru, da preostanek predelave sodi v kategorizacijo nevarnih odpadkov ga je potrebno dati v nadaljnjo obdelavo ali deponirati na deponiji za nevarne odpadke, kar predstavlja precejšen strošek.

⁵ ŽD – življenjska doba

3. Potrebna površina za postavitve objektov

Pri tem kriteriju določamo bruto velikost površine, ki jo zahteva alternativa za nemoteno in neovirano obratovanje. Večja površina predstavlja višje investicijske stroške, ter večji poseg v naravno okolje.

4. Snovna izraba preostanka

V primeru, da lahko preostanek izkoristimo in ob morebitni dodatni predelavi koristno uporabimo, je to vsekakor pozitivno, saj tako pridobimo pri prostoru na odlagališču in hkrati posredno vplivamo na energetske in snovno večjo izkoriščenost. Ta «izdelek» bi namreč sicer morali proizvesti, pri tem pa bi porabili določen material in nekaj energije.

5. Energetska izraba preostanka

V primeru, da lahko preostanek ali njegov določen del uporabimo v procesu pridobivanja energije je to koristno in zelo pozitivno vpliva na okolje. Pri tem predpostavljamo, da tovrstna izraba dodatno ne onesnažuje okolja (npr. v primeru toplarn) in uporablja v tem primeru vse potrebne čistilne naprave.

6. Emisije

6.1 Emisije toplogrednih plinov (CO₂, CH₄, N₂O)

Toplogredni plini nastajajo pri različnih metodah ravnanja z odpadki in seveda predstavljajo problem globalnega segrevanja ozračja kot posledico širjenja ozonske luknje v zemeljski stratosferi.

6.2. Emisije v tla

Emisije v tla so pomembne predvsem z vidika dolgotrajnega zastrupljanja zemlje, ki rezultira v težji in dražji sanaciji ter ima tudi sicer negativen učinek na okolje.

6.3 Emisije v vodo (izcedne vode)

Pri tem kriteriju presojava količino in naravo emisij v vodo, ki nastajajo bodisi kot izcedne vode iz deponiranih odpadkov (oziroma odpadkov, ki so še v postopku predelave), bodisi kot meteorne vode, ki se ob stiku z odpadki onesnažijo in odtečejo v podtalnico.

6.4. Emisije življenjsko nevarnih plinov (dioksini)

Pri določenih metodah gospodarjenja z odpadki nastajajo tudi plini – dioksini, ki so po številnih raziskavah že dokazano karcenogeni in ob dolgotrajni izpostavljenosti povzročajo različne oblike rakastih obolenj.

7. Cena obrata

Pri tem kriteriju ocenjujemo posamezne alternative glede na stroške potrebne za postavitev objekta in vzpostavitev normalnega delovanja ter stroške, ki bodo nastali z obratovanjem v življenjski dobi objekta (25 let). Vključena je torej tako začetna investicija, kot tudi obratovalni stroški.

8. Predelava že odloženih odpadkov

Kljub temu, da se odločamo o izbiri alternative za gospodarjenje z odpadki za odpadke, ki bodo nastajali sproti, pa je ob dejstvu, da predvidevamo zasedenost obstoječih deponij, pomembno tudi, kam odložiti morebiten preostanek predelave. Zato je najenostavnejši način predelati staro deponijo in ob boljši volumenski izkoriščenosti pridobiti nov prostor za odlaganje. V primeru, da novega prostora ne potrebujemo lahko staro deponijo zgolj saniramo, saj tako zmanjšamo negativni učinek na okolje.

9. Sociološki vpliv na prebivalce

Prebivalci v neposredni okolici prostora predelave odpadkov imajo pomembno vlogo pri končni izbiri alternative. Prepričani morajo biti, da je objekt za predelavo za njih povsem varen in da v nobenem primeru ne bo negativno vplival na njihovo življenjsko okolje. Pri tem velja poudariti tudi estetski vidik samega objekta in urejenost neposredne okolice (nasadi, zelenice, ipd.). Prebivalci bodo bolj zadovoljni z modernimi tehnologijami, pri katerih dobijo občutek, da so nekaj koristnega prispevali tudi sami.

Predstavljeni kriteriji še zdaleč ne zajemajo vseh področij, ki bi jih veljalo upoštevati, marveč le tista, ki so bodisi ključnega pomena pri neposrednih investicijskih stroških, bodisi bistvenega pomena za okolje ali človeka. Primerjave med kriteriji, ki so prikazane v nadaljevanju (Tabela 6.3 in 6.4) so opravljene na osnovi lastne ocene in so zaradi tega subjektivnega značaja. Pri nekaterih kriterijih, kot npr. kumulativna količina ostanka in nevarnih odpadkov

za odlaganje, potrebna površina za objekt, cena objekta, so upoštevana empirična dejstva, drugje pa sem se zanašal na lastne ocene, ki temeljijo na izkušnjah pridobljenih na okoljevarstvenem področju. Pri subjektivnih ocenah seveda velja, da bi jih drug ocenjevalec lahko videl drugače. Še posebej pri tem izstopa kriterij 9 (Sociološki vpliv na prebivalce), saj lahko zanj z gotovostjo trdimo, da bi v drugačnem okolju ali drugačni kulturi od naše dobili povsem različne ocene od navedenih. Tudi v tem primeru bi bile ocene natančnejše z izvedbo raziskave, ki pa v mojem primeru presega okvire zastavljenega projekta.

Kot že rečeno, s primerjavami kriterijev dobimo matriko ranga, ki ustreza številu kriterijev. Kadar je prvi kriterij recimo opazno pomembnejši od drugega ima v prvi vrstici in drugem stolpcu vrednost 5, v drugi vrstici in prvem stolpcu pa recipročno vrednost 1/5. Dve tabeli sta nastali zaradi hierarhičnega drevesa, ki je posledica delitve kriterija 6 (emisije) na več podkriterijev. Razlog za delitev je predvsem v večji preglednosti tabele in lažji primerjavi kriterijev med seboj

Tabela 6.3: Primerjalna matrika med pari kriterijev

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pomembnost kriterija
1	1	7	2	3	4	8	1/2	6	9	0,2405
2	1/7	1	1/3	1/2	1	2	1/6	1	3	0,0488
3	1/2	3	1	2	3	6	1/3	4	7	0,1483
4	1/3	2	1/2	1	2	4	1/4	3	5	0,0959
5	1/4	1	1/3	1/2	1	3	1/5	2	6	0,0663
6	1/8	1/2	1/6	1/4	1/3	1	1/8	1/2	2	0,0270
7	2	6	3	4	5	8	1	6	9	0,3114
8	1/6	1	1/4	1/3	1/2	2	1/6	1	3	0,0428
9	1/9	1/3	1/7	1/5	1/6	1/2	1/9	1/3	1	0,0189
$\lambda = 9,274$ C.R. = 0,0236										

Tabela 6.4: Primerjalna matrika med pari podkriterijev za kriterij 6 (emisije)

Emisije	6.1	6.2	6.3	6.4	Pomembnost kriterija
6.1	1	1/2	1/3	1/4	0,0954
6.2	2	1	1/2	1/3	0,1601
6.3	3	2	1	1/2	0,2772
6.4	4	3	2	1	0,4673
$\lambda = 4,030$ C.R. = 0,0115					

Pri pregledu pomembnosti kriterijev opazimo, da je najpomembnejši kriterij 7 - cena tehnologije (delovnega obrata), saj le-ta predstavlja kar 31% pomembnosti vseh kriterijev. Najmanj pomemben kriterij pa je kriterij 9 – sociološki vpliv na prebivalce, ki predstavlja 1,9% pomembnosti kriterijev. Kljub temu pa tudi slednjega ne gre zanemariti, saj lahko denimo zaradi nestrinjanja prebivalcev z izbrano tehnologijo, ki sodi v okvir tega kriterija, celoten projekt propade. Tabela je dobro usklajena, kar izhaja že iz lastne vrednosti matrike, ki je le malce višja od števila kriterijev ($9,274 > 9$) in indeksa usklajenosti, ki je daleč pod dovoljeno vrednostjo 0,1.

6.4.2 Pregled in opis posameznih alternativ

Podrobnemu opisu alternativ (poglavje 5) sledi osnovno modeliranje sistema.

6.4.3 Primerjava alternativ med seboj

V nadaljevanju so prikazane pozitivne recipročne matrike, ki predstavljajo drugo fazo odločitvenega procesa. V tem koraku primerjamo posamezne alternative med seboj ali pa jih rangiramo na osnovi absolutnih vrednosti, kot je to prikazano recimo pri kriteriju cena obrata. Posamezne vrednosti primerjave alternativ izhajajo iz opisov predstavljenih tehnologij v poglavju 5.

Alternative so označene z naslednjimi vrednostmi:

- 1 – deponiranje
- 2 – incineracija
- 3 – ločeno zbiranje
- 4 – postopek MBB

Tabela 6.5.1: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Kumulativna količina ostanka za odlaganje«

Kumulativna količina ostanka za odlaganje	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/6	1/5	1/4	0,0623
2 – I	6	1	1/2	1/3	0,2050
3 – LZ	5	2	1	1/2	0,2897
4 – MBB	4	3	2	1	0,4430
$\lambda = 4,2550$ C.I. = 0,0850 C.R. = 0,0945					

Glede na kriterij "Kumulativna količina ostanka za odlaganje" bi bila izbrana alternativa 4 – postopek MBB, saj pri njem ostane najmanj ostanka za odlaganje na deponijo ali morebitno nadaljnjo obdelavo. Kot najslabša se je po tem kriteriju izkazala alternativa 1 – deponiranje, kar je tudi jasno, saj ta metoda ne predvideva nobene obdelave odpadkov, marveč odlaganje odpadkov v celoti in zmanjšanje volumna ostanka zgolj s kompaktiranjem.

