



ПРОЦЕНА ДУГОРОЧНИХ РИЗИКА И УПРАВЉАЊЕ ДЕПОНИЈАМА НАКОН ЗАТВАРАЊА

EVALUATING LONG-TERM RISKS AND LANDFILL MANAGEMENT AFTER CLOSING

Милица Антић, Немања Станисављевић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Кратак садржај – Депоније су елементи система управљања отпадом који су специфично временски ограничени. Након њиховог ефективног рада и затварања депоније, постоји период накнадне неге, чије је трајање веома тешко дефинисати унапред, па самим тим и трошкове које тај период подразумева. Циљ је одредити када и под којим условима може престати накнадна нега, односно колико ће трајати и колике финансијске резерве подразумева.

Кључне речи: Накнадна нега, дуготрајно управљање, депонија, отпад, емисије

Abstract – Landfills are elements of a waste management system, which have a time constraint character. After their effective operation and closure of the landfill, there is a post-care period, the duration of which is very difficult to define in advance, and therefore the costs that this period implies. The goal is to determine when and under what conditions the subsequent care period can be completed and how much financial reserve it entails.

Keywords: Aftercare, long-term management, landfill, waste, emissions

1. УВОД

Са порастом светских стандарда и становништва дошло је до веће производње и потрошње, па као резултат постоји природни пораст количине отпада. Као нуспродуктом потрошње, отпадом мора бити адекватно управљано. Иако се депоновање наводи као крајње решење, тек ако није могуће применити неки атрактивнији третман, овај начин је најзаступљенији метод управљања отпадом у Европи [1].

Посао управљања затвореним депонијама у суштини је наставак активности обављаних и током рада. Главна разлика је у томе што је прихватање отпада заустављено и депонија више не ствара приходе за финансирање управљања. Сходно томе, мора се одредити начин финансирања накнадне бриге, која се пре свега заснива на заштити животне средине.

У овом раду представљена је методологија за извођење критеријума за завршетак праћења након завршетка рада, а његова примена је илустрована путем случаја регионалне депоније у Новом Саду.

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био проф. др Немања Станисављевић.

Иако евалуација долази са великом неизвесношћу, омогућује повезивање циљних вредности и трајање у односу на еколошки прихватљиво стање депоније у одсуству накнадне неге.

2. ПРЕГЛЕД ЗАКОНСКЕ РЕГУЛАТИВЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Начин организације, односно рад и функционисање система за управљање отпадом зависи са једне стране од друштвених и социјалних утицаја, а са друге стране од правно-политичког и економског статуса.

У Републици Србији, закони који уређују област управљања отпадом су:

- Закон о управљању отпадом ("Сл.гласник РС", бр. 36/2009, 88/2010 и 14/2016);
- Закон о управљању отпадом („Сл.гласник РС“, бр. 36/2009 и 88/2010)
- Закон о амбалажи и амбалажном отпаду;
- Закон о потврђивању Базелске конвенције о контроли прекограничног кретања опасних отпада и њиховом одлагању („Сл.лист СРЈ- Међународни уговори“ бр.2/99).

Поред закона, постоји низ подзаконских аката, правилника и уредби, којима се детаљније дефинишу различите области система управљања отпадом.

3. СИСТЕМ УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ

Управљање отпадом је битан део било којег функционалног друштва, систем дизајниран за одбацивање непотребних материјала појединаца, компанија и индустрије. Депонија је термин који се користи за описивање објекта чија је намена одлагање отпада. Данас, управљање депонијом захтева пројектовање, испитивање, праћење стања, контролу утицаја на животну средину, управљање депонијским гасом и процедурним водама, контролисање након затварања и још много тога.

4. ЕМИСИЈЕ СА ДЕПОНИЈА КОМУНАЛНОГ ЧВРСТОГ ОТПАДА

Депоније комуналног чврстог отпада потенцијални су дугорочни извори емисија које могу угрозити животну средину и здравље људи, ако се њима не управља адекватно након затварања. Оне могу имати широк спектар утицаја на животну средину од загађења подземних вода до мириса и буке.

