МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ УНИВЕРЗИТЕТ
„ГАВРИЛО РОМАНОВИЧ ДЕРЖАВИН“
СВЕТИ НИКОЛЕ, РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА



ФАКУЛТЕТ ЗА БЕЗБЕДНОСНО ИНЖЕНЕРСТВО
Безбедност при работа

ПРОЕКТИРАЊЕ И УПРАВУВАЊЕ СО СИСТЕМИ ЗА ТРЕТМАН НА ОТПАД

- МАГИСТЕРСКИ ТРУД -

Ментор:

Проф. д-р Слободан Бундалевски

Кандидат:

Мартин Дурписки

Број на индекс: 175028

Свети Николе, 2020 година

„Нема крај на учењето. Нема читање книга, положување испит, и сè е завршено. Целиот живот, од моментот на раѓање па сè до смртта, претставува процес на учење“.
Џиду Кришнамурти

АПСТРАКТ

Загадувањето на животната средина претставува голем проблем што директно се поврзува со брзата индустријализација, урбанизација, но и со растот на животниот стандард на луѓето. Со зголемувањето на количествата комунален отпад, и притисокот што тој го има врз животната средина, се наметнува потребата за воведување напреден систем за ефикасно управување со комуналниот отпад.

Собирањето, транспортот, третманот и отстранувањето на комуналниот отпад, а особено кога тој е создаден во поголемите населени места, станува релативно тежок проблем за решавање.

Важен придонес кон намалувањето на тешкотиите поврзани со управувањето со отпадот претставува обезбедувањето на сигурни и корисни информации за стручните лица кои се справуваат со оваа проблематика, што е особено важно за земјите во развој/транзиција.

Сознанијата и показателите во последниве децении укажуваат на фактот што постои нарушување на рамнотежата на атмосферата на планетата Земја.

Се одвиваат појави што тешко се контролираат, се испуштаат големи количини загадувачки супстанции, појава на ефект на стаклена градина, оштетување на озонската обвивка, се зголемуваат емисиите на загадувачките супстанци што даваат ефект на закиселување и ја разрушуваат биосферата, делуваат на почвата и др. Ова се ефектите од пребрзиот технолошки развој, развојот на индустријата и останатите активности диктирани од современиот живот на човекот.

Сѐ почеста е појавата на природни катастрофи, земјотреси, вулкански ерупции, како и катастрофи што се предизвикани од човечкиот фактор, како истекување и горење на големи количини нафта, индустриски несреќи со емисии на отровни супстанции во воздухот, шумски пожари и др.

Ова се рефлектира и на процесите што се одвиваат во атмосферата, односно во тропосферата и стратосферата.

За надминување на оваа ситуација, потребно е да се обрне внимание на употребата на технологии за искористување на материјалот и енергијата од комуналниот отпад, како

што се: анаеробна дигестија, гасификација, пиролиза и согорување. Овие технологии овозможуваат намалување на волуменот на отпадот, како и обновување на материјали и енергија. Во овој труд е пресметан енергетскиот потенцијал на отпадот за три технологии и направена е компаративна анализа за можните локации во Македонија и во светот.

Земајќи ги предвид сите овие показатели, односно промени на глобално ниво, меѓународната заедница се ангажира во преземање мерки за подобрување на состојбата, особено на квалитетот на воздухот. Затоа, Обединетите Нации се иницијатори на спроведувањето на барањата на Конвенцијата за прекугранично пренос на аерозагадувањето и протоколите кон неа, Рамковната конвенција за климатски промени и протоколот од Кјото. Воедно, и самите земји донесуваат низа законски акти со коишто треба да се постигне имплементирање на акции за подобрување на квалитетот на воздухот.

Клучни зборови: комунален отпад, животна средина, загадување, индустрија, технологија, согорување, гасификација

"There is no end to education. It is not that you read a book, pass an examination, and finish with education. The whole life, from the moment you are born to the moment you die, is a process of learning."

Jiddu Krishnamurti

ABSTRACT

Environmental pollution represents a major problem that is directly linked to rapid industrialization, urbanization, and the rise in people's living standards. As the amount of municipal waste increases and the environmental pressure it exerts, there is a need to introduce an advanced system for efficient waste management.

Collection, transportation, treatment and disposal of municipal waste, especially when it is generated in larger settlements, becomes a relatively difficult problem to address.

An important contribution to reducing the difficulties associated with waste management is the provision of reliable and useful information to professionals dealing with this issue, especially important for developing countries.

Findings and indicators in recent decades point to the fact that there is a disturbance in the balance of the planet's atmosphere.

Things that are difficult to control are taking place, releasing large quantities of pollutants, greenhouse effect, ozone layer damage, increasing emissions of pollutants that give effect to acidification and destroy the biosphere, affect the soil and much more. These are the effects of rapid technological development, industry development and other activities dictated by modern human life.

The occurrence of natural disasters, earthquakes, volcanic eruptions and man-made disasters, such as the leakage and burning of large quantities of oil, industrial accidents with emissions of poisonous substances into the air, forest fires and more, are more and more common.

This is also reflected in the processes taking place in the atmosphere, ie in the troposphere and stratosphere.

To overcome this situation, it is necessary to pay attention to the use of technologies for the utilization of material and energy from municipal waste, such as anaerobic digestion, gasification, pyrolysis and combustion. These technologies allow waste volume reduction as well as materials and energy recovery. In this paper the energy potential of waste is calculated for

three technologies and a comparative analysis is made of possible locations in Macedonia and worldwide.

Taking into account all these indicators, ie changes on a global level, the international community is committed to taking measures to improve the situation, in particular air quality. Therefore, the United Nations is the initiator of the implementation of the requirements of the Convention on Transboundary Transmission and the initiators of the implementation of the requirements of the Convention on Transboundary Transmission of Air Pollution and its Protocols, the Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. At the same time, the countries themselves have adopted a number of laws that need to be implemented to implement actions to improve air quality.

Keywords: municipal waste, environment, pollution, industry, technology, incineration, gasification

Содржина

ВОВЕД 1

1. ДИЗАЈН И КОНСТРУКЦИЈА НА ДЕПОНИИТЕ И НИВНАТА ОПЕРАТИВНОСТ..... 5

1.1. Типови на депонии..... 5

2.ПОСТАВЕНОСТ НА ДЕПОНИЈАТА..... 8

2.1. Типични конфигурации на депониите..... 10

3. КЛУЧНИ АСПЕКТИ НА ДИЗАЈНОТ И КОНСТРУКЦИЈАТА..... 12

3.1. Подготовка на подлогата..... 12

3.2. Дизајн на подлогата..... 14

3.3.Управување со исцедокот..... 17

3.4. Управување со депонискиот гас..... 22

3.5. Дизајн на дневна, привремена и конечна покривка..... 24

3.6. Управување со поројните води..... 27

3.7. Дизајн на биореакторска депонија..... 28

4. ОПЕРАТИВНОСТ НА ДЕПОНИЈАТА..... 28

4.1. Прифаќање на отпадот во депонијата..... 29

4.2. Полнење на ќелиите и набивање на отпадот..... 30

4.3 Операции кај биореакторска депонија…… 34

5. ОПЕРАТИВЕН МОНИТОРИНГ..... 34

5.1. Детекција на протекувањето и мониторинг на исцедокот..... 34

5.2. Мониторинг на подземните води..... 36

5.3. Мониторинг на подземните гасови..... 36

5.4. Мониторинг на стабилноста на завршната покривка..... 37

6. АКТИВНОСТИ ПО ЗАТВОРАЊЕ НА ДЕПОНИЈАТА..... 37

6.1. Општи аспекти за комуналниот цврст отпад..... 39

6.2. Технологии за конверзија на енергијата..... 41

6.3. Термохемиски процеси..... 43

6.3.1 Согорување..... 45

6.3.2 Гасификација..... 46

6.3.3 Пиролиза..... 48

6.4. Биохемиски процеси..... 49

6.4.1. Анаеробна дигестија..... 49

6.4.2. Видови биодигестори..... 52

6.5. Биохемиски процеси..... 52

7. ПРЕТОВАРНИ СТАНИЦИ КАКО ДЕЛ ОД СИСТЕМОТ ЗА СОБИРАЊЕ НА ОТПАД54

7.1. Претоварни станици во регионален систем на управување со отпадот..... 54

7.2. Видови отпад што се собира во претоварна станица..... 55

7.3. Прием – пред преработка..... 57

7.4. Отстранување на грубиот материјал..... 58

7.5. Дробење..... 58

7.6. Зелена точка (собирно место)..... 58

8. ИСТРАЖУВАЧКИ ДЕЛ..... 60

8.1. Предмет и цел на истражувањето..... 61

8.2. Методи користени во истражувањето..... 62

8.3. Генерална хипотеза..... 62

8.4. Оправданост на истражувањето..... 63

9.ПОСТРОЈКИ ЗА ДОБИВАЊЕ ЕНЕРГИЈА ОД ОТПАД..... 63

9.1.Согорување на цврст комунален отпад..... 63

9.2. Анаеробна дигестија за производство на биогас..... 69

9.3. Зафаќање на депониски гас..... 76

9.4. Алтернативни технологии: пиролиза и гасификација..... 80

10. ПРЕСМЕТКА НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА И ЕНЕРГЕТСКИОТ ПОТЕНЦИЈАЛ НА ОТПАДОТ..... 84

10.1.Согорување на цврст комунален отпад..... 84

10.2. Анаеробна дигестија..... 85

10.3. Зафаќање на депониски гас..... 86

11.РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА..... 87

ЗАКЛУЧОК..... 99

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА..... 101

Слики, дијаграми и табели..... 108

ВОВЕД

Отпадот е еден од доминантните нуспроизводи од човековите активности и денес тој тренд продолжува во голема мера. Старите начини, како што е, на пример, управување со отпадот со отстранување во депониите, не се повеќе еколошки прифатливи, ниту економски, ниту пак социјално. Исто така, проектираното ниво на раст на населението, производството и потрошувачката во овој век ќе доведат до зголемување на обемот и сложеноста на отпадните материјали.

Доколку глобалните проблеми како што се климатските промени и отпадот остануваат нерешени, сите компании што се занимаваат со отпадот ќе мора да продолжат со постепен развој во обид да се намали отпадот и неговото влијание врз животната средина. Постои голема потреба за управување со отпадот, особено одржливо управување со комуналниот отпад, преку што треба да се елиминира отпадот, со поттикнување на систематски пристап со којшто прво ќе се избегне создавањето отпад.

Отпадот е последица на човековото живеење. Правилното постапување со отпадот претставува императив зошто директно влијае на квалитетот на живеењето.

Постапувањето со отпадот веќе одамна не е еколошка, туку економска категорија. Едноставно, отпадот повеќе не е отпад. Тој претставува збир на повеќе или помалку искористливи материи од коишто можеме да извлечеме директна и индиректна корист. Доколку правилно се применуваат *4P* принципите во постапувањето со отпадот, ќе се наметне принципиелното прашање на постапување со искористливите материјали и нивната економска оправданост.

Треба да се има предвид дека отпадот е потенцијален ресурс што сè повеќе се пренасочува од регулирани депонии во еколошки, и во индустријата за рециклирање и користење на технологија за производство на корисни материјали, компост или гориво.

Со цел да се постигне одржливото управување со комуналниот отпад во нашата држава, потребно е да се обрне внимание на управувањето со отпадот и поконкретно на неговото влијание врз климатските промени.

Општи податоци

Отпадот се создава при човековите активности и претставува неизбежен нуспродукт од економските активности (отпад што се создава од неефикасните производствени процеси, од краткотрајноста на стоките и неодржливото консумирање на истите). Создавањето на отпадот укажува на губење на материја и енергија и наметнува трошоци на општеството и државата за собирање, третман и депонирање на отпадот.

Отпадот претставува еден од главните еколошки проблеми како во секоја европска земја, така и во Република Северна Македонија, земајќи го предвид фактот дека количините на отпад постојано се зголемуваат.

Најголем дел од отпадот во Република Северна Македонија се депонира на легалните и илегалните – т.н. диви депонии. Рециклирањето на отпадот е многу малку застапено.

Мониторингот или континуираното следење на управувањето со отпадот е основен предуслов за формирање релевантна база на податоци за состојбата со отпадот. Законот за управување со отпадот предвидува воспоставување државна мрежа за мониторинг на отпадот, чиишто цели се обезбедување податоци за управувањето со отпадот и влијанијата на отпадот врз животната средина, откривање на негативните процеси и практики, предвидување на развој, оцена на ефикасноста на преземените мерки за заштита, како и информирање на надлежните органи, креаторите на политика и јавноста за секоја промена на состојбата во однос на отпадот.

Комуналниот отпад има мошне хетероген состав и е последица на човековата активност. Се депонира на одредени депонии, но и на т.н. диви депонии во руралните средини и насекаде низ Републиката. Во депониите, покрај комунален отпад се депонира и градежен, индустриски, болнички и друг вид опасен отпад. При изборот на локациите за депониите не е водено сметка за одложувањето на разни видови опасни отпади. Не е водено сметка ни за релјефните, хидрографските, геолошките и почвените услови што треба да бидат исполнети, со цел штетното влијание врз животната средина да биде минимално. Под депонии во нашава земја има 200 ha, при што се намалува продуктивниот земјишен фонд, но уште поголема е штетата од контаминацијата на почвите. Во Република

Северна Македонија постојат 55 оперативни општински депонии, што според степенот на ризик во однос на животната средина се класифицирани како депонии со низок, среден и висок ризик.