Tabela 6.5.2: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Količina nevarnih odpadkov za odlaganje«

Količina nevarnih odpadkov za odlaganje	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	2	1/2	1/3	0,1601
2 – I	1/2	1	1/3	1/4	0,0954
3 – LZ	2	3	1	1/2	0,2772
4 – MBB	3	4	2	1	0,4673
$\lambda = 4,0310$ C.I. = 0,0103 C.R. = 0,0115					

Glede na kriterij "Količina nevarnih odpadkov za odlaganje" bi bila prav tako izbrana alternativa 4 – postopek MBB. Razlog je v tem, da se nevarni odpadki pri tej metodi nevtralizirajo do najvišje možne mere, pri čemer se uporabi več inovativnih postopkov. Na deponiji, ki je pristala na zadnjem mestu, se izločijo ti odpadki (brez obdelave) na poseben del deponije, kjer je odlaganje bistveno dražje.

Tabela 6.5.3: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Potrebna površina za postavitve objektov«

Potrebna površina za postavitve objektov	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/5	1/3	1/4	0,0754
2 – I	5	1	1/2	1/3	0,2056
3 – LZ	3	2	1	1/2	0,2678
4 – MBB	4	3	2	1	0,4511
$\lambda = 4,2217$ C.I. = 0,0739 C.R. = 0,0821					

Pri tem kriteriju bi lahko namesto primerjav vpisali tudi dejanske izmere potrebnega prostora za postavitve objektov, ker pa tega podatka nimamo, so uporabne tudi ocene o tem in primerjave, ki izhajajo iz njih. Najboljši je zopet postopek MBB, ki potrebuje najmanj prostora za obratovanje in posledično najmanjše stroške v zvezi s tem, največ prostora pa potrebuje deponiranje, kar lahko potrdimo tudi z zdravo logiko.

Tabela 6.5.4: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Snovna izraba preostanka«

Snovna izraba preostanka	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/2	1/2	1/7	0,1059
2 – I	2	1	1/2	1/3	0,1304
3 – LZ	3	2	1	1/2	0,2393
4 – MBB	7	3	2	1	0,5245
$\lambda = 4,0704$ C.I. = 0,0235 C.R. = 0,0261					

Snovna izraba preostanka je najboljša pri postopku MBB, kjer že ocena v primerjavi z deponiranjem zelo izstopa. Kljub enaki oceni deponiranja in incineracije, pa glede na rezultat alternativ nista enaki.

Tabela 6.5.5: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Energetska izraba preostanka«

Energetska izraba preostanka	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/9	1/3	1/2	0,0742
2 – I	9	1	3	2	0,5239
3 – LZ	3	1/3	1	1/2	0,1650
4 – MBB	2	1/2	2	1	0,2369
$\lambda = 4,1241$ C.I. = 0,0414 C.R. = 0,046					

Zaradi proizvedene električne energije v incineratorju je glede na energetsko izrabo preostanka najboljša metoda ravno incineracija, najslabša pa deponiranje, kjer energetske izrabe praktično ni.

Tabela 6.5.6: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije toplogrednih plinov (CO₂, CH₄, N₂O)«

Emisije toplogrednih plinov (CO₂, CH₄, N₂O)	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	2	1/2	1/3	0,1644
2 – I	1/2	1	1/2	1/4	0,1078
3 – LZ	2	2	1	1/2	0,2561
4 – MBB	3	4	2	1	0,4717
$\lambda = 4,0458$ C.I. = 0,0153 C.R. = 0,0170					

Glede na emisije toplogrednih plinov bi na prvo mesto postavili postopek MBB, pri katerem jih dejansko nastaja najmanj. To je hkrati tudi logična posledica dejstva, da je pri tej metodi najmanj preostanka za deponiranje. Vemo namreč, da pri deponiranju nastaja velika količina metana, ki je na deponiji prisoten tudi

več let po samem deponiranju. Na zadnjem mestu je kljub temu pristala incineracija in sicer zaradi velikih količin CO₂, ki nastaja pri zgorevanju odpadkov.

Tabela 6.5.7: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije v tla«

Emisije v tla	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/2	1/3	1/4	0,0954
2 – I	2	1	1/2	1/3	0,1601
3 – LZ	3	2	1	1/2	0,2772
4 – MBB	4	3	2	1	0,4673
$\lambda = 4,0310$ C.I.= 0,0103 C.R.= 0,0115					

Glede na emisije v tla je najboljši postopek MBB, najslabša alternativa pa deponiranje. Na tem področju je bilo sicer opaziti velik napredek tudi pri deponiranju, saj je izgradnja spodnjih slojev deponije zelo pomembna in naj bi imela namen ravno preprečitev emisij v tla. Kljub temu pa ostaja dejstvo, da odpadki ostanejo za vedno na mestu deponiranja in s tem predstavljajo potencialno nevarnost za okolico še dolgo časa.

Tabela 6.5.8: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije v vodo (izcedne vode)«

Emisije v vodo (izcedne vode)	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/2	1/3	1/4	0,0954
2 – I	2	1	1/2	1/3	0,1601
3 – LZ	3	2	1	1/2	0,2772
4 – MBB	4	3	2	1	0,4673
$\lambda = 4,0310$ C.I.= 0,0103 C.R.= 0,0115					

Najmanj izcednih vod je po tem kriteriju pri postopku MBB, največ pa pri deponiranju, kjer probleme povzročajo predvsem meteorne vode. Kljub temu je na tem področju moč opaziti precejšnje izboljšanje stanja.

Tabela 6.5.9: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije življenjsko nevarnih plinov (dioksini)«

Emisije življenjsko nevarnih plinov (dioksini)	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	2	1/2	1/3	0,1644
2 – I	1/2	1	1/2	1/4	0,1078
3 – LZ	2	2	1	1/2	0,2561
4 – MBB	3	4	2	1	0,4717
$\lambda = 4,0458$ C.I.= 0,0153 C.R.=0,0170					

Dioksini so plini, ki so po mnogih raziskavah dokazano karcenogeni in povzročajo različna obolenja dihal, tvorijo pa se predvsem pri incineraciji, zato ni čudno, da je incineracija po tem kriteriju na zadnjem mestu.

Tabela 6.5.10: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Vse emisije«

Vse emisije	Prednost rešitve
1 – D	0,1343
2 – I	0,1306
3 – LZ	0,2653
4 – MBB	0,4698

Zgornja tabela prikazuje združene prednosti rešitev glede na vse emisije, kjer so združene vse prej obravnavane emisije (Tabele od 6.5.6 do 6.5.9).

Tabela 6.5.11: Primerjalna matrika med alternativami glede na kriterij »Cena obrata«

Cena obrata		Prednost rešitve
1 – D	510 mio EUR	0,1389
2 – I	740 mio EUR	0,0958
3 – LZ	475 mio EUR	0,1492
4 – MBB	115 mio EUR	0,6161

Tabela 4.6.7 se od ostalih razlikuje predvsem po tem, da so tu vnesene absolutne vrednosti in ne primerjave med alternativami. V kriterij »Cena obrata« je vključena tako začetna investicija, kot tudi vsi obratovalni stroški za predvideno letno količino predelave 200.000 ton, za celotno življenjsko dobo obrata, ki je ocenjena na 25 let. Izbor po tem kriteriju je zaradi vnesenih absolutnih vrednosti namesto primerjav alternativ jasen, saj je pomembna le nižja cena obrata.

Tabela 6.5.12: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Predelava že odloženih odpadkov«

Predelava že odloženih odpadkov	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	1/2	1/3	1/4	0,0975
2 – I	2	1	2	1/2	0,2554
3 – LZ	3	1/2	1	1/3	0,1839
4 – MBB	4	2	3	1	0,4642
$\lambda = 4,1241$ C.I. = 0,0414 C.R. = 0,0460					

Najvišjo vrednost po tem kriteriju ima postopek MBB, ki že v svojem konceptu predvideva možnost predelave že odloženih odpadkov. Na drugem mestu je incineracija, ki prav tako omogoča, da sežgemo tudi stare odpadke, na tretjem pa ločeno zbiranje, ki te možnosti ponavadi nima. Na zadnjem mestu je deponiranje, kar je jasno, saj po tej metodi le odlagamo odpadke na določeno

mesto in nimamo nobene možnosti predelave ali obdelave predhodno odloženih odpadkov.