Главни разлог за забринutost је могућност контаминације подземних вода путем процедурних вода са депоније, као и загађење ваздуха депонијским гасом.

4.1 Депонијски гас

Депонијски гас је запаљива и потенцијално опасна смеша која се састоји углавном од метана (CH₄) и угљен диоксида (CO₂) са примесима лако испарљивих органских супстанци (VOC). Метан представља важан гас са ефектом стаклене баште, процењује се да емисије метана са депонија чине 3-19% од укупних светских антропогених извора метана [2].

Депонијски гас настаје услед разградње органске материје од стране бактерија природно присутних у отпаду и земљишту које се користи за покривање отпада. Бактерије разграђују органски отпад у четири фазе приликом чега се састав гаса, који настаје као резултат разградње отпада, мења у току сваке фазе.

4.2 Процедне воде

Процедна вода представља сложена, хетерогена смеша променљивог састава, која се састоји од различитих једињења. Загађујуће материје садржане у процедурној води могу се поделити у 4 групе [3]:

- Растворене органске материје– изражава се као хемијска потрошња кисеоника (НПК), биолошка потрошња кисеоника (ВПК), или укупан органски угљеник (ТОС);
- Неоргански макроелементи: калцијум (Ca²⁺), магнезијум (Mg²⁺), натријум (Na⁺), калијум (K⁺), амонијак (NH₄), гвожђе (Fe²⁺), манган (Mn²⁺), хлориди (Cl⁻), сулфати (SO₄²⁻) и хидрогенкарбонати (HCO₃⁻);
- Тешки метали: кадмијум (Cd²⁺), хром (Cr³⁺), бакар (Cu²⁺), олово (Pb²⁺), никл (Ni²⁺), цинк (Zn²⁺);
- Ксенобиотичка органска једињења (ХОСs)– разни ароматични угљоводоници, феноли, пестициди итд.

5. НАКНАДНА НЕГА

Депоније су кључни елементи управљања отпадом, њима је потребно управљати након затварања како би се осигурала дугорочна заштита људи и животне средине. Овај период обухвата праћење емисија депоније, система за пријем, одржавање и контролу објекта на депонији, као и надгледање

5.1 Период након попуњавања

Када депонија дође до краја корисног века, власник мора предузети одговарајуће мере како би се осигурало да ће депонија остати сигурно и стабилно место. Дужина периода накнадне неге је углавном производно постављена на 30 година, а у Реп. Србији је потврђена и Законом о управљању отпадом. Како би се осигурало да депонија на било који начин не загађује окружење, овај период мора имати одговарајућу дужину, која треба да се односи на стварни период времена у којем депонија може имати такве утицаје на околину.

5.2 Дугорочно управљање депонијама

Завршетак праћења не може увек значити исто због различитих концепата дугорочног управљања. На слици 5.1 приказане су фазе основног принципа управљања.



Слика 5.1 Различите фазе управљања депонијама комуналног чврстог отпада [4]:

Дискутовано је неколико алтернатива за дугорочно управљање депонијама [4]:

1. Прекид накнадне бриге након одређеног временског периода- овај принцип описује ситуацију у којој је управљање депонијом од стране власника депоније прекинуто након одређеног временског периода. Овај период би могао бити 30 година или било који други период који је унапред одређен од стране надлежних органа.
2. Трајна брига- у овом случају власник је дужан да заувек прати и одржава депонију. Иако овај систем уклања неизвесност о трајању накнадне неге за власнике и надлежне органе, и пружа максималну заштиту околине и људи, углавном није исплативо.
3. Потпуна стабилизација отпада- депонијом се руководи све док отпад није потпуно стабилан у погледу хемијских, биолошких и физичких карактеристика.
4. Праћење специфичних хемијских параметара- подразумева управљање депонијом све док се не постигну одговарајуће вредности специфичних критеријума (однос БПК/ХПК, амонијак, смањење стопе производње гаса итд.).
5. Приступ заснован на перформансама- фокус ове алтернативе је на пружању конкретних смерница о управљању депонијом након затварања. Жељено стање на крају накнадне неге није дефинисано, већ се указује на интензитет смањења емисија како је то гарантовано од стране власника, а примењено на подацима специфичним за локацију.