Единствено депонијата „Дрисла“ што го опслужува подрачјето на градот Скопје, е добро управувана депонија, но и тука сè уште не е реализирано инсталирањето на непропустлива подлога со цел да се спречи евентуалната контаминација на подземните води. Подрачјето што ја опкружува депонијата се состои од пропустливи наноси на песок и чакал. Меѓутоа, не се преземени никакви посебни градежни мерки за спречување на можното продирање на исцедокот во почвените и потпочвените и подлабоките аквисфери. Индустрискиот неопасен отпад во С. Македонија се депонира на општинските депонии (4927 тони/годишно), додека индустрискиот опасен отпад се проценува на 487 тони/годишно.

Во *Municipal Solid Waste Landfills Construction and Management-A FewConcerns (PV Sivapullaiah, BP Naveen, TG Sitharam, 2016)* е претставена депонија во градот Бангалор во Индија, како дел од системот на менаџмент со цврстиот општински отпад. Конципирана е со три ќелии на вкупна површина од 40,49 хектари, при што првата ќелија е расположена на 5 ари и е покриена со *HDPE* мембрана.

Критериумите за дизајн и функционирањето на депониите се опфатени во *Landfill Design and Operation (JN Meegoda, H Hettiaratchi, Joseph PA Hettiaratchi, 2016).* Како поважни критериуми се наведени почвата, топографијата на теренот, геологијата на теренот, изворите на вода, можноста од поплави, станбените градби и близината на аеродром. Исто така, прикажани се конфигурации и на надземните и на подземните депонии. Укажано е на важноста од третман на инфилтратот во смисла на концептот на биореакторски пристап на функционирање на депонијата, за разлика од сувото одложување на отпадот. Покрај третман на инфилтратот, дадени се третмани и на други параметри како што е депонискиот гас.

Книгата *Guidelines For The Design, Construction and Operation of Manuel Sanitary Landfills (Jorge Jaramillo, 2003)* дава комплетен увид во менаџментот на отпадот, почнувајќи од карактеристиките на отпадот, опасностите и ризиците од неадекватното третирање на истиот, влијанието на животната средина, па до негово колектирање,

транспорт, третман (компостирање, култивирање, согорување), сè до конечно депонирање. Опишани се механизираната, полумеханизираната и прирачната депонија. Понатаму, акцентот е ставен на прирачната депонија, при што е даден дизајн на истата, земајќи ги предвид сите можни критериуми за нејзино проектирање и изградба и нејзиното одржување во текот на експлоатацијата.

Еден интересен пристап кон отпадот од илегалните депонии во Романија е прикажан во *Construction and DemolitionWaste in Romania: The Route from Illegal Dumping to Building Materials (Florin-Constantin Mihai, 2019)*, при што менаџментот на отпадот се фокусира на негова рециклажа, односно производство на градежни материјали, како што се цемент и други градежни производи за изградба на патишта и како материјал за прекривање на депонии.

Проблемот со загадување на околината е тесно поврзан со отпадот и неговиот третман. Со правилен третман, во значителна мерка може да се редуцира волуменот, но и да се обнови материјалот и енергијата. *Во Solid Waste Treatment Technologies (GolomeovaS., Srebrenkoska V.. Krsteva S., Spasova S., 2013)* се објаснети технологиите што се користат во третманот на отпадот како што се компостирањето, гасификацијата, пиролизата и согорувањето на отпадот.

Начинот на третманот на отпадот, компаративно анализиран преку пиролиза - гасификација или согорување е даден *во Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method (A. U. Zaman, 2010).* Констатирано е дека, од аспект на термалниот импакт на животната средина и енергетска обновливост, поприфатлив е третманот со пиролиза - гасификација пристапот.

Имајќи го предвид фактот дека лошиот менаџмент на органскиот отпад разорно делува на животната средина, но и на создавањето на стаклени̇чки гасови и уништување на озонската обвивка, сè повеќе се користат аеробни и анаеробни технологии во третманот на органскиот отпад, при што се добива гориво и ѓубриво *(Edwin Khew, 2010), (Organic Waste Treatment TechnologiesTechnologie, Innovative Waste Management Technologies & Solutions, ISWA-WMRASSSTechnical Workshop 2010).*

1. ДИЗАЈН И КОНСТРУКЦИЈА НА ДЕПОНИИТЕ И НИВНАТА ОПЕРАТИВНОСТ

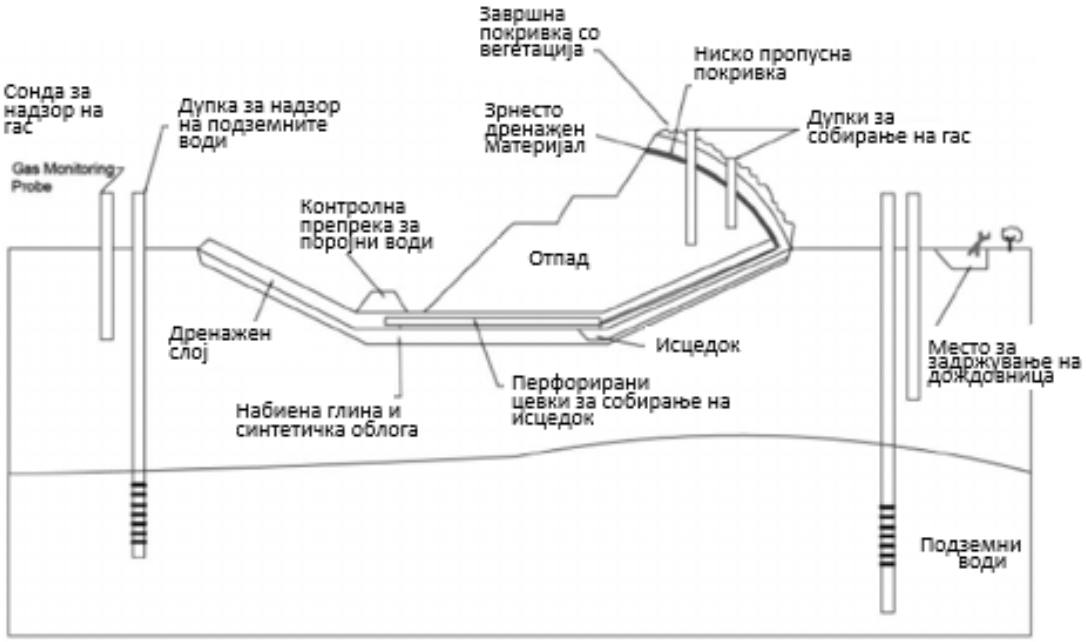
Депониите за комунален цврст отпад, освен што го прифаќаат отпадот од домаќинствата, исто така може да прифатат и одредени неопасни талози, како и индустриски и градежен цврст отпад. Модерните депонии се капацитети што се лоцирани, дизајнирани, оперирани и мониторирани со цел да се усогласат со законската регулатива. Депониите за комунален цврст отпад треба да бидат така дизајнирани за да ја заштитат животната средина од полутантите присутни во самиот отпад. Местото на депонијата не треба да биде лоцирана во сензитивен предел од еколошки аспект, а во однос на системот за мониторинг треба да сигнализира каква било опасност од контаминација на водите и присутност на депониски гас, како и да обезбеди дополнителни заштити во таков случај. Многу од модерните депонии го собираат потенцијално опасниот депониски гас и го конвертираат во енергија.

1.1. Типови на депонии

До половината од минатиот век, депониите ширум светот повеќе претставувале одлагалишта и сè уште тоа се во земјите во развој. Прашањата за контаминација на околината не биле земани сериозно, од причина што постоело општо верување дека исцедоците од отпадот во депониите целосно се прочистуваат од почвата и водата. Но сепак, повеќето студии спроведени подоцна го докажале спротивното (*Vesilind et al., 2002*). Ова водело кон вовед во нова и поригорозна регулатива од оваа област. Сметајќи дека комуналниот цврст отпад е помалку штетен во споредба со исцедоците од индустрискиот отпад коишто вклучуваат хемикалии, отпадот генерално бил поделен на два типа: опасен и безопасен (*Bagchi, 2004*). Со новата регулатива, одлагалиштата на безопасниот отпад се трансформирани во „санитарни депонии“. Во минатото, секоја депонија што имала дневно одлагање на отпад е сметана за санитарна депонија. Денес, под санитарна депонија се подразбира секој капацитет каде што се депонира комунален цврст отпад, дизајниран и

опериран со цел да се минимизира негативното влијание врз животната средина и здравјето на луѓето. Санитарните депонии продолжуваат да бидат еколошки прифатливи капацитети за одлагање на цврст отпад (*Reddy et al., 2009*).

Во конвенционалните санитарни депонии, отпадот се чува успешно сув со користење на основна подлога и покривка. На сликата 1.1 е претставен пресек на конвенционална санитарна депонија.



Слика 1.1 Пресек на типична модерна санитарна депонија

Извор *JN Meegoda et al., 2016*

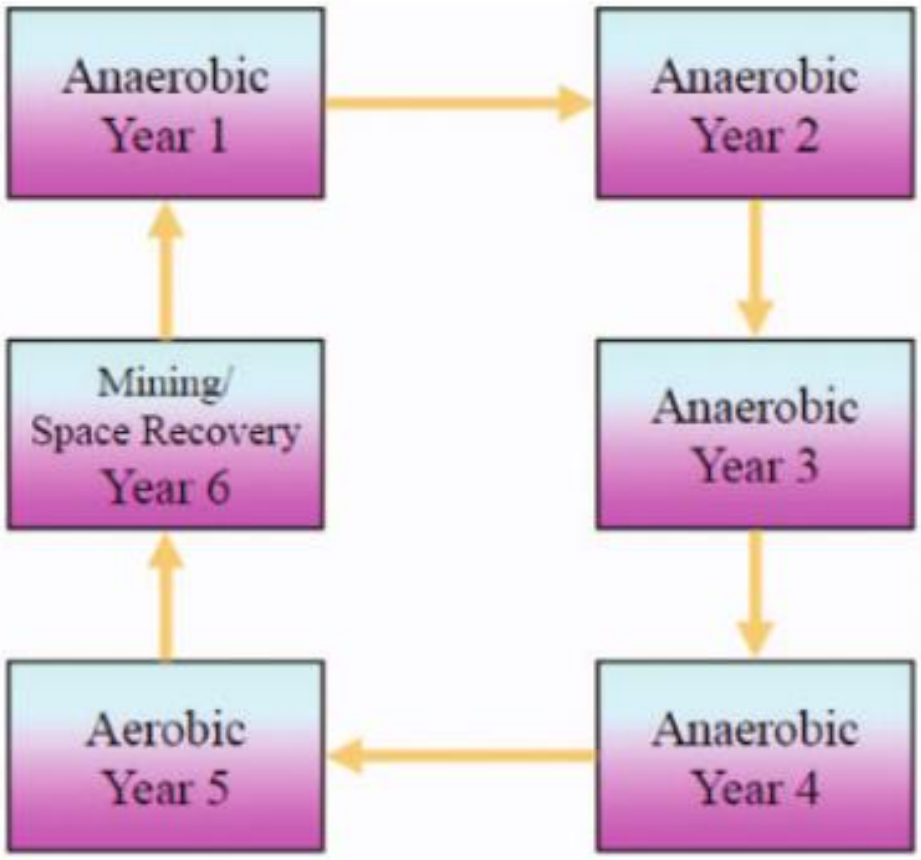
Таквиот дизајн на депонијата би спречил инфилтрирање на дождовницата и течноста од биодеградација на отпадот (термички исцедок) би се собирал на дното на депонијата од каде што безбедно би се отстранил. Таквото складирање на отпадот, како и рестриктивната инфилтрација на течност би ја забавила биодеградацијата и таа би траела со години (*Sharma and Reddy, 2004*). Скорешните ископувања на депониите стари повеќе од педесетина години покажуваат страници од дневни весници чиишто написи сè уште можат да се прочитаат во целост. Бавната деградација на отпадот ја зголемува

доверливоста во дизајнот и конструкцијата на депонијата, но исто така ја намалува можноста за поврат на инвестицијата за вредната локација на депонијата.

Во последните години е променета филозофијата за дизајн на депониите, од концепт на суво складирање кон биореакторски пристап (*Reddy et al., 2009*). Кај биореакторскиот пристап, содржината на влагата во комуналниот цврст отпад се зголемува преку рециркулација на исцедокот за да ја подобри биодеградацијата. Ова се чини е оправдана опција, со оглед на тоа што третманот на безбедно отстранување на исцедокот претставува значителен финансиски товар. Од причини што рециркулацијата на исцедокот ја забрзува биодеградацијата, овој тип на биореакторска депонија нуди редукција на времето за оперативниот менаџмент и оперативните трошоци (*Reddy and Bogner, 2003*).

Биореакторските депонии генерално можат да се категоризираат во три групи: анаеробични, аеробични и хибридни. Биодеградацијата во анаеробичните депонии е поттикната од микроорганизми коишто не користат кислород при клеточната респирација и органскиот отпад го претвораат во органска киселина и крајно во метан и јаглерод диоксид (*Sharma and Reddy, 2004*). Кај аеробичните биоректорски депонии се присутни аеробични микроорганизми коишто користат кислород при клеточната респирација и го претвораат органскиот отпад во јаглерод диоксид, додека хибридните биоректорски депонии претставуваат комбинација од двата концепта.