Tabela 6.5.13: Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Sociološki vpliv na prebivalce«

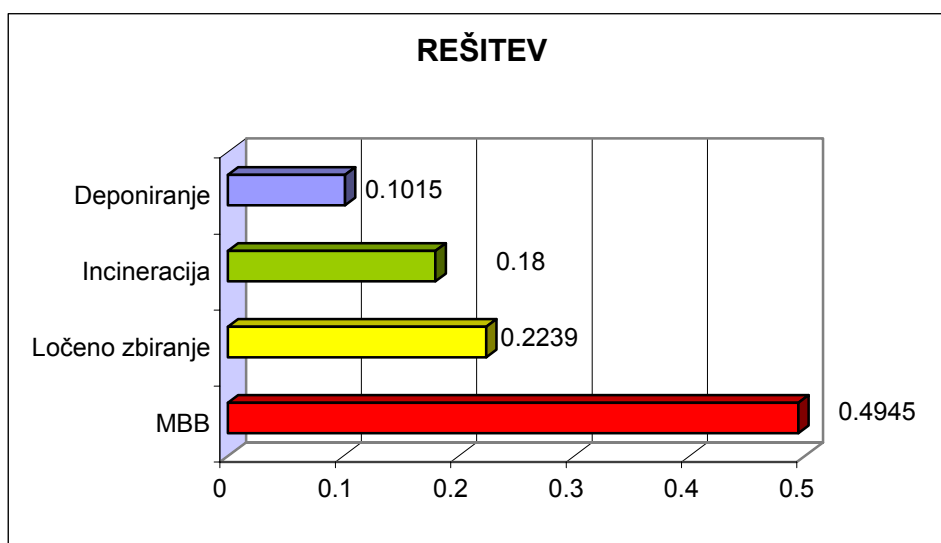
Sociološki vpliv na prebivalce	1	2	3	4	Prednost rešitve
1 – D	1	2	1/2	1/3	0,1601
2 – I	1/2	1	1/3	1/4	0,0954
3 – LZ	2	3	1	1/2	0,2772
4 – MBB	3	4	2	1	0,4673
$\lambda = 4,0310$ C.I.= 0,0103 C.R.=0,0115					

Ker ima postopek MBB skorajda same pozitivne lastnosti je moč pričakovati najboljši odziv lokalnega prebivalstva prav pri njem. Najslabše pa bi po rezultatih analize prebivalci prenesli postavitev incineratorja, zelo verjetno predvsem zaradi poznavanja o škodljivih vplivih na ljudi in okolje.

6.5 Testiranje rešitev in analiza rezultatov

Rezultat dokaj poenostavljenega modela sistema za podporo odločanju je v danih razmerah izbira metode MBB, kot najustreznejše za gospodarjenje z odpadki. Metoda MBB predstavlja, kot opisano, sinergijo ostalih metod in ponuja inovativen pristop k reševanju problema odpadkov. Ker je zasnovana na načelih metode vrednotenja LCI, povsem ustreza vsem njenim kriterijem. Upravičena je po vseh kriterijih razen energetske izrabe, ki ima sicer pomembnost 6,6%, kar ji daje nedvomno prvo mesto. To je razvidno tudi iz Slike 6.5, ki prikazuje rezultat Saatyve analize in s tem daleč najvišjo pomembnost postopku MBB z vrednostjo 49,83%. Na drugo mesto se je uvrstilo ločeno zbiranje, tretje incineracija in zadnje, kot najstarejša in v svetu še vedno najpogostejša metoda, deponiranje.

Slika 6.5: Prikaz rešitve po Saatyevi metodi



Kljub temu, da vsi kriteriji kažejo na to, da je postopek MBB nedvomni zmagovalec našega modela, pa še vedno obstaja dejstvo, da v praksi še nikoli ni bil izbran. Problem izbrane rešitve ni v tehnologiji, marveč v ljudeh samih. Ker je postopek MBB nov in je bil dokazan le na preizkusu, še nima toliko referenc v praksi, kot ostale tehnologije. Za prikaz vseh njegovih zmogljivosti je potrebna sprememba v razmišljanju in pristopu ljudi, ki so ponavadi bolj usmerjeni k preverjenim, a zato ponavadi konzervativnim rešitvam.

6.6 Praktična uporaba

Saatyev program za podporo odločanju in model, ki temelji na njegovi osnovi, je z določenimi popravki uporaben tudi v praksi. Še posebej bi bilo v praktičnem modelu v praksi potrebno več pozornosti posvetiti primerjavam in vrednotenju kriterijev in alternativ, pri čemer sem si večinoma pomagal zgolj z lastnimi in zato subjektivnimi ocenami. Boljše ocene bi lahko pridobili z obširnejšimi raziskavami in primerjavami, v nekaterih primerih (kot recimo sociološki vpliv na prebivalce) pa z anketami.

Problem pri aplikaciji ugotovljenega v praksi pa je ponavadi politične narave. Predstavljeni sistem za podporo pri odločanju o izbiri tehnologije gospodarjenja

z odpadki je namreč le orodje politikov, ki sprejemajo odločitve o izbiri tehnologije. Politiki pa se pri izbiri pogosto ravnajo po 2 načelih, ki ju metoda LCI imenuje NIMBY in NIMET:

NIMBY... not in my back yard (slov. ne na mojem dvorišču)

NIMET ... not in my election time (slov. ne v mojem političnem času)

Odločitve, kot je na primer izbira tehnologije, zahtevajo ogromno odgovornost in veliko angažiranosti, katere pa se ljudje večinoma raje izogibajo.

7. REŠEVANJE Z METODO DEX

Rezultat Saatyve metode je sicer prepričljiv, ni pa dosegel namena te naloge, torej ugotoviti kako odločitveni proces obravnavajo še druge metode, ter na podlagi tega, izbrati najprimernejšo za tovrstne probleme.

Kot podpora odločitvenemu procesu lahko pripomore uporaba hierarhičnih večparametrskih odločitvenih modelov, ki temeljijo na tem, da odločitveni problem razdelimo na manj zahtevne podprobleme, spremenljivke, ki jih določajo pa na osnovi definiranih pravil povežemo v drevesno, usmerjeno strukturo. Gradnje modela se lahko lotimo po klasični poti, ko sistematično, na osnovi znanja in izkušenj, oblikujemo celoten model, v nekaterih primerih pa se lahko gradnje modela lotimo tudi s pomočjo modernih metod strojnega učenja. Ena izmed tovrstnih metod, imenovana metoda HINT (angl. Hierarchy Induction Tool) omogoča avtomatsko definicijo ciljnega koncepta v obliki hierarhičnega odločitvenega modela (Zupan, 1997, str. 27). Metoda HINT temelji na funkcijski dekompoziciji, ki poteka rekurzivno toliko časa, da je končni rezultat razgradnje hierarhija atributov in funkcij (Ashenhurst, 1952, str. 561). Pri tem so funkcije koristnosti predstavljene v obliki odločitvenih tabel.

V konkretnem primeru je bil model zgrajen na osnovi klasičnega pristopa, torej brez uporabe strojnega učenja. Ta proces sicer ponavadi poteka kot dialog med

ekspertom in odločitvenim analitikom v pričujočem primeru pa je bil model zgrajen na osnovi avtorjevega poznavanja problematike in njegovega raziskovalnega dela.

Faze gradnje odločitvenega modela so naslednje:

- Identifikacija problema
- Strukturiranje kriterijev (in določitev merskih lestvic)
- Definicija funkcij koristnosti
- Opis variant
- Vrednotenje in analiza variant

Ker so za izgradnjo kvalitetnega odločitvenega modela vse faze pomembne (nekatero se lahko celo ponavljajo), jih je potrebno obravnavati s kar največjo mero skrbnosti. Nekatero izmed njih so zelo podobne fazam, ki so bile obravnavane že pri Saatyevem modelu, zato so v nadaljevanju predstavljene zgolj kot kratek povzetek.

7.1 Identifikacija problema

Odločamo se za najprimernejšo metodo gospodarjenja z odpadki, pri čemer je izbor na podlagi primernosti in strokovne ustreznosti skrčen na naslednje štiri alternative: klasično deponiranje odpadkov, incineracijo, ločeno zbiranje in mehansko-biološko obdelavo.

Vrednosti atributov vseh alternativ so ovrednotene na podlagi metode LCI, opisane v 4. poglavju. Zadostiti želimo ekonomskim, ekološkim in sociološkim kriterijem. Pri ekonomskih kriterijih je pomembno upoštevati dejstvo, da proračun ni vnaprej določen, je pa bistveno, da je optimalen glede na rezultat projekta. Ekološki kriteriji pomenijo ustreznost tehnologije, s tem da ovrednotijo dodatne ekološke obremenitve za naravo in ljudi. Seveda težimo k temu, da bi bile te minimalne, vsekakor pa manjše od tistih, ki jih povzroča obstoječa tehnologija. Sociološki vplivi pomenijo predvsem strinjanje ljudi, ki živijo v bližnji okolici, z uporabljenno tehnologijo in posledicami, ki jih le-ta prinaša (morebiten smrad, hrup, kisel dež, ipd.).

7.2 Strukturiranje kriterijev

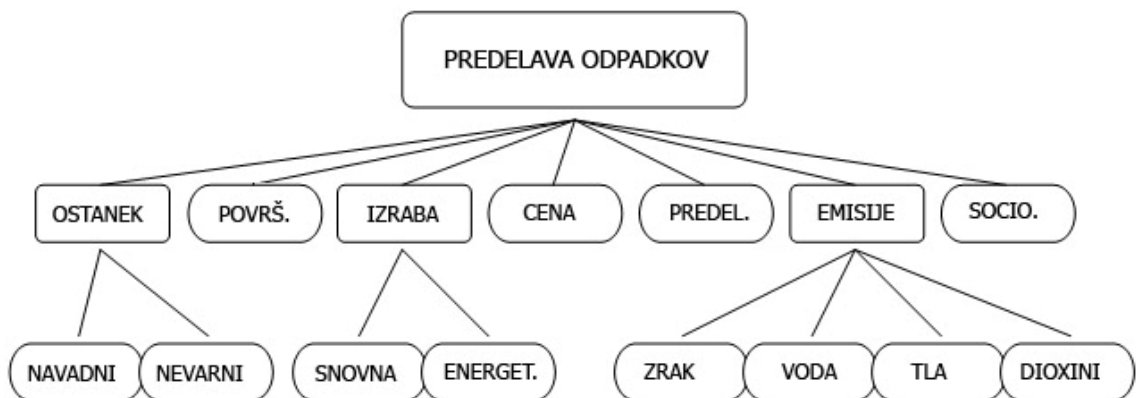
Kriteriji, uporabljeni pri razvoju odločitvenega modela so večinoma enaki tistim, ki so bili prikazani pri Saatyevi metodi.