5.3 Критеријуми за завршетак периода накнадне неге

Што се тиче понашања емисије након фазе накнадне бриге, власти углавном не дају детаљне информације. Немачка директива о депонијама, основ за дефинисање периода после накнадне бриге формулише на следећи начин [5]:

1. Биолошки процеси разградње у телу депоније су безначајни;
2. Производња гаса у одређеној мери смањена, нежељени ефекти могу се сматрати безутицајним;
3. Поравнање тела депоније у одређеној мери смањено;
4. Систем површинске облоге и слој рекултивације су функционални и стабилни тако да сада и у будућности депонија нема утицаја;
5. Вода која потиче од падавина се транспортује преко површине на контролисан начин;
6. Депонија је стабилна итд.

5.4 Временски оквир

Један од најважнијих аспеката за израчунавање финансијске одредбе је трајање накнадне неге. Као што је већ наведено прописи у различитим земљама прецизирају да се финансијске одредбе за накнадну заштиту врше најмање 30 година након престанка пословања [6]. Истовремено, ови прописи често прописују да оператер депоније буде одговоран за накнадну заштиту све док надлежни орган сматра да депонија представља опасност по околину.

5.4.1 Одређивање финансијских одредби

Главна разлика између управљања депонијама током операције и накнадне бриге је да се трошкови првих могу покрити од годишњег прихода док би финансијска одредба за укупан период накнадне бриге морала бити доступна када се одлагање отпада заустави. У опсегу између 30 и 240 година тајања накнадне бриге, потребна финансијска средства могу бити између 3 и 20 € по тони отпада [6].

Табела 5.2 *Израчуната средства потребна за накнадну негу за неколико немачких депонија која се односе на запремину депоније [5]:*

Депонија	Површина [ha]	Запремина [miliona m ³]	Просечна висина депонованог отпада [m]	Цена накнадне неге [€/m ³]
А	20	3,5	17,5	7,5
Б	6,5	0,8	12,3	7,5
В	10,5	1,0	9,5	9,0
Г	19,7	4,0	20,3	7,5
Д	4,0	0,3	8,0	24,0
Ђ	30,9	7,1	23	9,8
Е	10	1,5	15	10
Ж	3,2	0,22	7	18
З	30	8,0	27	11
И	30	7,0	23	25*
Просек	16,5	3,4	16,3	13

*претпоставка за накнадни период >>30 година

5.5 Регионална депонија у Новом Саду

Регионална депонија у Новом Саду налази се 6 км северно од самог града, и на удаљености од око 700m од првих стамбених објеката у насељу. Јужна граница депоније налази се на 170m од аутопута, а западна на 430m од регионалног пута [1]. Укупна површина депоније износи 56ha, од чега је 22ha површина прекривена отпадом. Дубина депонованог отпада се креће између 2,5 и 15m.

Депонија је у функцији скоро 30 година, а за то време је на њој депоновано приближно 2.000.000m³ комуналног и грађевинског отпада. У данашње време депонија прима око 360 t отпада на дневној бази. Клима на локацији је умерена са просечним годишњим падавинама од 896mm.

Модел емисије

Модели су успостављени за амонијак (изражен као NH₄-N), хлорид (Cl⁻) и хемијску потрошњу кисеоника (ХПК), јер се очекује да ће ови параметри дуготрајно бити значајни загађивачи.

Употребом информација о висини депоније, густини отпада и стопи инфилтрације, односу L/S из лабораторијског теста, концентрацијама загађивача који улазе у тло, може се израчунати временски рок.