„Одржлива депонија“ е варијанта на биореакторска депонија каде што се менуваат операциите во третманот на отпадот, со цел максимално да се искористат ресурсите и да се обнови просторот. Имено, биореакторската ќелија во првата фаза работи како анаеробен биореактор, при што исцедокот се рециклира, а депонискиот гас се користи за генерирање енергија. Во втората фаза, биореакторската ќелија работи како аеробен биореактор и комуналниот цврст отпад се претвора во компост. Во третата фаза се отстранува остатокот од отпадот за да се обноват ресурсите и просторот, а со цел празната ќелија повторно да прифати нов отпад и да се повтори постапката (слика 1.2). Ваквата „одржлива депонија“ како пилот-проект е применета во Канада во градот Калгари. Биореакторските депонии стануваат значително популарни како одржлива алтернатива на сувите депонии, но нивната имплементација се одвива со бавно темпо.



Слика 1.2 Фази од операциите во биоќелиите. Извор: *Hsieh et al., 2008; © ASCE*

2. ПОСТАВЕНОСТ НА ДЕПОНИЈАТА

Поставеноста на депонијата е долг процес и многу е важно изборот на локацијата да биде прифатлив за јавното мислење. Обично, процесот започнува со исцртување на круг каде што би била можната локација на депонијата со генераторот на комуналниот цврст отпад во центарот. Одредувањето на големината на радиусот на кругот зависи од претходната економска анализа, имајќи ги предвид сите потребни релевантни параметри и трошоците поврзани со работата на депонијата. Во случај кога локацијата би имала негативно влијание врз населението и животната средина, потребно е веднаш истите да бидат информирани.

Потребниот волумен на депонијата зависи од очекуваната количина отпад којашто би се генерирала во иднина и од очекуваниот животен век на депонијата. Површината на депонијата би можела да се процени откога ќе се финализира и детерминира нејзината длабочина. Помошните објекти, зградите, пристапните патишта, бафер-зоните итн. треба да се земат предвид при проценката на големината на депонијата како капацитет.

Патиштата што ќе се користат при изградбата на депонијата и после за време на функционирање на истата може да се извор на бучава, вибрации, прашина, издувни гасови, нечистотија и друга штетност и непријатности за жителите и околината. Тешките возила може да предизвикаат застој на редовниот сообраќај, како и оштетување на сообраќајната инфраструктура. Од тие причини, потребно е да се има предвид оддалеченоста на депонијата од местата каде што се генерира отпадот, пристапот до националните и регионалните патишта, како и потребата да се изгради дополнителна патна инфраструктура со цел да се отстранат негативните последици од поставеноста на депонијата.

Потребно е да се изврши сеопфатна анализа при што би се собрале сите релевантни податоци во врска со локацијата и оддалеченоста на депонијата. Едни од поважните аспекти во врска со тоа се: почвата, топографијата, корисноста на земјиштето, патиштата, инциденца и опасност од поплавување, геолошкиот извештај за тлото, присутноста на чисти извори на вода, градбите, близината на заштитени животински зони, оддалеченоста од барем 20 километри од аеродроми со цел да се избегне присуство на птици...

За одредената локација е потребен хидрогеолошки извештај што ќе содржи сеопфатни истражувања како што се: изведување на почвени бушотини, испитни јами, земање примероци и испитување на подземните води, одредување на хидраулична кондуктивност на теренот (*Sharma and Reddy, 2004*).

Откако ќе се одреди локацијата и ќе се изработи студија за оценка на влијанието врз животната средина, проектот може да добие развојна дозвола што претставува само прв чекор и претпоставува само изградба на депонијата. За да депонијата се стави во функција, потребно е да се добие оперативна дозвола. Во оваа фаза на процесот треба да се организира јавна дебата за предложениот проект (*Sharma and Reddy, 2004*).

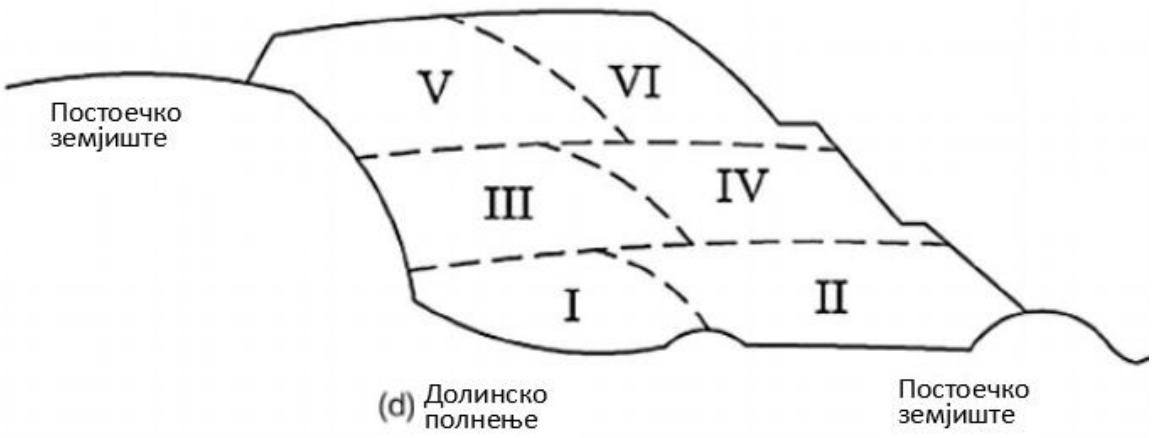
2.1.Типични конфигурации на депониите

При конструкција на депониите, вообичаено се користат и двата типа, надземниот и подземниот. На сликата 2.1 е претставен надземниот тип, каде што надземна површина се полни со отпад и за него не е потребен ископ. Погоден е за рамни терени со плитко ниво на подземните води.



Слика 2.1 Надземен тип на депонија. Извор *JN Meegoda et al., 2016*

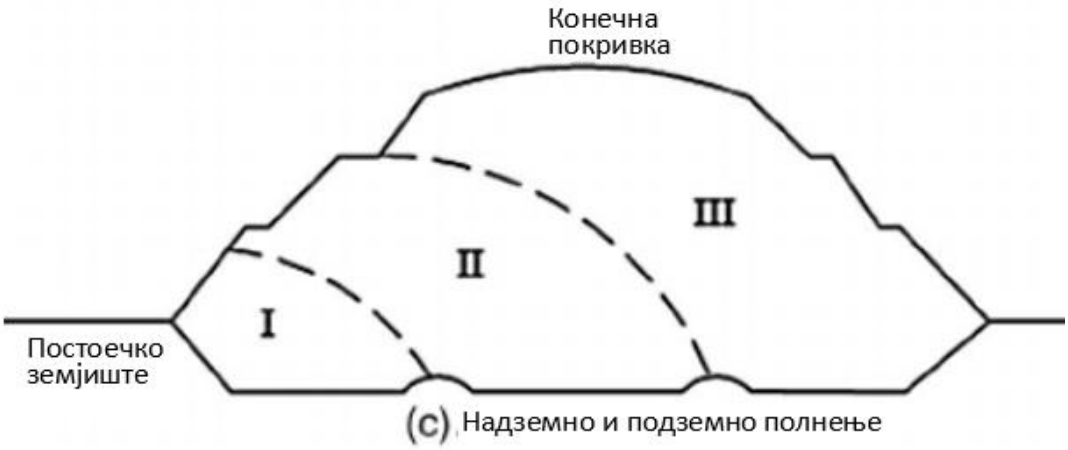
На слика 2.2 е прикажан подземниот тип на депонија, наречен уште и долински или кањонски тип, и е погоден за ридест, планински терен.



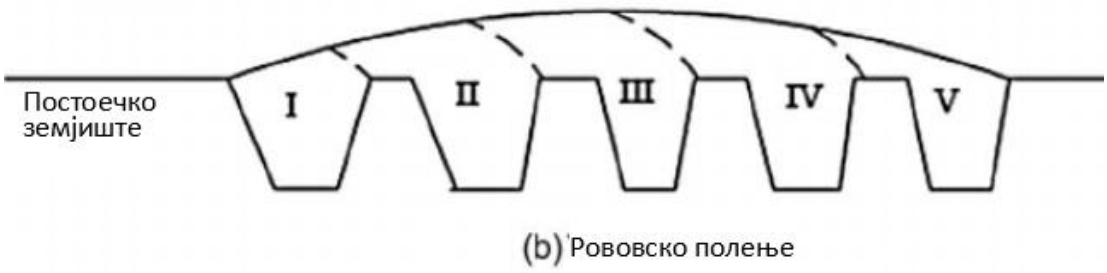
Слика 2.2 Подземен тип на депонија (долински или кањонски тип).

Извор JN Meegoda et al., 2016

На сликите 2.3 и 2.4 се претставени надземниот и подземниот тип на депонија и рововскиот тип на депонија. И двата типа се комбинација на надземната и подземната опција и се погодни за релативно рамни терени.



Слика 2.3 Надземен и подземен тип на депонија. *Извор JN Meegoda et al., 2016*



Слика 2.4 Рововски тип на депонија. Извор *JN Meegoda et al., 2016*

Површината каде што се одлага отпадот обично е поделена на ќелии. Вообичаената димензија на ќелијата варира помеѓу 2 и 8 ари (*Sharma and Reddy, 2004*). Полнењето на ќелијата трае од 1 до 3 години.

Законската регулатива ја диктира оддалеченоста на подлогата на депонијата од изворите и бунарите на чиста вода. Исто така, пожелно е да се избегнуваат карпести терени со цел избегнување на дополнителни трошоци. При изборот на теренот, задолжително е да се избегнуваат претходно минирани подрачја, како и терени со дупки и

бушотини бидејќи истите можат да ја дестабилизираат целата депонија. Во случај подрачјето да се наоѓа во сеизмичка зона, тогаш е задолжителна сеизмичка анализа. Со цел стабилно оперирање со отпадот, потребно е да се земат предвид наклоните на ископите и отпадот.

Главниот план треба да ги предвиди границите на депонијата, оптималната површина, фазите на имплементација на ќелиите и локациите на различните објекти. Под различни објекти се подразбираат: управна зграда, помошни објекти, простор за возилата за полнење и перење, подрачја за складирање, танкови за чување на исцедокот, пристапни патишта, систем за собирање на депонискиот гас...

3. КЛУЧНИ АСПЕКТИ НА ДИЗАЈНОТ И КОНСТРУКЦИЈАТА

Модерните инженерски проектирани и изведени депонии се лоцирани, дизајнирани, оперирани и мониторирани во согласност со позитивните законски регулативи. Главните компоненти на депониите се илустрирани на слика 1.1 и во нив се вклучени: подлогата, облогата, системот за управување со исцедокот, системот за управување со депонискиот гас, покривката и системот за управување со атмосферските води.

3.1. Подготовка на подлогата

Многу е важно да се има прописно подготвена подлога за да може облогата директно да се конструира врз неа, со цел да се избегне проблемот со набивањето на отпадот. Кај песочните почви, генерална препорака е подлогата да се набие до 85-90 % од релативната густина. За време на изведбата, густината треба да се контролира на 30 метри мрежни точки (*Bagchi, 2004*). За таа цел се користат мерачи на густината на лице место. Ако се појави глина на подлогата, тогаш карактеристиките на консолидација треба да бидат испитани.

3.2. Дизајн на подлогата

Примарна цел на облогата е да ја спречи контаминацијата на почвата и површинските води. Таа исто така го олеснува собирањето и отстранувањето на исцедокот создаден од отпадот. Генерално, облогата се состои од повеќе слоеви на глина или геосинтетички материјали (претежно геомембрани) за да го спречи исцедокот да истече во околината. Изборот на материјалот за облогата треба да се базира врз основа на типот на отпадот и на методот на оперирање со депонијата. Исцедокот не смее да му наштети на материјалот на облогата. Традиционално, облогите се изработуваат од глина. Во недостаток од глина, може да се додаде и песок со цел да се добие релативно непропустлива облога. Глината не ја спречува пропустливоста целосно. Со време, пропустливоста кај глинените облоги се намалува поради затнување на порите од контаминантите од депонијата. Предноста кај глинените облоги е тоа што тие не се оштетуваат лесно при нивната инсталација.

Геосинтетичките облоги (слика 3.1) можат поефикасно да го спречат протекувањето на исцедокот, но се поподложни на оштетување за време на инсталацијата. Ако се очекува да се користи тешка механизација врз облогата, тогаш дебелината на дренажната покривка треба да биде поголема за да ја заштити геосинтетичката облога.