Nestrukturiran spisek kriterijev zglada takole:

Kumulativna količina ostanka za odlaganje, količina nevarnih odpadkov za odlaganje, površina za postavitve objektov, snovna izraba preostanka, energetska izraba preostanka, emisije toplogrednih plinov (CO_2 , CH_4 , N_2O), emisije v tla, emisije v vodo (izcedne vode), emisije življenjsko nevarnih plinov (dioksini), cena obrata, predelava že odloženih odpadkov, sociološki vpliv na prebivalce.

Pri določanju kriterijev je poleg njihove relevantnosti pomembno tudi, da ustrezajo zahtevam po nerendundantnosti, ortogonalnosti in operativnosti atributov.

Slika 7.1: Prikaz odločitvenega drevesa



Na osnovi podrobnejšega pregleda kriterijev opazimo, da lahko nekatere med njimi združimo in tako ustvarimo drevo kriterijev, prikazano na Sliki 7.1. Merske lestvice definirajo zalogo vrednosti posameznega atributa. Le-te zaradi preglednosti niso prikazane v drevesu kriterijev, marveč v Tabeli 7.1⁶.

⁶ Ker se je model v nadaljevanju spreminjal so prikazane zaloge vrednosti za končni model

Tabela 7.1: Prikaz zalog vrednosti za končni model

Atribut	Zaloga vrednosti
Predelava odpadkov	zelo primerna, primerna, neprimerna
Sociološki vpliv	podpirajo, zadovoljni, protestirajo
Ekonomski razlogi	poceni, srednje, drago
Površina naprave	majhna, srednja, velika
Cena	poceni, srednje, drago
Predelava starih odpadkov	možna, ni možna
Ekološki razlogi	za, proti
Količina preostanka	odlično, dobro, slabo, zelo slabo
Navadni odpadki	zelo malo, malo, srednje, veliko, zelo veliko
Nevarni odpadki	zelo malo, malo, srednje, veliko, zelo veliko
Izraba preostanka	odlično, dobro, srednje dobro, slabo, zelo slabo
Snovna	velike možnosti, srednje možnosti, ni možnosti
Energetska	velike možnosti, srednje možnosti, ni možnosti
Emisije	Nizke, srednje, visoke
Zrak	nič, nekaj, veliko
Tla	nič, nekaj, veliko
Voda	nič, malo, veliko
Dioksini	prisotni, niso prisotni

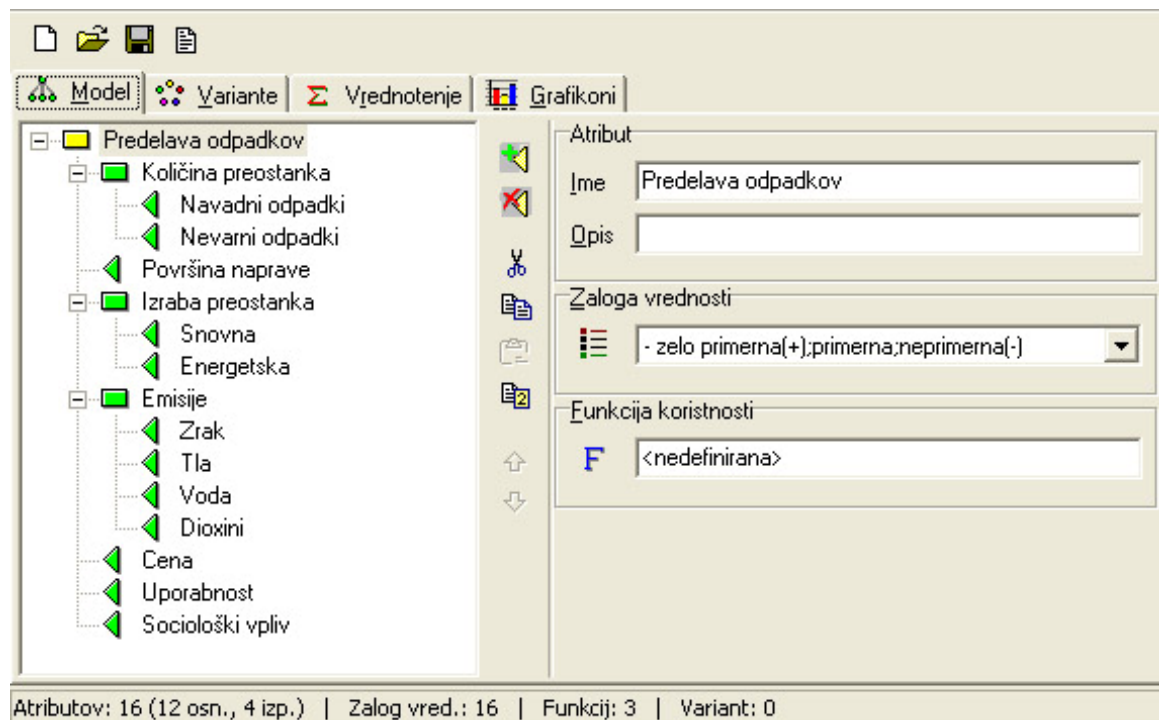
Zaloge vrednosti so definirane povsem poljubno, na podlagi poznavanja problema in optimiziranja modela. Ker definicija funkcij koristnosti s številom vrednosti merske lestvice eksponentno narašča je bilo potrebno izbrati kar najmanjše število vrednosti, ki še zadovoljivo opišejo atribut, hkrati pa model ne izgublja na vsebinskem pomenu in posledično na kvaliteti odločanja.

7.3 Definicija funkcij koristnosti

Pri uporabi DEXIja so funkcije koristnosti nelinearno formulirana pravila, na osnovi katerih se preko nižjenivojskih kriterijev določa vrednost posamezne alternative. To pomeni, da je potrebno pripraviti listo pravil za vsa možna stanja in njihove kombinacije. Na primeru, kjer imamo tri kriterije, od katerih ima vsak 5 možnih stanj je tako potrebno formulirati 125 pravil.

Definicija funkcije koristnosti na najvišjem nivoju lahko postane zahtevna oziroma celo nemogoča, kadar obstaja precej atributov stopnjo nižje. Ravno to se je pokazalo tudi pri izboru strategije gospodarjenja z odpadki, kjer je bilo na prvem nivoju 7 atributov, prikazanih na sliki 7.2.

Slika 7.2: Odločitveni model



Ker je bilo ustvarjanje 5400 potrebnih pravil prezahtevno delo, (pa tudi program DEXi tega ni dopuščal), se je odločitveni model spremenil tako, kot je prikazano na sliki 7.3.

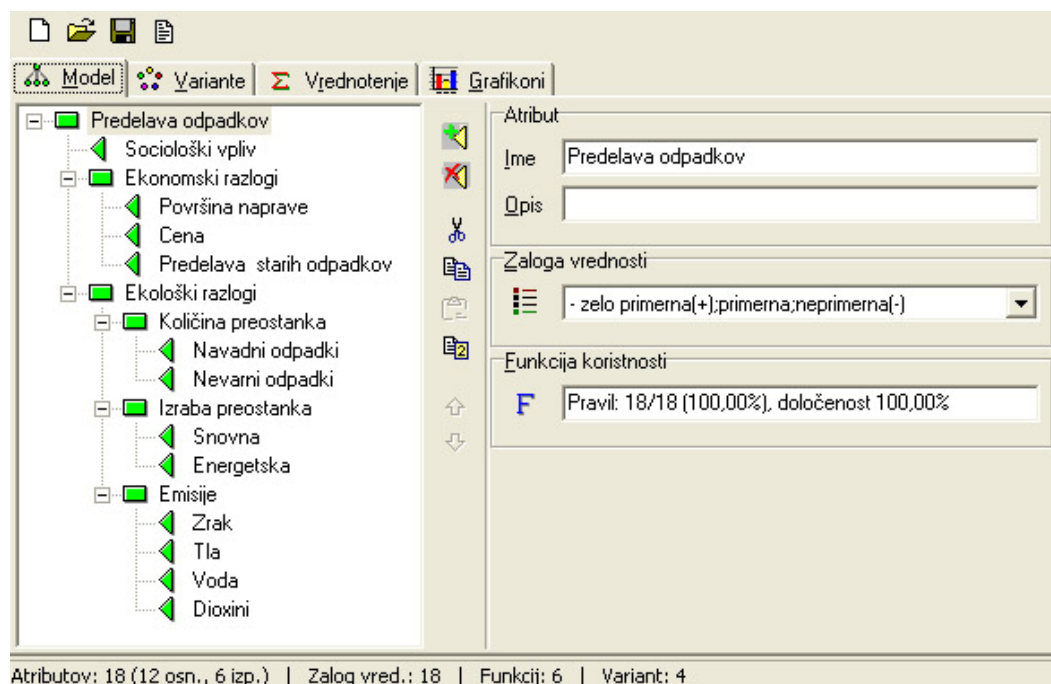
S tem model ni izgubil na kvaliteti, bistveno pa se je zmanjšalo število potrebnih pravil. Namesto 5400 jih je bilo potrebno pripraviti le 96 (60 za ekološke kriterije, 18 za ekonomske kriterije ter 18 za funkcijo koristnosti na najvišjem nivoju).