Табела 5.4 *Основна формулација модела за процену средње концентрације испуста специфичне супстанце као функције времена након затварања депоније (c(t) и mg/l) [4]:*

$$c(t) = c_{0,leach} \cdot e^{-\left(\frac{c_{0,leach}}{m_{0,leach}} \cdot \frac{L}{S} \cdot h\right) \cdot t} + c_{0,org} \cdot e^{-\left(\frac{c_{0,org}}{m_{0,org}} \cdot \frac{L}{S} \cdot h\right) \cdot t}$$

$h = 4$
 $\frac{L}{S} = 0,0196 \text{ l/kg}$

Cl ⁻	NH ₄	ХПК
$m_{0,leach} = 1650 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,leach} = 50 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,leach} = 300 \frac{mg}{kg}$
$c_{0,leach} = 1200 \frac{mg}{l}$	$c_{0,leach} = 300 \frac{mg}{l}$	$c_{0,leach} = 600 \frac{mg}{l}$
	$m_{0,org} = 1700 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,org} = 1800 \frac{mg}{kg}$
	$m_{0,org}(8god) = 170 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,org}(8god) = 180 \frac{mg}{kg}$
	$m_{0,org}(30god) = 850 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,org}(30god) = 900 \frac{mg}{kg}$
	$m_{0,org}(70god) = 680 \frac{mg}{kg}$	$m_{0,org}(70god) = 720 \frac{mg}{kg}$
	$c_{0,org} = 430 \frac{mg}{l}$	$c_{0,org} = 550 \frac{mg}{l}$

Где су:

- $c_{0,leach}$ - концентрација супстанце која се може испустити након интензивне разградње (mg/l);
- $m_{0,leach}$ - фракција која се може испустити (mg/kg суве материје) (вредности се узимају из литературе);
- $\frac{L}{S}$ - однос течности и талога, тј. количина течности која перколира кроз одређену масу депонованог отпада годишње (l/kg суве материје годишње);
- h - фактор хетерогености (укупна запремина тела депоније која се дели са запремином која учествује у протоку воде и доприноси емисијама. Типичне вредности су 1-6);
- t - време након фазе интензивне разградње (год.);
- $c_{0,org}$ - концентрација супстанце која је доступна за испуштање путем споре органске деградације након интензивне разградње (mg/l);
- $m_{0,org}$ - фракција која је и даље доступна процесима органске деградације (mg/kg суве материје) (вредности се узимају из литературе);

Претпостављене концентрације при затварању депоније заједно са проценама модела емисија, приказани су на графику 5.1

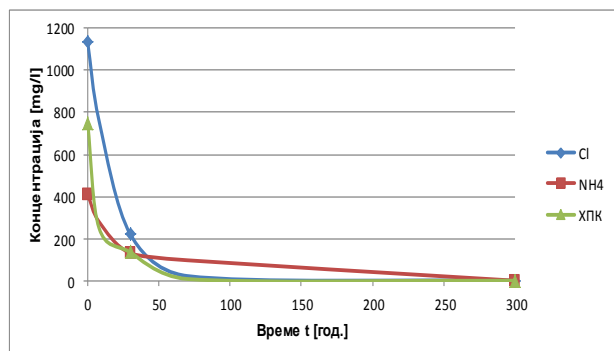


График 5.1 *Приказ емисионих модела за NH₄-N, Cl и ХПК (до 300 година након затварања)*

Дискусија о случају

Период моделовања постављен је произвољно на 300 година. На графику 5.1 може се уочити да се највећи падови концентрација могу очекивати у првих 30 година, након затварања депоније. Међутим, иако се нашим законодавством прописује 30 година као време неопходне накнадне заштите, параметари на којима је модел примењен, у том периоду неће опати до задовољавајућих концентрација.

Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање, дефинише граничну вредност хемијске потрошње кисеоника од 30 mg/l за класу III, док Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, одређује максималну дозвољену концентрацију од 200 mg/l за већ поменути параметар. Будући да је ово велико мимоилажење у концентрацијама, на основу графика 5.1. може се закључити да ће до задовољавања ових критеријума доћи у распону од 15 до 60 година након затварања.

Приликом посматрања концентрације хлорида, на графику се може уочити да ће гранична вредност од 150 mg/l, бити достигнута оквирно након 40 година.

NH₄-N је већ дефинисан као најкритичнији параметар.

Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање дефинише граничну концентрацију за укупни неоргански азот (NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N) од 70 mg/l. То се односи на граничне вредности емисије отпадних вода од одлагања отпада на површини. Док иста уредба за већину других извора, наводи вредност до 10 mg/l, за NH₄-N појединачно. Та вредност може се очекивати након 250 до 300 година. Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање, дефинише граничну вредност од 0,6 mg/l за површинске воде класе III. Овај модел приказује да ће вредност NH₄-N, након 300 година износити око 1,1 mg/l, што и даље неће задовољавати услове ове уредбе. У том периоду били би испуњени критеријуми површинских вода класе IV, чији лимит износи 1,5 mg/l.

На основу података из литературе [4], односно анализе случаја депоније комуналног чврстог отпада, и података о депонији у Новом Саду, може се претпоставити да ће трајање потребне накнадне бриге износити 80 до чак 450 година. Широк опсег процењеног временског периода последица је недовољних података, као и постојања могућности непредвиђених промена. Такође, уколико се претпостави просечна цена накнадне бриге од 13 [€/m³] као што је наведено у табели 5.2, за депонију у Новом Саду, на којој је тренутно депоновано око 2.000.000 m³, било би потребно издвојити око 26.000.000 €.

6. ЗАКЉУЧАК

Генерално, депонијама треба управљати након затварања како би се осигурала дуготрајна заштита људи и животне средине. Овај период "накнадне бриге" или "бриге после затварања" обично обухвата праћење и

контролу емисија депонија, одржавање и контролу депонија, као и надзор над објектима.

Пошто су расположиви подаци за карактеризацију система ограничени, разумевање система је непотпуно, а будући услови нису познати, постоји значајна неизвесност у процени. За депоније комуналног чврстог отпада, процена је показала да се треба очекивати отприлике 100 година, док емисије не постану еколошки прихватљиве, ако су депоније опремљене непропусним горњим поклопцем након затварања. Ако постоји несметана инфилтрација воде након затварања депоније, периоди управљања могу се скратити. Међутим, релативно велика депонија ће се одржавати најмање 80 година.

Доследна и транспарентна процена је предуслов за процену укупних трошкова одлагања на депоније, укључујући обавезе дуготрајне неге. Међутим, због дугих временских оквира, подразумева се неизвесност у процени ризика везаних за депоновање.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вујић Г, Убавин Д, Станисављевић Н, Батинић Б. 2012. Управљање отпадом у земљама у развоју: ФТН Издаваштво, Нови Сад.
- [2] Маодуш Н, Вујић Г, Убавин Д, Зораја Бојана. 2013. Сакупљање депонијског гаса на депонији у Новом Саду-студија случаја. In Proc. Међународна научна конференција Етикум 2013. Нови сад, 12-13 јун.
- [3] Kjeldsen P, Barlaz M.A, Rooker A.P, Baun A, Ledlin A, Christensen T.H. 2002. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32:4, 297-336.
- [4] Laner D. 2011. Understanding and evaluating long-term environmental risks from landfills. Ph. D. diss. Faculty of Civil Engineering, Vienna University of Technology, Vienna.
- [5] Heyer K.U, Hupe K, Stegmann R. 2005. Landfill Aftercare – Scope for Actions, Duration, Costs and Quantitative Criteria for the Completion. In Proct. International Waste Management and Landfill Symposium. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 3 - 7 Oktobar.
- [6] Scharff H, Crest M. 2013. Key Issue Paper on Landfill Aftercare. ISWA (International Solid Waste Association)

Кратка биографија:

Милица Антић, рођена у Врању 1993 год. Дипломски рад на Факултету техничких наука из области Инжењерство заштите животне средине, одбранила је 2016. године. Контакт: miloica993@gmail.com

Немања Станисављевић, ванредни професор на Факултету техничких наука, докторирао је 2013. на Факултету техничких наука у Новом Саду. Постдокторско усавршавање је релизовао као Фулбрајтов стипендиста у САД-у, на Државном Универзитету Северне Каролине, Департману за машинство, грађевину и инжењерство заштите животне средине. Од 2015. године изводи наставу као гостујући професор на Техничком Универзитету у Бечу, Аустрији