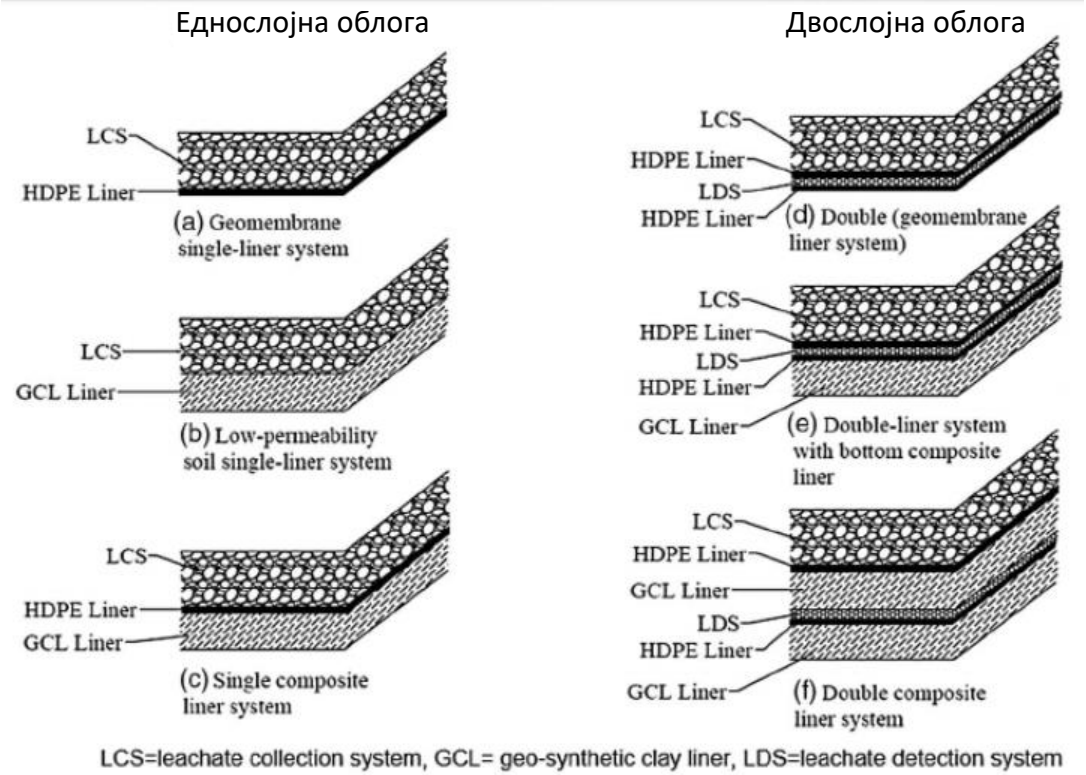
Слика 3.1 Конструкција на (*HDPE*) полиетиленска облога со голема густина.

Извор *JN Meegoda et al., 2016*

Полиетиленските геомембрани со голема густина (*HDPE*) се препорачуваат за депониите поради нивната отпорност на повеќето хемикалии.

Кај депониите се користат еднослојни или повеќеслојни облоги во зависност од потребите и законската регулатива. Кај еднослојните облоги се употребува или *HDPE* геомембраната или глинената облога, додека кај композитните еднослојни облоги геомембраната се поставува врз глинена облога или геосинтетичка глинена облога (*GCL*).

Дебелината на облогата секогаш зависи од типот на отпадот што се собира. Кај геосинтетичките облоги, главна грижа е можноста од продупчување на облогата за време на инсталацијата и деградацијата предизвикана од ултравиолетовото зрачење. Вообичаено се користат геомембрани со дебелина од 1,5 до 2 m (*Bagchi, 2004*). Дебелината кај глинените облоги зависи од конструктивните услови и од деградацијата поврзана со замрзнувањето и одмрзнувањето на глината. Се препорачува таа да биде 15–30 cm. На слика 3.2 се претставени различни системи на облоги.



Слика 3.2 Примери на различни системи на облоги. Извор *Vesilind et al., 2002*

Покрај глината и геосинтетичките материјали, денес во литературата може да се сретнат и други материјали на коишто се вршени бројни испитувања. Она што ги поттикнува истражувачите да изнајдат најефикасен материјал погоден за облога е исполнувањето на одредени стандарди поврзани со загадувањето на почвата и подземните и површинските води. Еден од нив е хидрауличната кондуктивност на облогата којашто треба да биде помала од 10^{-7} cm/s (*N. S. Thankam et al., 2017*).

Вршени се детални испитувања врз ефективноста на мешавината од бетонит со песок како облога во депониите (*Sivapullaiah et. al., 2000*).

Фините големини на честичките на бетонитот влијаат на микропорите, ги зголемуваат површинските перформанси и ја намалуваат хидрауличната кондуктивност, со што бетонитот го прават погоден за материјал за облога кај депониите. Мешајќи го бетонитот со груб агрегат, каков што е песокот, се зголемува цврстината и издржливоста и го спречува пукањето предизвикано од собирање на материјалот (*Kleppe and Olson, 1985*). На тој начин се спречува продирање на полутанти во почвата и подземните води.

Во тропските области се среќава латеристичка почва за којашто е откриено дека е погодна како облога. Инженерските својства и карактеристики на почвата варираат во зависност од начинот на нејзиното создавање. Сескиоксидите во неа се важни компоненти што играат главна улога во нејзиното однесување и ги одредуваат нејзините својства (*Townsend et al., 1971*). Исто така е откриено дека главната разлика помеѓу почвите од тропските области со тие од умерените области е содржината на железо и алуминиум коишто помагаат во сврзувањето на материјалните честички, со што се намалува хидрауличната кондуктивност (*Ola et al., 1983, Afolayan et al., 2005*).

Вршени се одредени експерименти на дробени (мелени) шкрилци, при што е констатирано дека се добра замена за глината (*Y. E.A. Mohamedzein et al., 2005*). Особено тоа важи за земјите од Арапскиот Залив каде што недостасува природната глина. Но, затоа е откриено дека шкрилците содржат висок процент на минерали на глина (*Batchelder and Joseph, 1997*) што ги прават погодни како материјал за облога, уште повеќе што го исполнуваат главниот критериум, а тоа е ниската вредност на хидрауличната кондуктивност.

Како добар додаток во цементот, со којшто сочинува еден композитен материјал што се користи како стабилизатор на глинените облоги, се користи „црвената кал“ којашто претставува отпаден материјал при производство на алуминиум од бокситната руда (*Ekrem Kalkan, 2005*). Се дошло до заклучок дека со тоа се намалила хидрауличната кондуктивност, се зголемила цврстината и се намалиле трошоците за стабилизација на глината.

Една од најважните цели кај облогите е да се спречи истекувањето на полутантите во почвата и подземните води. Тешките метали, особено шествалентниот хром, се сметаат за меѓу најопасните материјали. Грануларно активниот јаглен и активниот бетонит се покажале како поефикасни атсорбенти на тешките метали од природната глина (*LU Hai-jun et al., 2008*). Исто така е откриено дека само мал процент на активен јаглен или активен бетонит во смеса со природната глина од 3 %, ја намалуваат хидрауличната кондуктивност на облогата на помалку од минималната барана вредност од 10^{-7} cm/s.

Од оправдани причини поврзани со неможноста за располагање со доволни количини на бетонит и цената на чинење на истиот, правени се одредени испитувања на материјали што би го замениле целосно или дел од бетонитот. Таков е случајот со чакалот обложен со бетонит којшто наликува на кикирики покриени со чоколадо (*A. A. Roberts and T. Shimaoka, 2008*). Таквиот материјал набиен под одредени услови покажува хидраулична кондуктивност помала од $6x10^{-10}$ cm/s. Но сепак, се знаат малку работи за овој материјал и за него се потребни дополнителни истражувања.

Испитувани се можностите во составот на глината да се вметне смеса од два бентонита од коишто едниот збогатен со железо и ниска смектичка содржина и другиот збогатен со алуминиум и висока смектичка содржина со што се подобруваат геотехничките особини на геосинтетичката глинена облога (*S. Andrejkovicˇova´ et al., 2008*).

Посебноста на морската глина како материјал за облога кај депониите е тоа што коефициентот на дифузија изнесува 3-9,14 x 10^{-7} cm^2/s и хидраулична кондуктивност помала од 10^{-7} cm/s кога низ неа се пропуштени тешки метали (*T. Chalermyanont et al., 2009*).

Утврдено е дека смесата од латеричката почва со пепелот што останува по согорувањето на исцедените остатоци од шеќерната трска ги подобрува особините на

материјалот. Смесата до 12 % пепел и одредена содржина на вода ја намалува хидрауличната кондуктивност (*K. J. Osinubi and A. O. Eberemu, 2012*).

Некои истражувачи (*Xue Qiang et al., 2014*) истражувале како смесата од слама богата со влакна и глина влијае на отпорноста на глинените облоги на пукање.

Со замена на 20 % од глината со метакаолин се намалува афинитетот на глината кон влажење со што се создава добра бариера од исцедокот кон околината (*S. Y. Umar et al., 2015*).

Исто така се испитувани и можностите дел од отпадот, како што се талогот од хартиената пулпа и летечкиот пепел, да се искористат во конструкција на облоги во депониите со што би се заштедиле значителни средства во случај кога би се користела конвенционалната глина (*Gerjen I. Slim et al., 2016*).

3.3.Управување со исцедокот

Целосната количина на исцедок би можело да се процени и пресмета земајќи го предвид водениот баланс. Имено, тоа зависи од количините врнежи на местото на депонијата, количината вода што истекува од површината надвор, количината вода што дотекува до депонијата, количината вода што се апсорбира од почвата над депонијата, количината вода што испарува и количината на течностите што се продукт од отпадот (*Fenn, D. G. et al., 1975*). Количините врнежи може да се предвидат согласно хидрометеоролошките податоци за таа област. Во зависност од карактеристиките на почвата што ја покрива депонијата и нејзината конфигурација, може да се одреди коефициентот на истекување и количината вода што може да биде апсорбирана од почвата над депонијата или од отпадот. Во зависност од климатските услови, може да се предвиди количината вода што би испарила, а во зависност од структурата на отпадот, може да се оцени колкава количина течности би истекле од него. Тука секако треба да се земат предвид и други релевантни податоци како што се растенијата што растат на почвата над депонијата од причини што растенијата ја одземаат водата од почвата. На слика 3.3 е даден шематски приказ на компонентите од водениот баланс.



Слика 3.3 Шематски приказ на компонентите од водениот баланс.

Извор *Vesilind et al., 2002*

Математички емпириски модел е прикажан подолу:

$$C = P(1 - R) - S - E$$

каде што:

C - целосна количина на исцедок mm/год.

P - врнежи mm/год

R - коефициент на истекување

S - количина вода апсорбирана од почвата или отпадот mm/год

E - испарена вода mm/год

Во внатрешноста на депонијата се случува комплекс од физички, хемиски и биолошки реакции. Како консеквенца од сето тоа, доаѓа до деградација и трансформација на отпадот. Како што водата протекува во депонијата, така контаминантите истекуваат од отпадот. Механизмот на истекување на контаминантите вклучува: истекување на растворливите материјали во внатрешноста на отпадот, истекување од растворливите биоразградливи органски материи, истекување на растворливите материи од хемиските реакции, растворени честички и колоиди. Карактеристиките на исцедокот се променливи и зависат од многу фактори како што се: композицијата на отпадот, количината на врнежите, хидрологијата на местото, набиеноста на почвата, дизајнот на покривката, староста на отпадот, интеракцијата на исцедокот со околината и дизајнот и работата на депонијата.

Исцедокот најчесто содржи разновидни органски и неоргански соединенија со ниска концентрација коишто не би требало претставуваат грижа за контаминација на површинските и подземните води. Тоа се обично конституенти на бензин, масла, нуспроизводи од деградација на растенијата, раствори, пестициди. Неорганските соединенија што можат да претставуваат опасност се оловото и кадмиумот коишто доаѓаат од батериите, пластиката, пакетите, електрониката, лампите...

Квалитетот на исцедокот директно го условува неговиот третман. Скоро никогаш не е доволен само физичко-хемиски или само биолошки третман. Комбинација од двата типа третмани е еден од најефикасните процеси за третман на исцедокот.

Исцедокот се движи кон дното на депонијата преку дренажни слоеви компонирани од песок, чакал или геосинтетички материјали. Се поставуваат перфорирани, издупчени цевки на дното за да го соберат исцедокот и под одреден наклон за да може течноста да го изнесе исцедокот надвор од депонијата под дејство на гравитацијата.

Примарната цел на облогата и ќелијата на депонијата е да ја спречи контаминацијата на подземните и површинските води. Исцедокот се собира на дното од ќелијата и постигнува одредена висина по којашто е потребно да се евакуира од таму. Генерално, евакуацијата се врши преку гравитација или со пумпи. Се користат различни компоненти во системот за собирање на исцедокот од коишто најтипични се (*Reinhart, D. R., and T. Townsend., 1998*):

- заштитните и дренажни слоеви

- перфорирани странични и главни цевки за собирање

- пумпна станица

- пумпи за исцедокот

- контролен уред

- помошни уреди

- агрегат.

Евакуираниот исцедок може да биде привремено складиран и третиран на лице место или рециклиран. Најекономична опција би била да биде отстранет на друго место каде што би бил третиран или складиран и не би претставувал оптоварување на главната функција на депонијата (*Vesilind et al., 2002*).

Третманот и одлагањето на исцедокот претставува една од најскапите и најодговорните операции, не само за време на работата на депонијата, туку и по затворањето на истата. Оптималниот третман на исцедокот може да варира поради изнаоѓањето нови технологии, нови регулативи и поради стареењето на исцедокот. Тешкотиите во третманот се должат и на високата содржина на органски материи, неправилна продукција и композиција на отпадот, варијации во биоразградливоста и ниската содржина на фосфор. Кај повеќе автори може да се сретнат различни опции за третман на исцедокот (*Lema, J. M et al., 1988; Chian, E. S. K. and F. B. DeWalle, 1977; Cossu, R et al., 1989; Venkataramani, E. S et al., 1974*). Како пример може да се посочи депонијата во Округот Оринџ, Њу Јорк (*Orange County, New York)* каде што се користат: полимерната коагулација, флокулација и седиментација проследена со анаеробен биолошки третман, две фази на аеробни биолошки третмани и филтрација пред да биде испуштен исцедокот во реката Волкил *(Wallkill River) (King, D. and A. Mureebe., 1992).*

Од причини што третманот на исцедокот е комплициран и скап, развивани се нови техники на справување со овој потенцијален загадувач (*Harris, J. M., et al., 1999*).