Slika 7.3: Prikaz odločitvenega drevesa z novimi atributi



V programu DEXi temelji končni model, prikazan na sliki 7.4, na 184 pravilih. Pravokotniki na sliki označujejo vozlišča, kjer je potrebno določiti funkcijo koristnosti, trikotniki pa označujejo liste drevesa, katerim je potrebno pri vrednotenju alternativ izbrati vrednosti iz nabora zaloge vrednosti.

Slika 7.4: Prikaz odločitvenega modela v programu DEXi



Tako dobljen model sicer ni identičen modelu, ki je bil uporabljen pri Saatyevi metodi, kljub temu pa je z definicijo funkcij koristnosti, ki ustreza metodi LCI dosežena največja možna podobnost. Metoda LCI namreč loči ekonomske, ekološke in socialne vplive in prav ti so bili dodani kot novi atributi, ki združujejo prej uporabljene attribute.

V primeru, da ustvarjanje umetnih atributov nebi bilo mogoče, bi bilo odločanje na osnovi programa DEXi zelo oteženo. Izbrati bi morali drugačen odločitveni model, druge attribute ali pa drugo metodo, kot pomoč pri odločanju.

7.4 Opis variant

Na osnovi podrobnega poznavanja vsake izmed alternativ se v fazi, ko je odločitveni model že izdelan in so vsa pravila definirana, opiše vsako alternativo. Pri tem v program ni potrebno vnašati vseh kriterijev, ampak le tiste, ki ležijo na listih odločitvenega drevesa. To seveda ne pomeni, da poznavanje višje ležečih kriterijev ni potrebno, saj smo to znanje že uporabili pri definiciji pravil. S slabim poznavanjem problema bi namreč zelo težko določili dobre funkcije koristnosti.

Opis variant odločitvenega modela je prikazan na Sliki 7.5, kjer so prikazane vse štiri alternative ter vrednosti atributov, ki so na listih odločevalskega drevesa.

Slika 7.5: Vrednosti atributov za vse alternative

Model	Variante	Vrednotenje	Grafikoni	
Deponiranje				
Varianta	Deponiranje	Recikliranje	Incineracija	MBB
Sociološki vpliv	zadovoljni	zadovoljni	protestirajo	podpirajo
Površina naprave	velika	srednja	srednja	srednja
Cena	srednje	srednje	drago	poceni
Predelava starih odpadkov	ni možna	možna	možna	možna
Navadni odpadki	zelo veliko	malo	zelo malo	zelo malo
Nevarni odpadki	zelo veliko	malo	veliko	malo
Snovna	ni možnosti	velike možnosti	velike možnosti	velike možnosti
Energetska	ni možnosti	srednje možnosti	velike možnosti	ni možnosti
Zrak	nekaj	nič	nekaj	nič
Tla	veliko	nič	nekaj	nekaj
Voda	malo	malo	malo	malo
Dioxini	niso	niso	so prisotni	niso

Deponiranje

Deponiranje zahteva ogromno prostora, kakršnakoli predelava odpadkov (razen kompaktiranja) ni možna, prav tako velja za snovno in energetska izrabo odloženih odpadkov. Emisije - predvsem v tla, se poznajo po zaprtju deponije, ko se le-ta zasuje z zemljo, odpadki pa ostanejo v njej. Cena ima vrednost *srednje*, ker stane takšna deponija cca. *120 mio EUR*, skupaj z obratovalnimi stroški za 25 let pa ta vrednost naraste na *510 mio EUR*. Ker ob dobri zasnovi deponija v bližnji okolici (1km) ne povzroča hrupa in smradu je sociološki vpliv pozitiven.

Recikliranje

Ločeno zbiranje odpadkov z recikliranjem je okolju prijazna tehnologija, s katero so ljudje zadovoljni, ne povzroča bistvenih emisij v okolje in tudi ne zahteva pretirano veliko prostora. Možna je celo predelava starih odpadkov, seveda ob predpostavki, da je obrat dimenzioniran tako, da ni večino časa zaseden zgolj s predelavo sveže pripeljanih odpadkov. Cena ima vrednost *srednje*, ker je skupna ocenjena vrednost projekta (v 25 letih) *475 mio EUR*.

Incineracija

Sežig odpadkov je ekološko najbolj sporna metoda, predvsem zaradi izpusta dokazano karcinogenih dioksinov v ozračje. To je tudi razlog, da so ljudje v ožji in širši okolici lokacije sežigalnice ponavadi proti tej rešitvi. Kljub ogromni ceni naprave (*740 mio EUR*) pa le-ta omogoča velik izkoristek (med drugim proizvodnjo elektr. energije) in ogromno zmanjšanje volumna odpadkov. Pri sežigu nastaja pepel, ki je klasificiran kot nevaren odpadek in ga je potrebno odvažati na deponijo za nevarne odpadke.

Postopek MBB

Metoda MBB združuje vse pozitivne ukrepe, ki jih priporoča metoda LCI, zato ne preseneča dejstvo, da so skoraj vsi atributi ocenjeni zelo dobro. Zavzema malo prostora, je relativno poceni (*115 mio EUR*), ne obremenjuje okolja in bistveno zmanjša volumen svežih in že odloženih odpadkov. Njena slabost je predvsem to, da brez dodatnega briketiranja preostanka odpadkov, ne predvideva energetske izrabe odpadkov.

7.5 Vrednotenje in analiza variant

Vrednotenje variant je v domeni DEXIja, kajti ko je odločitveni model postavljen in ko so vnešeni podatki za vse alternative je izračun (prikazan na Sliki 7.6) narejen v trenutku. Od te faze dalje pa je potrebno uporabiti človeško logiko in v primeru nepričakovanih ali tesnih rezultatov preveriti zakaj je temu tako.

Rezultat kaže, da je metoda MBB zelo primerna za uporabo, recikliranje primerno, deponiranje in incineracija pa povsem neprimerni metodi. Vsekakor rezultat za odločevalca, brez poznavanja kritičnih točk, ki so izločile obe neprimerni metodi, ni dovolj zanimiv.

Slika 7.6: Prikaz rezultata vrednotenja alternativ

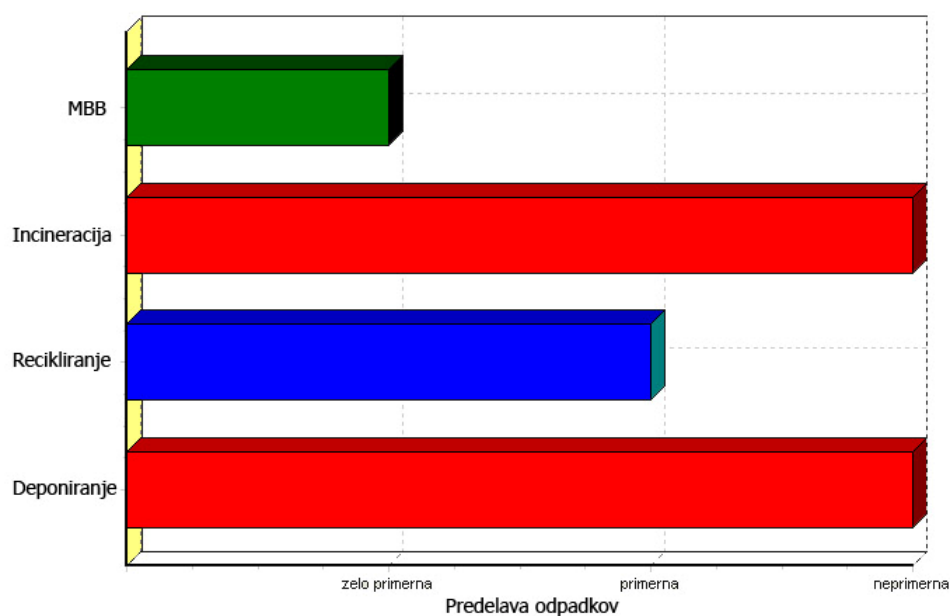
Model Variante Vrednotenje Grafikoni				
Varianta	Deponiranje	Recikliranje	Incineracija	MBB
Predelava odpadkov	neprimerna	primerna	neprimerna	zelo primerna
Sociološki vpliv	zadovoljni	zadovoljni	protestirajo	podpirajo
Ekonomski razlogi	drago	srednje	drago	poceni
Površina naprave	velika	srednja	srednja	srednja
Cena	srednje	srednje	drago	poceni
Predelava starih odpadkov	ni možna	možna	možna	možna
Ekološki razlogi	proti	za	za	za
Količina preostanka	zelo slabo	dobro	slabo	odlično
Navadni odpadki	zelo veliko	malo	zelo malo	zelo malo
Nevarni odpadki	zelo veliko	malo	veliko	malo
Izraba preostanka	zelo slabo	dobro	odlično	srednje dobro
Snovna	ni možnosti	velike možnosti	velike možnosti	velike možnosti
Energetska	ni možnosti	srednje možnosti	velike možnosti	ni možnosti
Emisije	srednje	nizke	srednje	srednje
Zrak	nekaj	nič	nekaj	nič
Tla	veliko	nič	nekaj	nekaj
Voda	malo	malo	malo	malo
Dioxini	niso	niso	so prisotni	niso

Na osnovi pregleda funkcij koristnosti (pravil) in vrednosti atributov lahko ugotovimo naslednje:

- Deponiranje je neprimerna metoda, zaradi visokih stroškov in neprimernih vrednosti ekoloških kriterijev. Če bi se ekološki razlogi spremenili, bi deponiranje postalo primerna metoda
- Incineracija je neprimerna zaradi ekonomskih in socioloških razlogov. V primeru, da bi ljudi prepričali, da nebi protestirali, bi bila to najlažja pot za dosego primernosti metode.

Zgoraj prikazano poenostavljeno »kaj-če« analizo je moč napraviti tudi s pomočjo grafičnega vmesnika programa DEXi. Ta nam lahko prikaže poleg končnega rezultata (na Sliki 7.7) tudi vrednosti vseh ostalih atributov. Ti so lahko bodisi v 2D obliki, kadar je atributov za prikaz več, pa tudi v večdimenzionalni obliki.

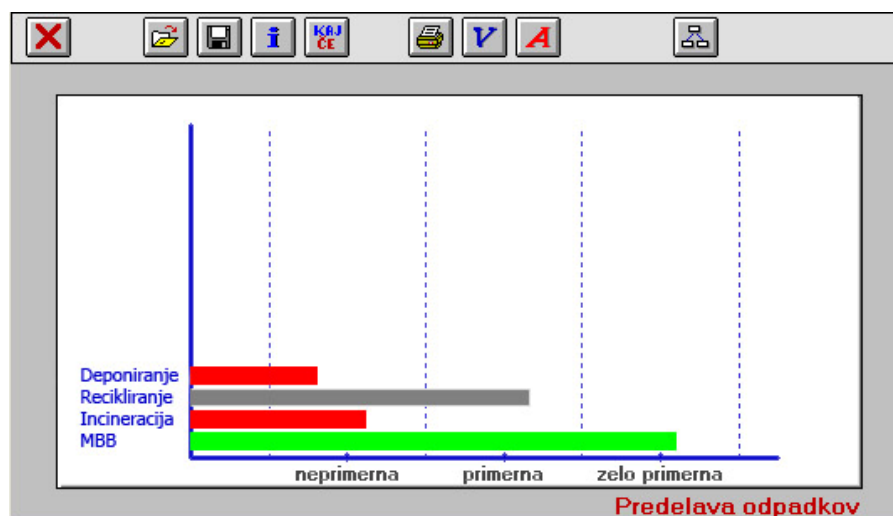
Slika 7.7: Grafični prikaz končnega rezultata



7.6 Vrednotenje in analiza s programom Vredana

Podrobnejšo analizo predlagane rešitve opravimo v programu Vredana, ki je tako kot DEXi, delo slovenskih programerjev (Šet et al., 1995, str. 158). Vredana prebere podatke direktno iz izvožene DEXIjeve datoteke tipa *.dax. Bistvo uporabe Vredane je, da na osnovi mehke metode ne določi zgolj ranga posamezne alternative, ampak tudi njeno mesto znotraj ranga. DEXi vrednoti variante le kvalitativno, kar pomeni, da varianto razporedi v določen razred, ničesar pa ne pove o njenem položaju znotraj razreda. V primeru velikega števila variant, ki jih je treba razporediti v nekaj razredov, se pogosto ne ve, katera varianta je najboljša. V takih primerih si pomagamo s kombiniranim kvalitativnim in kvantitativnim vrednotenjem (Bohanec, Urh, Rajkovič, 1992, str. 68). Končni rezultat je prikazan na sliki 7.8, iz katere je razvidno, da alternative dejansko niso zgolj enolično določene.

Slika 7.8: Grafični prikaz analize v programu Vredana



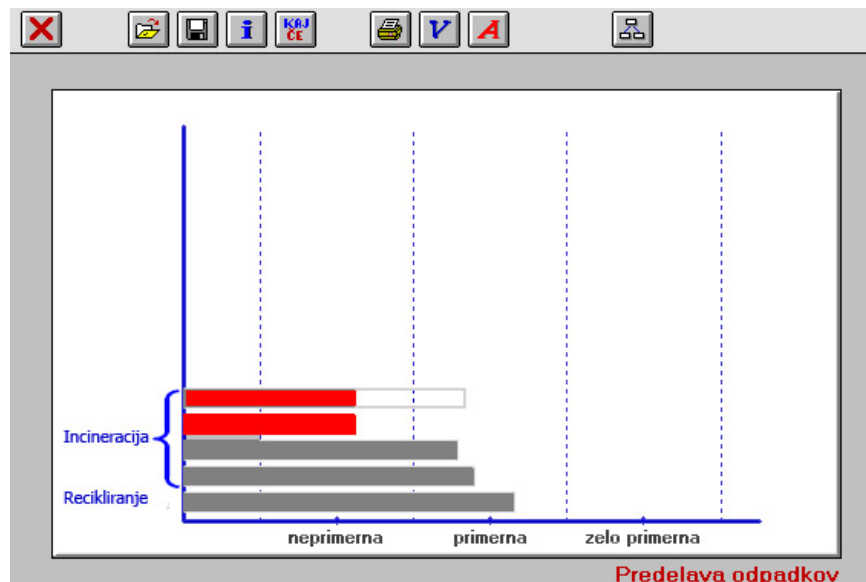
Kot že omenjeno je DEXIjeva glavna pomanjkljivost ta, da alternativam določi le absolutni rang (iz zaloge vrednosti), ne omogoča pa natančnejše razvrstitve. Tako sta imeli alternativni *deponiranje* in *incineracija* isti rang, kljub temu, da se je pri vrednotenju z Vredano izkazalo, da nista popolnoma enaki. V tem primeru natančnejše rangiranje sicer ni bilo potrebno, ker se je to zgodilo pri izločenih alternativah in ne pri morebitni zmagovalki.

Vredana kljub temu omogoča, da alternative s primera gospodarjenja z odpadki sedaj razvrstimo v naslednjo lestvico:

1. MBB
 1. Recikliranje (z ločenim zbiranjem)
 2. Incineracija
 3. Deponiranje

Omeniti velja še možnost »*kaj-če*« analize, katere uporaba je zelo preprosta, v nekaterih primerih pa lahko bistveno spremeni rezultat. Pri enostavni analizi vrednosti incineracije se je na primer pokazalo, da je ključni kriterij za njeno neprimernost sociološki vpliv. V Vredani lahko tako sociološki vpliv spreminjamo, kar nam ne le potrdi hipotezo, marveč tudi pokaže, v kakšnem razponu se lahko giblje končna vrednost alternative glede na tri možna stanja kriterija sociološki vpliv. To gibanje je hkrati z recikliranjem prikazano na sliki 7.9. Zanj lahko po spreminjanju socioloških vplivov pri incineraciji še vedno trdimo, da ostaja na rangi nad njo.

Slika 7.9: Prikaz »*kaj-če*« analize za alternativo Incineracija



8. PRIMERJAVA UPORABLJENIH METOD

Na primeru odločitvenega problema izbora gospodarjenja z odpadki sta bili uporabljeni Saatyeva AHP metoda ter programsko orodje DEXi.

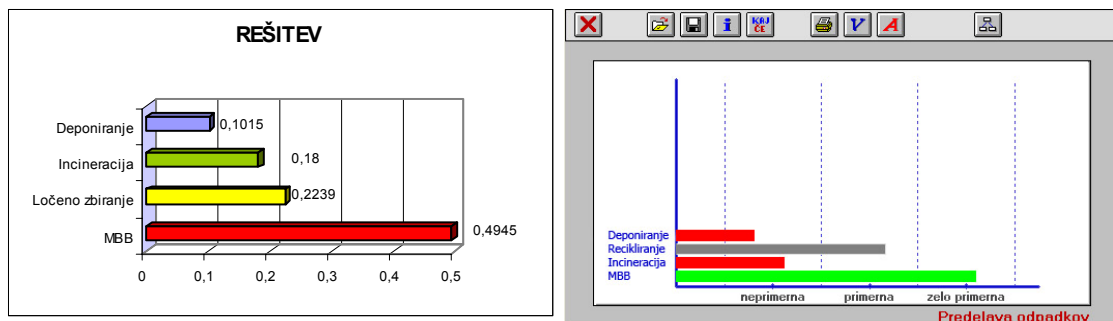
Saatyeva metoda predstavlja teorijo kvantitativnega modeliranja, ki temelji na osnovi matematično določene linearne vrednostne funkcije, ki vrednosti računa na osnovi številsko predstavljenih podatkov (primerjav med kriteriji). Dejansko pa se za modelom skriva subjektivno ocenjevanje, saj odločevalec na podlagi svojih podatkov in preferenc določi posamezne (številске) vrednosti kriterijev. To pomeni, da je merska lestvica, predstavljena s številkami, dejansko lahko primerljiva s kvalitativno določeno mersko lestvico, uporabljeno pri DEXIju. Razlika je sicer v tem, da je vsebinski podatek Saatyevega modela mnogokratnik tega, kolikokrat je nek kriterij boljši od drugega, ne pa njegova dejanska vrednost.