Реверзната осмоза како постапка нема никаква врска со осмотскиот притисок или осмозата, но е вообичаено име за постапката при којашто флуидот се пропушта низ полупропустлива мембрана, така што се издвојуваат растворливите материи на микронската големина на мембраната. Тоа е една од постапките при што е можно

издвојување на растворливите материи. Високопритисната пумпа го надминува природниот осмотски притисок и го раздвојува исцедокот на две струи: чиста вода и концентрирана струја. Молекулите на водата поминуваат низ мембраната, додека контаминантите се измиваат од површината на мембраната и излегуваат како саламура. Околу 75-90 % се прочистува како чиста вода.

Постапката на директната осмотска концентрација е ладно-мембрански процес при што отпадот од исцедокот се издвојува во нископритисно опкружување. Се поставува мембрана помеѓу исцедокот и осмотскиот агенс, а обично тоа е 10 % солен раствор. Притоа, под дејство на природната осмоза, водата од исцедокот преминува во растворот, додека полутантите остануваат од другата страна на мембраната. Процесот прекинува кога ќе се изедначат концентрациите на солениот раствор од двете страни на мембраната.

При испарувањето на содржината на водата од исцедокот, ефективно може да се намали волуменот на отпадот до 5 %. При употребата на другите постапки (реверзна осмоза, микрофилтрација и други конвенционални третмани), сè уште добиената вода треба да се отстрани или одложи. Во случај ако се користи енергија добиена од депониското гас за испарување на водата од исцедокот, ефикасно се решаваат интегрално контролата и на исцедокот и на депониското гас.

Постојат и други видови третмани како што е дестилацијата или неколку земјени третмани од типот на правење мочуришта, компостирање или одгледување тополи.

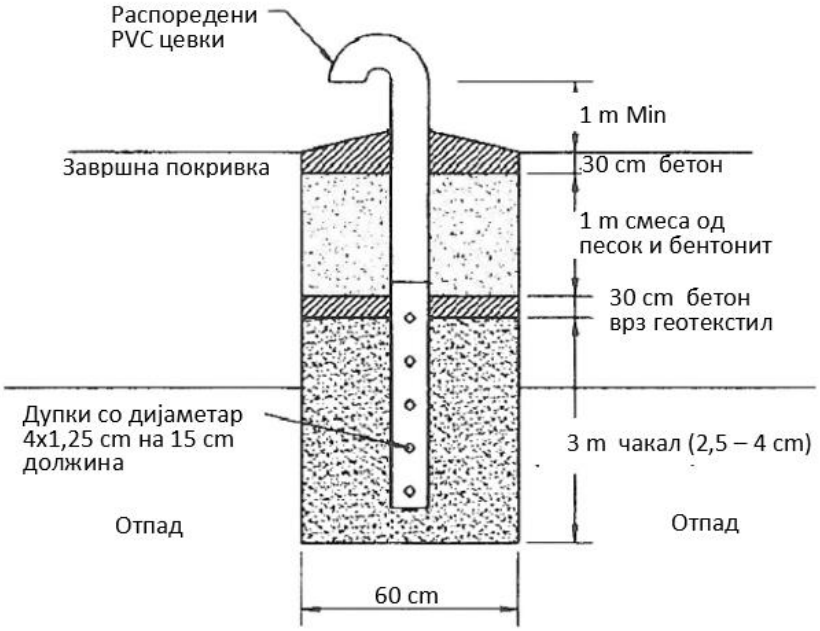
Депониите би можеле да се користат и како веќе подготвени биолошки реактори за третман на исцедокот. Имено, депонијата може да се трансформира во реакторски систем користејќи ги облогата и покривката, сортирајќи и подредувајќи го отпадот во одредени ќелии, собирајќи и рециклирајќи го исцедокот и управувајќи го создадениот депониски гас. Таквите депонии се способни за забрзана биохемиска конверзија на отпадот и ефективен третман на исцедокот.

Повеќето санитарни депонии се конструирани како „суви“ депонии каде што стабилизацијата на отпадот трае многу години, односно ацидната и метанската фаза на биоразградливиот дел од отпадот трае долго време. Спротивно на тоа, рециклирањето на исцедокот назад во депонијата може да придонесе кон брз развој на анаеробните микроорганизми коишто се одговорни за деградацијата на органскиот дел од отпадот.

Притоа, процесот на стабилизација на депонијата би можел да заврши за две до три години, наспроти 15 до 20 години потребни кај „сувите“ депонии. За таа цел, исто така е потребно да се контролира и количината на самиот отпад, како и следење на нејзиниот состав, односно на *C/N* односот, температурата, како и процентот на влажност на супстратот. Познато е дека се потребни оптимални услови во биореакторот со цел стабилизацијата да биде брза. Секако, за сето тоа е потребно и конструктивно да се оспособи депонијата во однос на системот за собирање на исцедокот, системот за цевки, како и системот за повторно враќање назад.

3.4.Управување со депонискиот гас

Системот за собирање на депонискиот гас може да биде дизајниран како пасивен и активен. Кај пасивниот систем се користат отвори низ коишто се испушта гасот во атмосферата, без претходен третман на гасот. На слика 3.4 е даден шематски приказ на пасивен гасен отвор. Протекувањето на гасот низ цевките се одвива по пат на природна конвекција. Се користат за мали депонии до 40.000 m^3. Пасивниот систем може да содржи серија од изолирани гасни отвори.



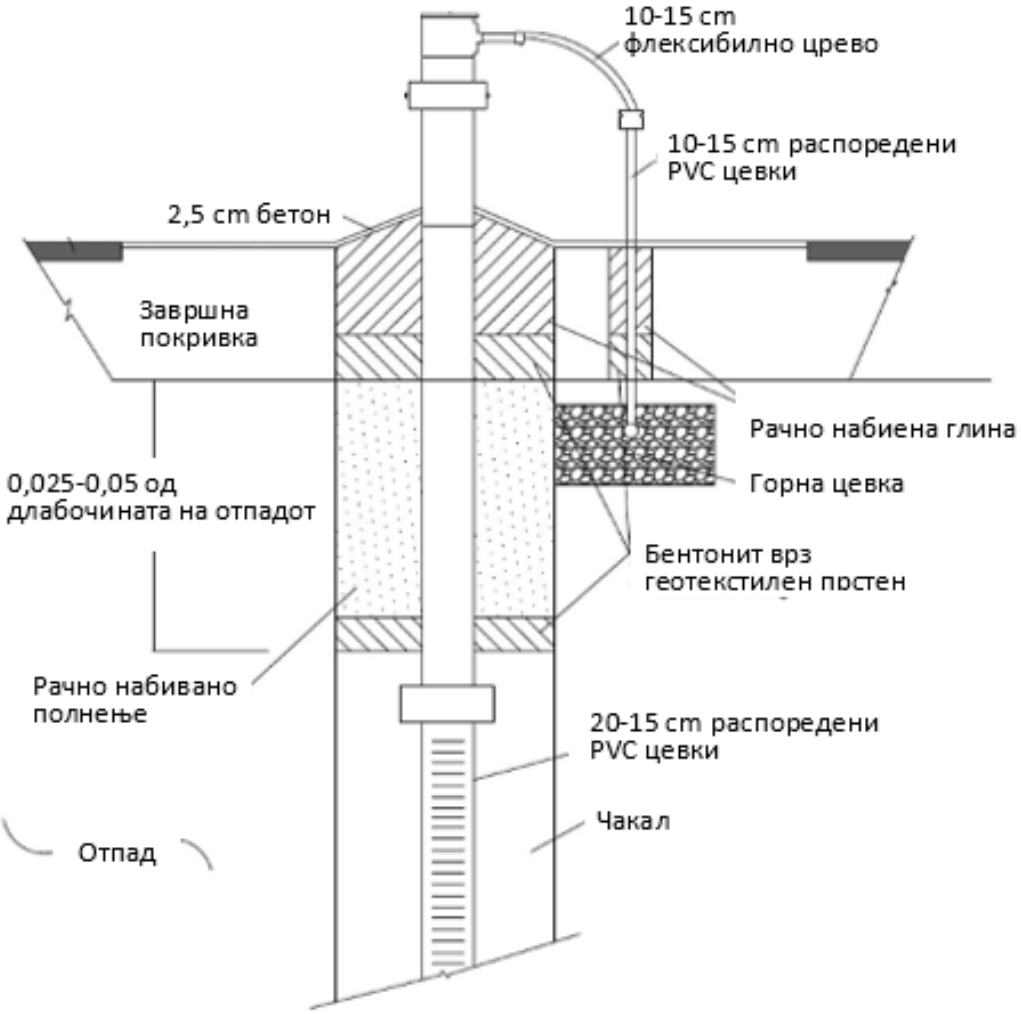
Слика 3.4 Шематски приказ на пасивен гасен отвор.

Извор *USACE 1995*

Длабочината на отворите може да се движи од еден метар до 75 % од длабочината на депонијата. Вообичаениот волумен што треба да го опфати отворот изнесува 7500 m^3 (*Vesilind et al., 2002*).

Активниот систем е составен од серија дупки за длабоко извлекување поврзани со главна цевка. Активниот систем користи вакуум пумпа за извлекување на депониискиот гас. Кај пасивниот систем за собирање гас можат да се сретнат и вертикални и хоризонтални отвори. Вертикалните се попопуларни и нивниот пресек е даден на слика 3.5. Депониискиот гас се извлекува со помош на централен вентилатор што е димензиониран согласно волуменот на гас што треба да се транспортира (*Vesilind et al., 2002*). Употребата на поголеми цевки и минимизирањето на врските и вентилите може да ги намали трошоците.

Разместеноста и оддалеченоста помеѓу отворите зависи од очекуваното производство и протокот на гасот. При нивното инсталирање се препорачува зоните на влијание да се преклопуваат едни со други со одреден процент. Обично може да се постават хексагонално или квадратно (*Bagchi, 2004*). Отворите за извлекување на гасот се поврзуваат со вентилаторот преку полиетиленска цевка (15–20 cm дијаметар). Главната цевка е поставена во ров исполнет со песок. Потребно е вентилаторот да се постави над главната цевка за да се олесни исцедувањето на кондензатот (*Bagchi, 2004*). Појавата на кондензат се случува поради постигнувањето на точка на роса на ѕидовите од цевката и потребно е да се врати назад во депонијата или да се третира како исцедокот. Во зимските периоди треба да се има предвид можноста од замрзнување на кондензатот и затнување на цевките.



Слика 3.5 Вертикален отвор за извлекување на депониски гас.

Извор *Bagchi, 2004*

3.5. Дизајн на дневна, привремена и конечна покривка

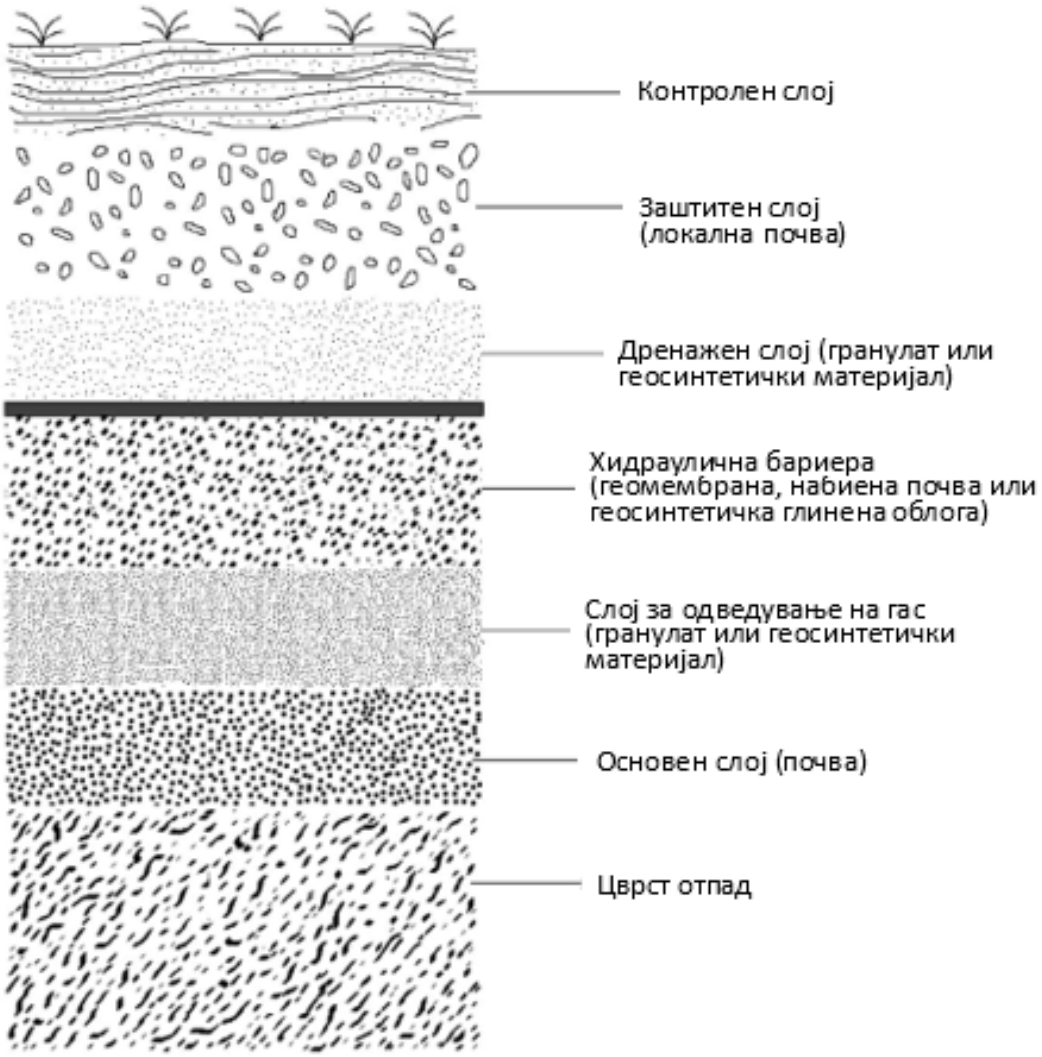
Под дневна покривка се подразбира пресувана почва или земја врз дневното положување на отпад во депонијата. Покривката помага во спречувањето на интеракцијата помеѓу отпадот и воздухот, намалувањето на лошата миризба, реата и обезбедувањето цврста подлога за возилата да оперираат во депонијата. Освен почвата, како традиционален материјал што се користи за покривка, исто така во поново време се разгледува опцијата, т.н. „зелен отпад“, како материјал за покривка да се употребува