Na osnovi tega lahko ugotovimo, da obstaja pri ocenjevanju kvalitativnih kriterijev realna primerjava med obema lestvicama. Do razhajanja prihaja pri številsko izraženih kriterijih, kot je npr. cena objekta. V Saatyev model lahko vpišemo dejansko ceno, medtem ko je pri DEXIju lestvica tudi v tem primeru neštevilska.

Rešitev problema številskih spremenljivk, ki bi vsaj nekoliko bolje rangirala alternative je v uporabi širše merske lestvice – tako široke, da bi vsaka (različna) vrednost lahko zasedla enoličen rang. Težava se v tem primeru pojavi pri ustvarjanju pravil funkcije koristnosti, saj bi lahko število pravil enormno naraslo.

Rezultata obeh metod sta podobna, seveda v primeru, kjer je za natančnejše vrednotenje uporabljen še program Vredana.

Slika 8.1: Prikaz rezultatov Saatyve metode in vrednotenja z Vredano



Bistvena prednost DEXIja je v tem, da dovoljuje vnos pomanjkljivih vrednosti posameznih kriterijev, kar je pri Saatyju nemogoče. V takšnem primeru je rezultat prikazan relativno, torej od najmanjše do največje možne vrednosti. V prid DEXIju je tudi lažje vrednotenje večjega števila alternativ. Ko je odločitveni model zgrajen in so vsa pravila določena je vnos dodatnih alternativ preprost in hiter, saj je potrebno podati le vrednosti kriterijev na listih drevesa, vrednosti hierarhično višje ležečih kriterijev pa se izračunajo samodejno.

DEXi pa ima tudi določene pomanjkljivosti, med katerimi je ključna predvsem ta, da morajo biti kriteriji dobro strukturirani. Na vozliščih, kjer se določajo funkcije koristnosti namreč število pravil, ki jih je potrebno določiti s številom kriterijev in/ali zalogo vrednosti eksponentno naraščajo. Zaradi tega je potrebno bodisi vpeljati nove kriterije, bodisi zavestno skrčiti zalogo vrednosti, kar lahko vpliva na kakovost modela.

Prednost Saatyve metode je natančen izračun vrednosti alternativ, tako pri merskih lestvicah, kot tudi pri realnih številkah (npr. cena). Poleg razvrščanja alternativ pa zna AHP metoda kriterije razvrstiti tudi po pomembnosti, kar je v nekaterih primerih lahko koristno.

9. SKLEP

V magistrskem delu sem na praktičnem primeru prikazal možnost uporabe sistemov za podporo pri odločanju, ter med seboj primerjal programske orodja, ki sta metodološko gledano različni, kljub temu pa obe izjemno uporabni.

Problem, katerega sem se lotil je dandanes zelo aktualen ter kot tak primeren za dejansko uporabo prikazanih sistemov. Pri izboru metode gospodarjenja z odpadki so bile na volje štiri alternative in sicer: klasično deponiranje odpadkov, incineracija, ločeno zbiranje in mehansko-biološko obdelava. Kriteriji vse alternativ so bili ovrednoteni po univerzalni metodi LCI, ki je zagotovila nepristranskost vhodnih podatkov. Kljub razširjenosti te metode je bilo ugotovljeno, da se še vedno najde prostor za subjektivnost. Rezultat vrednotenja bi lahko bil v primeru, ko bi kriterije ocenjeval nekdo drug zato tudi drugačen.

Rezultat Saatyevе metode in programa DEXi (ter Vredane) je sicer enak, kar ne more biti naključje, vseeno pa so se po pričakovanjih pri vrednotenju pojavile nekatere razlike iz katerih lahko sklepamo na primernost uporabljenih metod pri različnih tipih odločevalskih problemov.

Saatyeva metoda je tako primernejša za probleme, kjer potrebujemo natančno vrednotenje, rangiranje alternativ in kriterijev, pri ocenjevanju uporabljamo številske podatke, število alternativ pa ni veliko.

Orodje DEXi se izkaže za primernejšega, kadar se odločamo med večjim številom alternativ, katerih kriteriji so dobro strukturirani. Dodatna prednost pri tem je da lahko vrednotimo tudi kriterije z nepopolnimi podatki. Ker boljši sistemi za podporo odločanju podpirajo izdelavo modelov s katerimi proučujemo, kako določena spremenljivka vpliva na končno stanje (Shelly et al., 1998, str. 125) lahko rečemo, da sta obe uporabljeni metodi dobri, saj to možnost dopuščata. Prav tako lahko trdimo, da sta obe metodi učinkoviti, saj omogočata transparentnost in nepristranost odločanja.

Kljub izjemni pomoči DSS sistemov se moramo še vedno zavedati dejstva, da so lahko tovrstni sistemi le pomoč pri odločanju o kompleksnih problemih, ne morejo pa nadomestiti odločevalca. DSS sistemi so se v zadnjih dveh desetletjih, ko sprva še niso veljali za učinkovite (Sharda et al., 1988, str. 142) izjemno razvili. Kljub temu je na koncu še vedno potrebno sprejeti in v praksi udejanjiti izbrano odločitev, ki je lahko po kriterijih DSS tudi nelogična. Včasih so tovrstne odločitve zgolj subjektivne, lahko pa tudi politične narave.

10. Literatura

1. Ashenurst L. Robert: The Decomposition of Switching Functions. V: Technical report, Bell Laboratories BL-1(11). ZDA: Bell Laboratories, 1952, str. 541 – 602.
2. Bidgoli Hossein: Modern Information Systems for Managers. Bakersfield: Academic press, 1997. 438 str.
3. Bilitewski Bernd, Hardtle Georg, Marek Klaus: Waste management. Berlin: Springer, 1996. 699 str.
4. Bohanec Marko: What is decision support? V: Škrjanc Maja (ur.), Mladenić Dunja (ur): Data Mining and Decision Support in Action!. Ljubljana: Inštitut Jožef Štefan, 2001, str. 86-89.
5. Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav: Večparametrski odločitveni modeli. Kranj: Organizacija, 28, 1995, str. 427-438.
6. Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav: Qualitative multi-attribute decision modeling: industrial applications of DEX. V: Bavec Cene (ur.), Gams Matjaž (ur.): Proceedings of the international multi-conference. Ljubljana: Institut Jožef Štefan, 1999, str. 70-73.
7. Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav: DEX: An expert system shell for decision support. Lima: Sistemica Vol. 1(1), 1990, str. 145-157.
8. Bohanec Marko, Urh Božo, Rajkovič Vladislav: Evaluating options by combined qualitative and quantitative methods. North Holland: Acta Psychologica 80, 1992, str. 67 – 89.
9. Bohanec Marko: Večparametrski odločitveni model za ugotavljanje sposobnosti organizacije za uvajanje virtualnih timov: magistrsko delo. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 2006. 75 str., 8 str. pril.

10. Carlsson Crister, Turban Efraim: Introduction – DSS: Directions for the next decade. Decision support systems and Electronic commerce. North-Holland: Acta Psychologica 33, 2002, str. 105 – 110.
11. Čibej J. Andrej: Sistemi za podporo poslovnemu odločanju. Ljubljana: Ekonomska fakulteta, 1998. 141 str.
12. Dhar Vasant, Stein Roger: Intelligent Decision Support Methods: The Science of Knowledge. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1997. 244 str.
13. Gasar Silvana, Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav: Napovedovanje uspešnosti zaključka šolanja. Kranj: Organizacija letnik 35, 2002, str. 508-512.
14. Gütl Christian, Andrews Keith, Maurer Herman: Future Information Harvesting and Processing on the Web. Barcelona: Proceedings of the conference European Telematics: advancing the information society, 1998. 7 str.
15. Jereb Eva, Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav : DEXi – Računalniški program za večparametrsko odločanje. Kranj: Moderna organizacija, 2003. 91 str.
16. Matas Mate, Simončič Viktor, Šobot Slavko: Zaštita okoliša danas za sutra. Zagreb: Školska knjiga, 1992. 235 str.
17. MAYER Janez et al.: Skrivnost ustvarjalnega tima. Ljubljana: Dedalus - Center za razvoj vodilnih osebnosti in skupin, 2001. 115 str.
18. Mrvar Andrej: Saatyev večkriterijski odločitveni postopek. Ljubljana: Diplomsko delo, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, 1992. 65 str.
19. Mrvar, Andrej: Comparison of different decision making approaches. V: Ferligoj Anuška (ur.), Kramberger Anton (ur.): Contributions to methodology and statistics: proceedings of the International Conference

- on Statistics and Methodology, Bled, Slovenia, September 13 - 15, 1993, (Metodološki zvezki, 10). Ljubljana: Fakulteta za družbene vede, 1995, str. 195-203.
20. Omladič Vesna: Matematika in odločanje. Ljubljana: Zbirka Sigma, DMFA, 2002. 175 str.
 21. Owens J. William: LCA Impact Assessment: Case Study Using a Consumer Product. International Journal of Life Cycle Assessment. 1, 1996, str. 209-217.
 22. Pivec Maja, Rajkovič Vladislav: Obvladovanje znanja z metodami umetne inteligence. Kranj: Organizacija, 32 (8/9), 1999, str. 449-453.
 23. Rajkovič Vladislav et al.: "Kako storiti več za kakovost zdravstva in šolstva?", V: Bohinc Rado (ur.), Černetič Metod (ur.): Modra knjiga, Civilna družba v Sloveniji in Evropi. Ljubljana: Društvo Občanski forum, Služba Vlade RS za evropske zadeve, 1999, str. 386-394.
 24. Saaty L. Thomas, Vargas Luis G.: Decision Making in Economic, Political, Social and Technological Environments with the Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publications, 1994. 330 str.
 25. Sharda Ramesh, Barr H. Steve, McDonnell C. James: Decision Support Systems Effectiveness: A Review and an Empirical Test. V: Morrison G. Donald (ur.): Management science, vol. 34, no. 2. Maryland: Informs, 1988, str. 139-159.
 26. Shelly B. Gary, Cashman J. Thomas, Rosenblatt J. Harry: Systems analysis and design. Third Edition. Cambridge: Course Technology, 1998. 656 str.
 27. Shim J. P. et al.: Past, present, and future of decision support technology. V: Decision support system: Directions for the next decade, vol. 33 Amsterdam: North-Holland, 2002, str. 111-126.