мешавина од хартиен талог и гумен агрегат. Таквиот материјал покажува добри и посакувани механички карактеристики што ги задоволуваат условите за дневна покривка. Во споредба со почвената покривка, оваа покривка е два до трипати полесна, два реда понепропустлива величина и со подобра смолкнувачка цврстина (*Ng and Lo, 2007*).

Привремената покривка се поставува на претходно активна површина на којашто се одложувал отпад и на којашто не се планира да се одложува отпад, во период типичен од 7 до 60 дена или подолг период. Привремената покривка вообичаено се состои од почва, а во одредени случаи може да содржи и дополнителен слој од пластична маса или геотекстилен материјал. Причините за поставување на привремената покривка се делумно исти како и кај дневната покривка, а тоа се спречување на ширењето лоша миризба, оддувнување на смет, инсекти и пожари.

Конечната покривка се поставува кога отпадот ќе ја достигне проектираната висина, а со цел да се минимизира влез на дождовница, смет и лоша миризба. Меѓународната регулатива предвидува покривката да биде помалку пропустлива од облогата (*Vesilind et al., 2002*). Наклонот на страните треба да биде од 1 : 3 до 1 : 4. На слика 3.6 е даден пресек на типична покривка и таа се состои од вегетативен слој поткрепен со почва, дренажен слој, хидраулична бариера, слој за контрола на гасот и основен слој.

Основниот слој прв се поставува над отпадот и тој обезбедува стабилна конструкција за останатите слоеви. Слој од геотекстил може да се постави под овој слој. Слојот за контрола на гасот се поставува над основниот слој со дебелина од 15 до 60 mm груб грануларен материјал. Дебелината на слојот треба да се заснова на дизајнот и стабилноста на системот за собирање на гасот. Слојот за хидраулична бариера е над слојот за контрола на гасот и е направен од глина, геосинтетичка глина или геомембрана. Ако се употребува глина, тогаш дебелината треба да биде минимум 60 cm. Ако се употребува геомембрана, тогаш се препорачува таа да биде со дебелина од 1 mm и да биде полиетилен со мала густина (*LDPE*). Поставувањето на нископропустливиот слој под геомембраната е потребен во случај на протечување на мембраната.



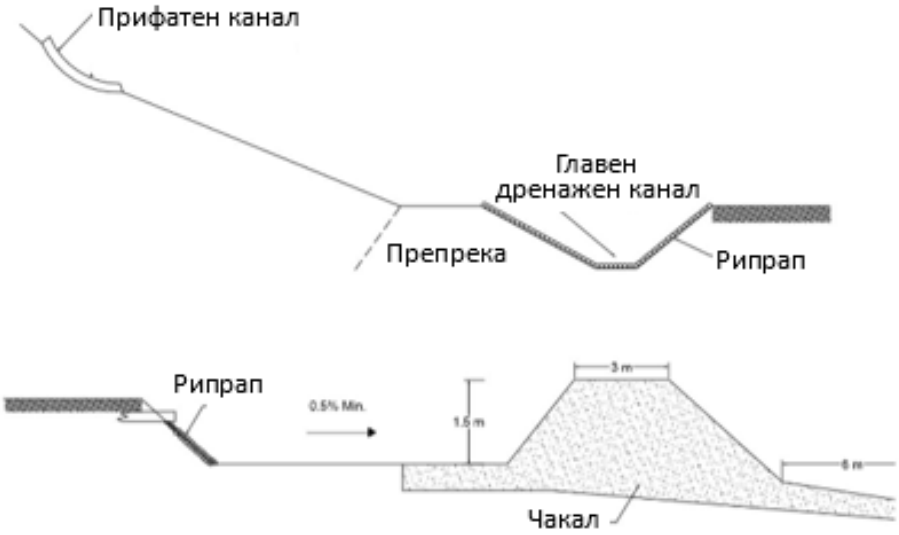
Слика 3.6 Попречен пресек на конечна покривка

Извор Qian et al., 2002

Грубиот песок се употребува за конструкција на дренажниот слој (30 cm минимум дебелина) врз глинената бариера. Улогата на овој слој може да биде критична ако под него е поставена геосинтетичка бариера затоа што, во услови на влажна почва, може да се намали фрикцијата помеѓу двата слоја и да дојде до пролизгување. Како заштитен слој се поставува почва со дебелина од 45 до 90 mm. Со цел да се поттикне вегетацијата, се препорачува хумусна почва од 15 cm врз заштитниот слој (*Bagchi, 2004*). Треба да се спомене дека сите овие слоеви во некои случаи можат да бидат непотребни, како во случај кога не се очекува голема продукција на депониски гас (*Qian et al., 2002*).

3.6. Управување со подземни води

Подземните води што дотекуваат и истекуваат од местото на депонијата треба да се регулираат за да се избегне дополнителна продукција на исцедок, но и да се спречи водите што истекуваат од депонијата да не ја загадат околината и површинските води. Тоа се изведува со пренасочување на водите. Системот што ќе се постави треба да се справи со максимален пик на 24-часовни врнежи на 25-годишна бура (*Vesilind et al., 2002; U. S.EPA 2005*). Врнежите што паѓаат врз депонијата треба да се пренасочат кон природните дренажни водотеци. За таа цел се поставуваат канали што ја носат водата до базени пред да биде испуштена во природната средина. Може да има повеќе канали околу депонијата, во зависност од количината на водата што истекува од депонијата. Вообичаено се изведува триаголен или трапезоиден пресек на каналите. Ако се поголеми брзините на водите, може да се случи ерозија на теренот. Во тој случај се користат рип-рап или „мрежни“ подлоги и наклон на страните од 10 %, за да се спречи ерозијата. На слика 3.7 е даден напречен пресек на канал и базен кај типична депонија.



Слика 3.7 Напречен пресек на канал и базен кај типична депонија

Извор (*Bagchi, 2004*)

Таложниот базен се предвидува за да се спречи нерастворливата материја да ги загади површинските води. Ним им е потребно периодично чистење од талогот. Најчесто се гради со квадратна форма од 2 : 1 однос, должина/ширина и длабочина од 1,5 метар.

3.7. Дизајн на биореакторска депонија

Голем дел од компонентите кај биореакторската депонија се исти или слични со таканаречената „сува“ депонија. Вообичаено, облогата ја содржи геомембраната поставена врз глинен слој, при што се препорачува 1,5 mm дебелина на геомембраната и 1,2 - 1,5 m дебелина на глинениот слој. Може да се употреби и повеќеслојна облога, шкрилци како дренажа и слој од геотекстил врз него.

Кај традиционалната „сува“ депонија, влажноста се одржува помеѓу 12 – 15 %, додека кај биореакторската депонија таа изнесува 40 % (*Tchobanoglous and Kreith 2002*). Таа содржина на влажност се постигнува со рециркулација на исцедокот. За таа цел се користат неколку техники, како што се: површинско влажење, спрејување и хоризонтално или вертикално инјектирање. За да може ефективно да се манипулира со рециркулираниот исцедок од еден крај на депонијата на друг крај, се ангажираат пумпи за подобри резултати. Во случај исцедокот целосно да рециркулира назад во депонијата, нема потреба од третман на истиот. Кога има вишок на исцедок, тогаш е потребен третман, додека во услови на недостаток, потребен е план да се обезбеди потребната количина. Поради зголемената количина на исцедок во депонијата, потребно е да се провери стабилноста на системот, димензионирањето на вградената опрема, како и потенцијалната опасност од загадување на околината.

4. ОПЕРАТИВНОСТ НА ДЕПОНИЈАТА

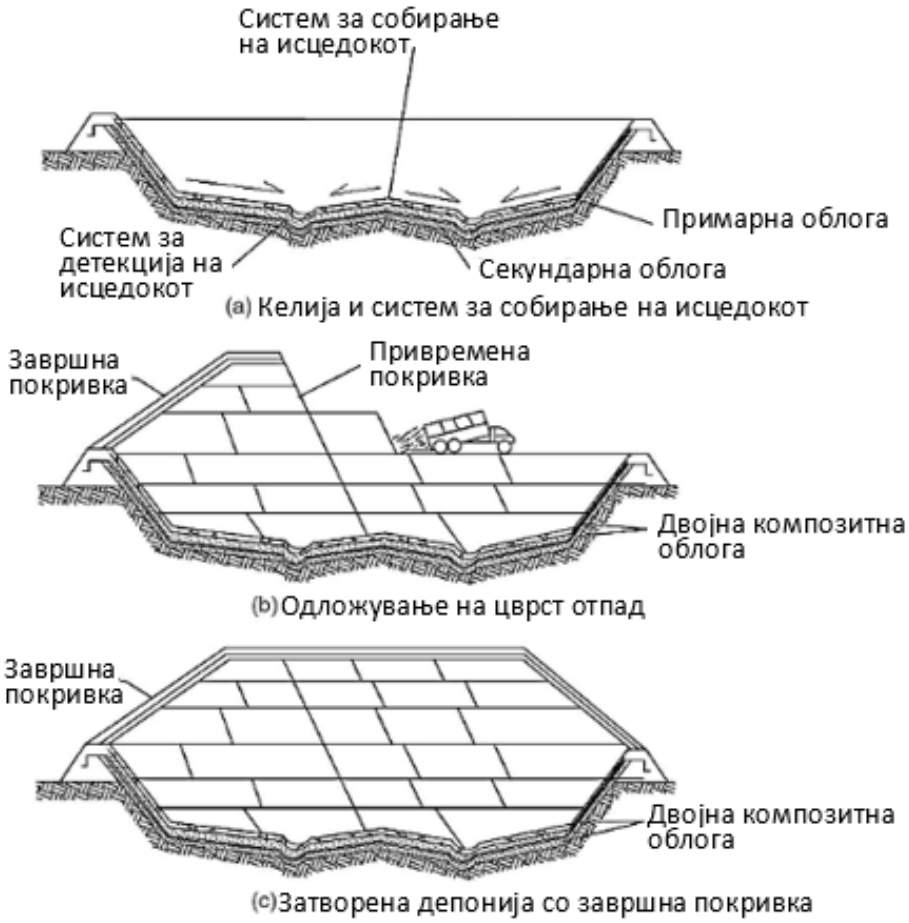
Да се има детален оперативен план е услов за непречено и безбедно работење на депонијата. Оперативниот план како приоритет претпоставува: дневни распореди, план за полнење на депонијата, потребна опрема, оперативни регистрации, наплата, контрола на сообраќајот, како и безбедноста и сигурноста.

4.1. Прифаќање на отпадот во депонијата

При пристигнувањето на возилата со отпадот, се мери нивната тежина и се врши инспекција на отпадот што се носи, дали ги исполнува критериумите на депонијата во однос на неговата содржина. Потоа, возилата продолжуваат до местото каде што отпадот се одложува. По неговото одложување, булдожери и специјални возила го простираат и набиваат отпадот на површината на ќелијата. Пред напуштањето на депонијата, возилата поминуваат низ перални каде што се перат тркалата и повторно се мери нивната тежина за да се искалкулира тонажата на одложениот отпад. Дополнително, може да се инсталираат шински колички што би го носеле отпадот до местото на одлагање, со што би се одбегнале проблемите со пристапот на возилата и би се овозможило депонијата да биде ситуирана и подалеку. По секој оперативен ден, површината на ќелијата се покрива со дневна покривка поради здравствени и социјални причини, како што се: лошата миризба, болестите, глодачи и разнесувањето на сметот од ветрот и од разни животни.

4.2. Полнење на ќелиите и набивање на отпадот

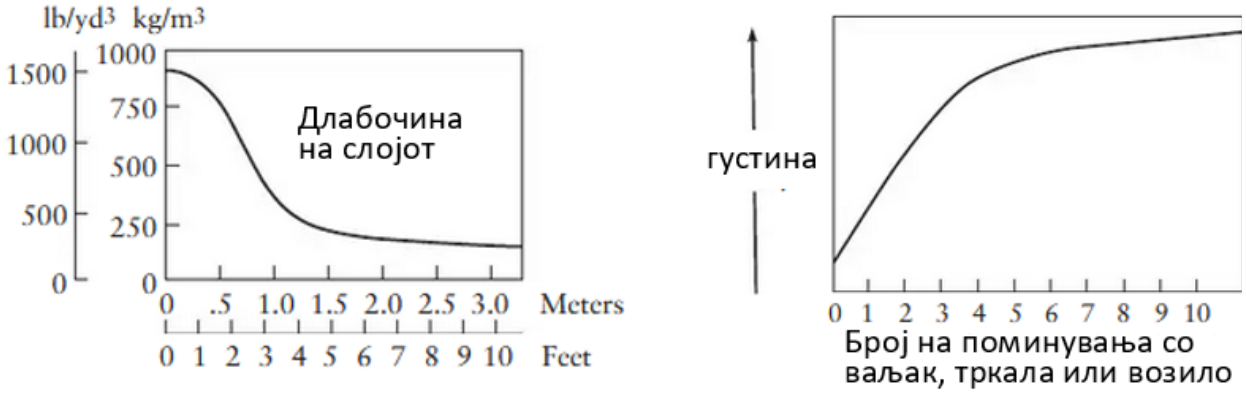
Кога депонијата е спремна да прими отпад, таа се пополнува по нивоа како на слика 4.1 и тоа почнувајќи од првото ниво над облогата и системот за собирање на исцедокот на длабочина од 20 m и подлабоко.



Слика 4.1 Конструкција на секвенците на полнење кај типична депонија

Извор *Qian et al., 2002*

Секое ниво се набива со помош на набивачи, со цел да се оптимира корисниот простор во депонијата. Типот на отпадот, неговата влажност, дебелината на нивото, како и бројот на преминувања преку нивото од страна на валци, гуми или камиони, го одредува степенот на набивањето, односно густината на нивото. На дијаграмите на слика 4.2 се дадени зависноста на густината од дебелината и бројот на премини преку нивото.



Слика 4.2 Густина на нивото во зависност од дебелината и бројот на премини

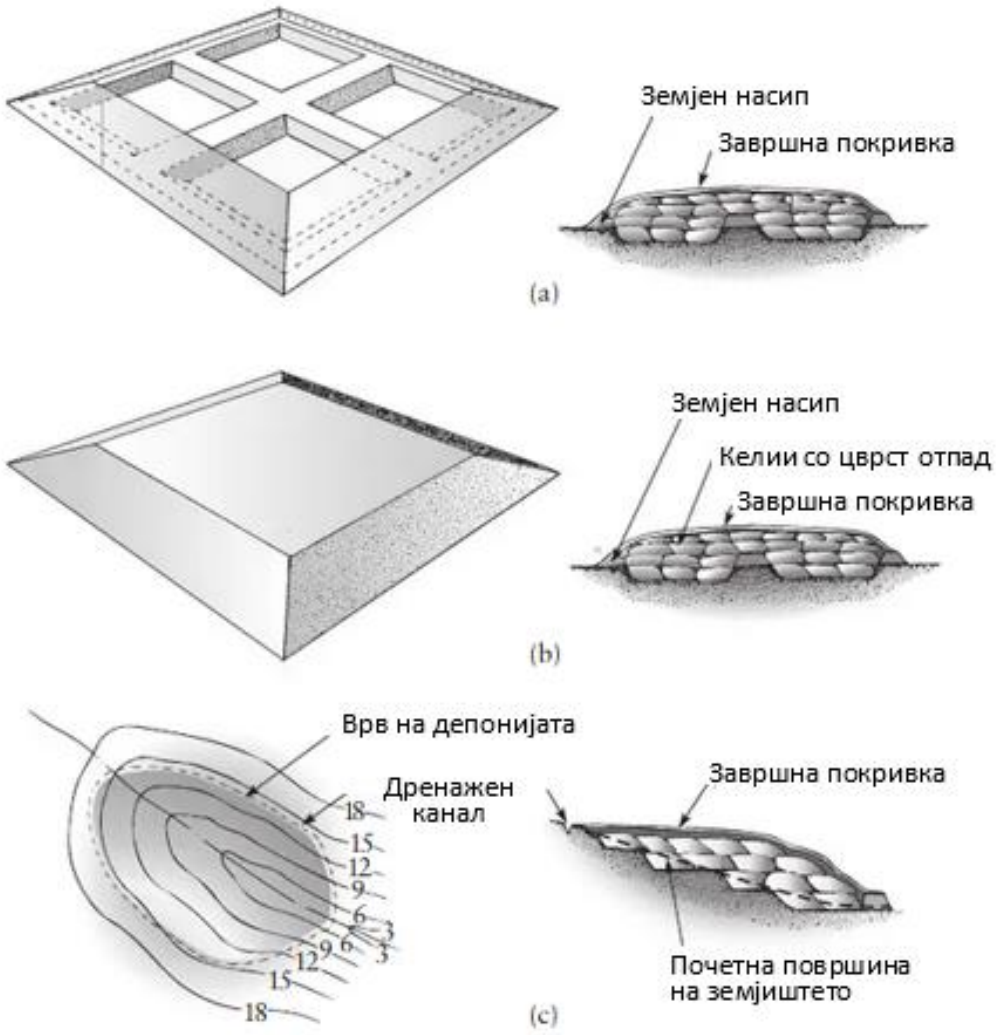
Наклоните поголеми од 1 : 3 подобро се набиваат со трактори, додека поплитките наклони со набивачи (*Vesilind et al., 2002*). На слика 4.3 е прикажан пример на одложување на отпад во депонија со помош на камион.



Слика 4.3 Пример на одложување на отпад во депонија со помош на камион

Може да се применат неколку методи на положување на отпадот во депонијата. На сликата 4.4 се прикажани три методи. Првата метода претпоставува ископување на ќелии

или ровови, втората преставува една просторна површина, а третата претставува природна кањонска конфигурација.



Слика 4.4 Пример на методи на положување на отпадот во депонија

Првото ниво на пополнување уште се нарекува оперативно ниво и кај него треба да се внимава на движењето на возилата и на составот на отпадот да не содржи остри предмети за да не ја оштетат облогата и системот за собирање на исцедокот. По првото оперативно ниво, отпадот се положува на следното ниво и тоа најчесто почнувајќи од аголот. При дизајнирањето на депонијата, потребно е да се предвиди доволен простор за да може истовремено да оперираат повеќе возила.

4.3. Операции кај биореакторска депонија

Во трудот на Шарма и Реди (*Sharma and Reddy, 2004*) се потенцира дека биореакторската депонија треба да се третира слично како еден голем биореакторски дигестор. Оперативните процедури мора да обезбедат висока ефикасност на биодеградацијата на отпадот. Од тие причини, континуираниот мониторинг е задолжителен. Дневниот оперативен план може да содржи одреден претретман на отпадот, како што се: распарчување на кесите, вреќите во коишто е сместен отпадот и управување со хранливите материи.

Распарчувањето, односно сечењето на кесите е најчеста претретманска постапка. Со тоа се овозможува отпадот и неговите биокомпоненти да се извадат од пластичните вреќи и да ја поттикнат биодеградацијата. Сепарацијата и сегрегацијата на органскиот од градежниот отпад е друга опција, со што се зголемува процентот на биоразградливата фракција во отпадот. Хранливите материи потребни за биодеградационите активности генерално се наоѓаат во самиот отпад или се додаваат преку рециркулацијата на исцедокот од самите депонии. Хранливите материи што недостасуваат може да се додадат во исцедокот или и други хемиски или биолошки додатоци што би го поттикнале биодеградациониот процес (*Sharma and Reddy, 2004*).

Тешкото набивање кај „сувите“ депонии е секогаш посакувано, но тешките набивања на отпадот кај биореакторските депонии може да резултира во намалена хидраулична кондуктивност со што негативно би се одразило врз процесот на биодеградација. Кај некои депонии ниту се набива отпадот, ниту се поставува дневна покривка. Кај нив, набивањето се случува од сопствената тежина (*Hettiarachchi et al. 2013*).

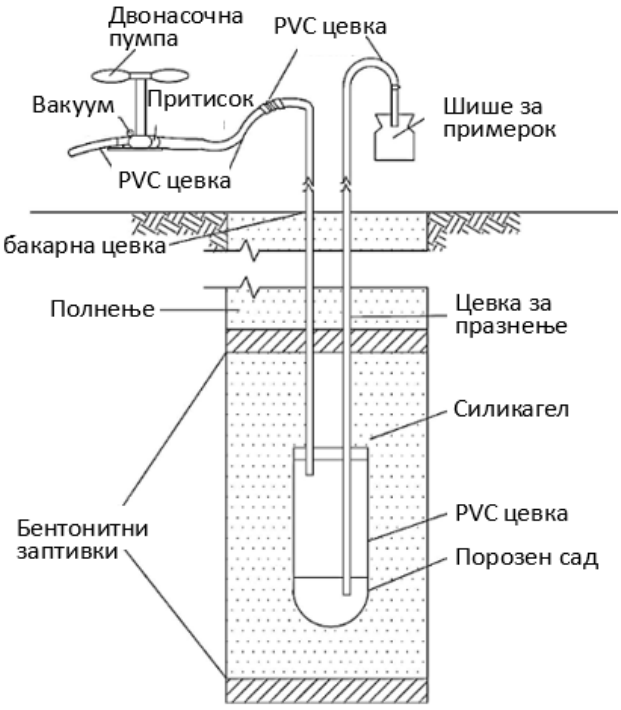
Поттикнувањето на биодеградацијата со рециркулација на исцедокот може да резултира во зголемена продукција на депониски гас, дури и за време на полнењето на ќелиите. Затоа, системот за собирање на гасот мора да биде инсталиран уште за време на активното полнење, што би претставувало предизвик од аспект на конструирањето и одржувањето на депонијата.

5. ОПЕРАТИВЕН МОНИТОРИНГ

Мониторингот е една од најважните задачи за време на изградбата, за време на работата и по затворањето на депонијата. Исцедокот, можното протекување низ облогата, квалитетот на подземните води, истекувањето на депонискиот гас и стабилноста на депонијата се меѓу најчесто мониторираните аспекти.

5.1. Детекција на протекувањето и мониторинг на исцедокот

Мониторингот на исцедокот вклучува мониторирање на нивото на исцедокот над облогата, како и неговиот квалитет и квантитет. Важно е висината на нивото на исцедокот да се следи од аспект да не дојде до негово протекување. Протекувањето обично се детектира со помош на лајсиметри инсталирани под облогата на места каде што се најголемите очекувања за протекување. Локацијата и бројот на лајсиметрите може да варираат, но потребно е повеќе од еден да бидат инсталирани (*Vesilind et al. 1988*).

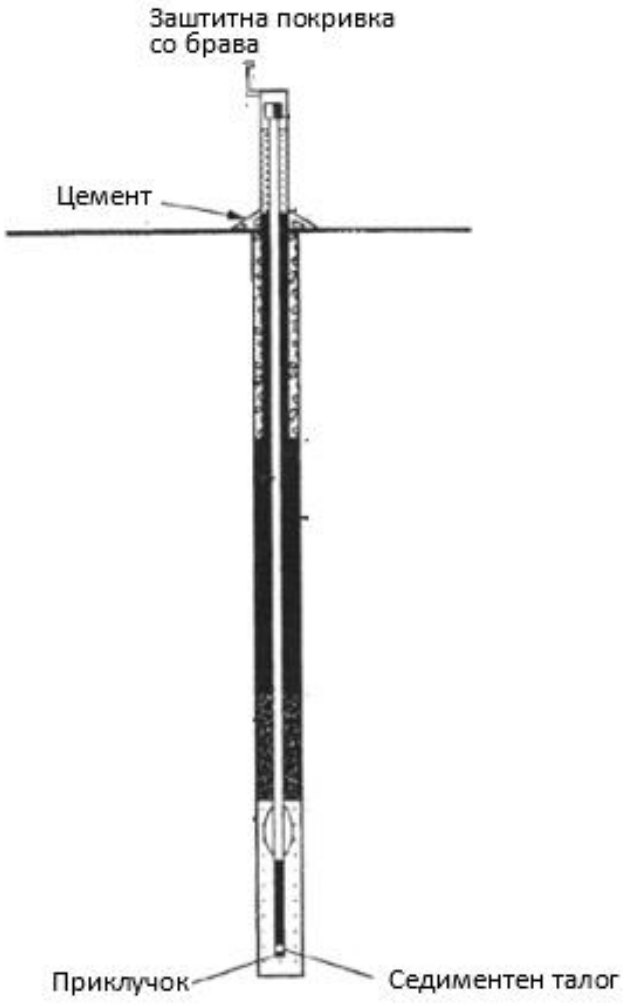


Слика 5.1 Шематски приказ на лајсиметар за собирање на примероци

Детекцијата се изведува со мониторирање на незаситената зона помеѓу подлогата и сезонското највисоко ниво на вода. Се користат два пристапа: директно и индиректно мониторирање (*Bagchi 2004*). Кај директното мониторирање се користи инструмент за собирање на примероци. На слика 5.1 е дадена шема на лајсиметар за собирање на примероци. Индиректната метода користи инструменти за детекција на протечена вода.