28. Sprague H. Ralph, Carlson Eric: Building Effective Decision Support Systems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1982. 304 str.
29. Šet Andrej, Bohanec Marko, Krisper Marjan: VREDANA: Program za vrednotenje in analizo variant v večparametrskem odločanju. V: Solina Franc (ur.), Zajc Baldomir (ur.): Zbornik četrte Elektrotehniške in računalniške konference ERK '95. Ljubljana: Slovenska sekcija IEEE, 1995, str. 157 – 160.
30. Turban Efraim, Aronson E. Jay: Decision Support systems and Intelligent systems. New York: John Willey & Sons, 1996. 890 str.
31. White Peter, Franke Michael, Hindle Peter: Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory. Velika Britanija: Springer, 1995. 362 str.
32. Zupan Blaž: Machine learning based on function decomposition. Doktorska dizertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, 1997. 102 str., 39 str. pril.

11. Viri

1. Center za ravnanje z odpadki v gorenjski regiji. Radovljica: Komunala Radovljica, d.o.o., 1996 – 1998.
2. Cost-Benefit Analysis of the different municipal solid waste. Italija: European Commission, 1997.
3. Konzorcij Cero, Phare, Ministrstvo za okolje in prostor: Poročilo o stanju okolja. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor, 1996, 210 str.
4. Informacije o ravnanju z odpadki v Sloveniji.
[URL: <http://www.stat.si/doc/statinf/2004/si-324.pdf>], 12.6.2007
5. Konačni izveštaj prerade određene količine starog otpada na deponiji «Košambra» radi smanjenja deponijskog volumena, rješavanja tretmana procjednih voda deponije i prilagođavanja deponije prihvatu otpadnih voda iz septičkih. Poreč: podjetje Resana d.o.o., 2003.
6. Okolje v Sloveniji. Ljubljana: Uprava RS za varstvo narave, 1998.
7. Forum proti sežigalnici.
[URL: <http://www.forumprotisezignalnici.net>], 20.8.2007
8. Gostinčar Petra, Janežič Kristina: Ljubljanska deponija in črna odlagališča na Ljubljanskem Barju. Gibanje za pravičnost.
[URL: <http://www.gibanje.org/?id=2768>], 24.9.2007
9. Poročila o stanju okolja v Sloveniji 2004.
[URL: http://www.arso.gov.si/poro~cila/Poro~cila_o_stanju_okolja_v_Sloveniji/odpadki.pdf], 2.8.2007
10. Poročilo o poskusni predelavi komunalnih in industrijskih odpadkov na deponiji v Dobu. Domžale: Občina Domžale, 1998.

11. Pravilnik o ravnanju z odpadki (Uradni list RS, št. 84/98).
12. Programsko orodje DEXi.
[URL: <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>], 10.5.2007
13. Programsko orodje Vredana.
[URL: <http://www- lopes1.fov.uni-mb.si/dex/vredana/Vredana.zip>], 12.3.2006
14. Rajkovič Vladislav: Ekspertni sistemi v izobraževanju.
[URL: <http://lopes1.fov.uni-mb.si/>], 12.3.2006
15. Rajkovič Vladislav, Bohanec Marko: Večparametrski odločitveni modeli
[URL: <http://www.ijs.si/markobohanec/org95/index.html>], 15.3.2006
16. Rajkovič Vladislav: Prosojnice s predavanj: Sistemi za podporo odločanju, 2003.
17. Strategija ravnanja z odpadki v ljubljanski regiji. Ljubljana: IBE, d.d., Svetovanje, projektiranje in inženiring, 1998.
18. Statistični letopis RS 2003.
[URL: http://www.stat.si/letopis/index_vsebina.asp?poglavje=33&leto=2003&jezik=si], 10.7.2007
19. Statistični letopis RS 2006.
[URL: http://www.stat.si/letopis/index_vsebina.asp?leto=2006&jezik=si], 10.7.2007
20. Statistični urad RS, Javni odvoz in odlagališča odpadkov, 2005
[URL: http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=438], 10.7.2007
21. Svet za varstvo okolja Republike Slovenije
[URL: <http://www.sigov.si/svo/026.htm>], 15.06.2006
22. Študija možnosti vključitve mehansko-biološke obdelave odpadkov v koncept gospodarjenja z odpadki. Maribor: Heinz Steffen, 1998.
23. Wastebase Slovenija.
[URL: http://nfp-si.eionet.eu.int/eionet/okoljske_tematike/wastebase], 10.7.2007

12. Kazalo tabel

Tabela 2.1:	Letne količine odpadkov v Sloveniji, za obdobje od 2001 do 2005 (v 000 tonah)	7
Tabela 3.1:	Vrednosti slučajnega indeksa I_R pri različnih dimenzijah matrike	13
Tabela 4.1:	Izračun stroškov po posameznih tehnologijah za 200.000 ton letnih odpadkov	20
Tabela 4.2:	Povprečni ekološki stroški evropskih držav za predvideno sestavo komunalnih odpadkov v prihodnosti, ter ob neločenem pobiranju	26
Tabela 6.1:	Vrsta odpadkov in njihov povprečni masni delež v Sloveniji	46
Tabela 6.2:	Stroški investicije in obratovalni stroški za posamezne tehnologije	47
Tabela 6.3:	Primerjalna matrika med pari kriterijev	50
Tabela 6.4:	Primerjalna matrika med pari podkriterijev za kriterij 6 (emisije)	51
Tabela 6.5.1:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Kumulativna količina ostanka za odlaganje«	52
Tabela 6.5.2:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Količina nevarnih odpadkov za odlaganje«	52
Tabela 6.5.3:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Potrebna površina za postavitev objektov«	53

Tabela 6.5.4:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Snovna izraba preostanka«	53
Tabela 6.5.5:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Energetska izraba preostanka«	54
Tabela 6.5.6:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije toplogrednih plinov (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)«	54
Tabela 6.5.7:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije v tla«	55
Tabela 6.5.8:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije v vodo (izcedne vode)«	55
Tabela 6.5.9:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Emisije življenjsko nevarnih plinov (dioksini)«	56
Tabela 6.5.10:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Vse emisije«	56
Tabela 6.5.11:	Primerjalna matrika med alternativami glede na kriterij »Cena obrata«	57
Tabela 6.5.12:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Predelava že odloženih odpadkov«	57
Tabela 6.5.13:	Primerjalna matrika med pari alternativ glede na kriterij »Sociološki vpliv na prebivalce«	58
Tabela 7.1:	Prikaz zalog vrednosti za končni model	63

13. Kazalo slik

Slika 2.1:	Letne količine odpadkov v Sloveniji, za obdobje od 2001 do 2005 s prikazanim trendom	7
Slika 3.1:	Vloga podpore odločanju pri odločanju	9
Slika 3.2:	Shematični prikaz povezave lupine DEX in baze znanja	15
Slika 3.3:	Večparametrski odločitveni model	16
Slika 5.1:	Tipična sestava deponije – prečni prerez	29
Slika 5.2:	Tipična sestava deponije – globalni pregled	30
Slika 5.3:	Tipična sestava sežigalnice	33
Slika 6.1:	Faze oblikovanja sistema za podporo odločanju	41
Slika 6.2:	Hierarhija integralnega pristopa k upravljanju z odpadki (metoda LCI)	43
Slika 6.3:	Razmerja med različnimi tipi LCI	44
Slika 6.4:	Dekompozicija problema v hierarhijo	45
Slika 6.5:	Prikaz rešitve po Saatyevi metodi	59
Slika 7.1:	Prikaz odločitvenega drevesa	62
Slika 7.2:	Odločitveni model	64
Slika 7.3:	Prikaz odločitvenega drevesa z novimi atributi	65

Slika 7.4:	Prikaz odločitvenega modela v programu DEXi	65
Slika 7.5:	Vrednosti atributov za vse alternative	66
Slika 7.6:	Prikaz rezultata vrednotenja alternativ	68
Slika 7.7:	Grafični prikaz končnega rezultata	69
Slika 7.8:	Grafični prikaz analize v programu Vredana	70
Slika 7.9:	Prikaz » <i>kaj-če</i> « analize za alternativo Incineracija	71
Slika 8.1:	Prikaz rezultatov Saatyve metode in vrednotenja z Vredano	73