5.2. Мониторинг на подземните води

Мониторингот на подземните води се изведува преку земање на примероци од дупки во земјата направени за таа намена (слика 5.2).

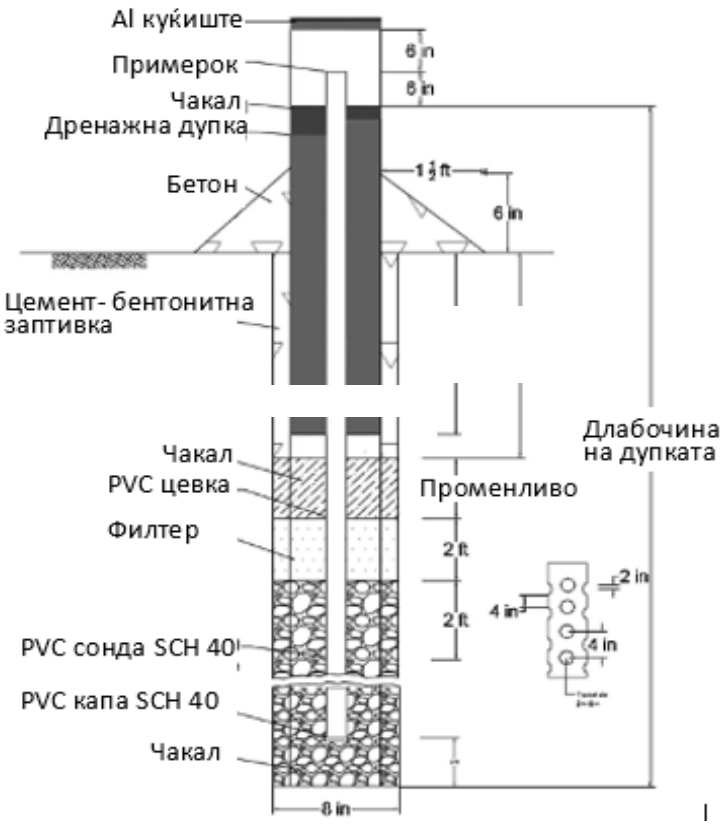


Слика 5.2 Шематски приказ на опрема за мониторинг на подземни води

Во идеален случај, потребно е да се изведат неколку дупки на различни длабочини во близина на депонијата. Дополнителни дупки се изведуваат во близина на границите на депонијата (*Vesilind et al. 2002*). Дупките за мониторинг на подземните води треба да ги покриваат и повисоките и пониските слоеви на земјиштето за да се споредат резултатите. Во случај резултатите од пониските слоеви значително да се разликуваат од тие од повисоките слоеви, тогаш е задолжителна посериозна истрага со цел да се откријат причините.

5.3.Мониторинг на подземните гасови

Потребно е квалитетот и композицијата на депонискиот гас во почвата, во депонијата и во околината, да бидат мониторирани. Сондите (слика 5.3) што се инсталирани за таа цел ја мерат концентрацијата на метанот, но и на други опасни загадувачи на воздухот.



Слика 5.3 Шематски приказ на сонда за мониторинг на гас

Се посочува дека постои голема можност од протекување на гас во почвата кога таа е замрзната и заситена со вода (*Bagchi 2004*).

5.4. Мониторинг на стабилноста на завршната покривка

Можни се големи деформации на покривката поради различни постановки, особено кога се користи синтетичка покривка. Стабилноста на глинените покривки е исто така подложна на мониторинг, особено во случај кога наклоните на отпадот се високи. Мониторингот треба да се изведува квартално или полугодишно (*Bagchi 2004*).

6. АКТИВНОСТИ ПО ЗАТВОРАЊЕ НА ДЕПОНИЈАТА

Активностите за затворање на депонијата треба да започнат во рок од 30 дена по последната достава на отпад и мора да се комплетира за најмногу 180 дена. Критичките технички прашања поврзани со затворањето со коишто ќе се соочи одговорното лице се следните:

- брзината и степенот на доведување на состојбата во ред, како и оптоварувањето на компонентите на тлото и облогата
- долготрајноста и опстојувањето на покривката
- долготрајното разградување на отпадот и управување со исцедокот и депонискиот гас
- ефикасно еколошко адаптирање на облогата и покривката.

Грижата по затворањето на депонијата се фокусира на функционирањето и одржувањето на четири система:

- покривката
- системот за собирање на исцедокот
- системот за мониторинг на подземните води
- системот за мониторинг на депонискиот гас.

Одговорните лица треба да се во склад со овие еколошки барања во наредните 30 години.

Повеќе техники за санација се користат за пренамена на депонијата. Во наједноставен случај, отпадот може да се зароби на место со 30 cm глина и 30-40 cm земја. Во посложен случај можно е заградување на местото и инсталирање на внатрешен систем за собирање на исцедокот, со цел да не протече во надворешноста. Степенот на зафаќање и собирање на исцедокот зависи од системот за зафаќање, количината на исцедокот и геологијата на земјиштето.

Може да заклучиме дека модерните депонии се капацитети што се конструирани, дизајнирани, оперирани и мониторирани согласно позитивните законски регулативи. Во литературата се среќаваат три типа депонии. Најмногу употребуван тип е т.н. „сува“ депонија. Биореакторската депонија станува повеќе еколошки оправдана варијанта во однос на „сувата“ депонија. Одржливата депонија во последно време станува поинтересна опција, затоа што овозможува откопување и повторно полнење.

Денес на депониите треба да се гледа како на одржлив и богат извор на материјали и енергија.

Управување со комуналниот цврст отпад и обновување на енергијата

Со растот на светската популација и прогресивниот раст на животниот стандард расте и потрошувачката на храна и енергија заедно со проширувањето на употребата на корисното земјиште, уништувањето на шумите, зголемувањето на земјоделските практики, индустријализацијата, како и користењето на енергија добиена од фосилни извори. Сите овие придонесуваат за зголемување на концентрацијата на стакленичките гасови во атмосферата.

Комуналниот цврст отпад е само манифестација на неконтролираната потрошувачка на природните ресурси од човекот, што води кон континуирано трошење на природниот капитал и деградација на животната средина.

Денешниот генериран комунален цврст отпад на светско ниво изнесува приближно 1,3 милијарди тони/год. и до 2025 се очекува да порасне приближно на 2,2 тони/год. Тоа укажува на зголемување на производството на отпад по глава на жител од 1,2 на 1,42 кг/гл,

жит. дневно во наредните 15 години (2018-2033). Но, тоа се проценитe за глобалниот просек иако тој се разликува по региони, држави, дури и во самите градови.

На глобалната скала е забележано дека 70 % од комуналниот цврст отпад се депонира, 19 % се рециклира, а само 11 % се користи за добивање енергија. Добивањето енергија од комуналниот цврст отпад е со цел да се намали употребата на енергија добиена од фосилни извори, поради ограниченоста на површините за депонии и ефикасно да се управува со отпадот и емисијата на стакленѝчки гасови (*U. Nowling, 2016; A. Trindade et al., 2018*).

Традиционално, досега добивањето енергија од отпад се поврзувало со согорувањето на отпадот. Денес, добивањето енергија од отпад опфаќа повеќе третмани што генерираат енергија (електрична или топлинска), како што се: пиролизата, гасификацијата, анаеробната дигестија и депонискиот гас.

6.1. Општи аспекти за комуналниот цврст отпад

Комуналниот цврст отпад, што исто така се нарекува уште и смет или ѓубре, се состои од повеќе ставки што се исфрлаат по употребата, како што се: остатоци од храна, пакувања, тревни делови, мебел, алишта, шишиња, весници, уреди, бои и батерии. Градежниот, индустрискиот и опасниот отпад не се сметаат за комунален цврст отпад.

Во последните декади се забележува дека постои зголемен притисок врз земјите во развој за да се намали количината на отпад што се исфрла по првата употреба. Целата е да се зачуваат природните ресурси, вклучувајќи ја и енергијата потребна за производство на тие материјали и да се намали количината на отпад што се одложува во депониите. Филозофијата на управувањето со отпадот се стреми кон повторна употреба на материјалите и енергијата што се содржи во нив, кога не е можно истата да се употреби и рециклира преку биохемиски и термохемиски технолошки процес.

Кај повеќето процеси што го трансформираат отпадот во енергија им претходи претретман на комуналниот цврст отпад. Карактеристиките на сировите материи во отпадот зависат од повеќе фактори, како што се: методот на складирање (влијае врз влажноста на материите), староста на отпадот, политиката на класификација (варира од

земја до земја) итн. Успешната конверзија на отпадот во енергија зависи од ефикасноста на процесот, а во исто време процесот зависи од квалитетот на отпадот. Во табела 6.1 е прикажан просечниот состав, композицијата на комуналниот цврст отпад.

Табела 6.1. Просечниот состав на комуналниот цврст отпад

Компонента	Фракција [%]
Органска материја	46
Метал	4
Пластика	10
Хартија	17
Останато	18

Обновувањето на енергија од отпад преку продукција на отпадно (*RDF*) гориво, треба да се регулира законски и да биде интерес на одговорните кои се занимаваат со управување на отпадот (*A. C. Caputo, P. M. Pelagagge, 2002*). Отпадното (*RDF*) гориво е продукт од комуналниот цврст отпад, преку издвојување на согорливите од несогорливите материи, со што се обезбедува повисока ефикасност во обновата на енергијата. Предностите на отпадното (*RDF*) гориво во однос на комуналниот цврст отпад се повисоката енергетска вредност, похомоген хемиски состав, поедноставен е за ракување и складирање и има помалку јаглеродни емисии.

Во табела 6.2 е дадена композицијата и енергетската вредност на комуналниот цврст отпад и отпадното (*RDF*) гориво, преземено од податоците на други автори (*Phyllis, 2011*).

Табела 6.2. Композиција и енергетска вредност на комуналниот цврст отпад и отпадното (*RDF*) гориво

		КЦО	RDF
Содржина на вода	wt% wet	34.2 [31.0–38.5]	10.8 [2.9–38.7]
Испарливи материи	wt% daf	87.1 [87.1]	88.5 [74.6–99.4]
Пепел	wt% dry	33.4 [16.6–44.2]	15.8 [7.8–34.5]
Нето енергетска вредност	MJ/kg daf	18.7 [12.1–22.5]	22.6 [1.1–29.3]
C	wt% daf	49.5 [33.9–56.8]	54.6 [42.5–68.7]
H	wt% daf	5.60 [1.72–8.46]	8.37 [5.84–15.16]
O	wt% daf	32.4 [22.4–38.5]	34.4 [15.8–43.7]
N	wt% daf	1.33 [0.70–1.95]	0.91 [0.22–2.37]
S	wt% daf	0.51 [0.22–1.40]	0.41 [0.01–1.27]

Директната употреба на КЦО во процесите за обновување на енергијата може да доведе до нестабилно работење, односно до флуктуација на квалитетот на крајниот производ. Тоа е последица од хетерогеноста на материјалот во однос на големината, обликот и композицијата. Тоа е причината зошто е потребно прво да се добие горивото од отпадот, за потоа да се користи во енергетскиот генераторски систем (*A. Klein, 2002*). За технологиите за гасификација и пиролиза, претретманот е основно барање, додека за плазма гасификацијата и инцинерацијата тоа не е случај.

Со цел да се подобри ракувањето и хомогеноста на материјалот, процесот на конверзија на КЦО во (*RDF*) гориво се состои од повеќе чекори: мелење, просејување, селекција, сушење и пелетирање. Најевтин и најдобар начин на производство на (*RDF*) гориво од КЦО е механичкиот претретман, но може да се користат и други постапки (*Sever Akdağ A et al, 2016*).

6.2. Технологии за конверзија на енергијата

Карактеристиките на отпадот се важни при изборот на технологија за добивање на енергија. Од друга страна, пак, ефикасноста на обновувањето на енергијата зависи од варијабли како што се: технологијата и квалитетот на отпадот. Оптимизираната постапка

за претретман на отпадот може да обнови два до трипати повеќе електрична енергија и топлина од традиционалната постапка за третман на сиров отпад (*Massarutto A., 2014*).

Постои широк опсег на технологии, биохемиска или термохемиска, за конверзија на енергија од цврст отпад (електрична или топлинска). Можат да се произведат горива како водород, природен гас, синтетички дизел или етанол (*Valkenburg C., et al., 2008; Karajgi SB., et al., 2012*).

Биохемиската постапка укажува на анаеробна дигестија, што претставува контролирана декомпозиција на органската материја со помош на микроорганизми. Биохемиските процеси се користат при третман на отпадот со високо процентуално учество на биоразградливи органски материи и содржина на влажност. При тој процес се добива метан, како гориво за генерирање на електрична енергија, пареа и топлина.

Есен од недостатоците на биохемиската постапка е пред процесирањето на комуналниот цврст отпад. Биохемиската конверзија на отпадот може да се групира во четири категории: анаеробна дигестија или ферментација, аеробна дигестија, компостирање и добивање на депониски гас. Овие технологии се економски и еколошки најоправдани за добивање на енергија од комунален цврст отпад (*Ofori-Boateng C. et al., 2013*).

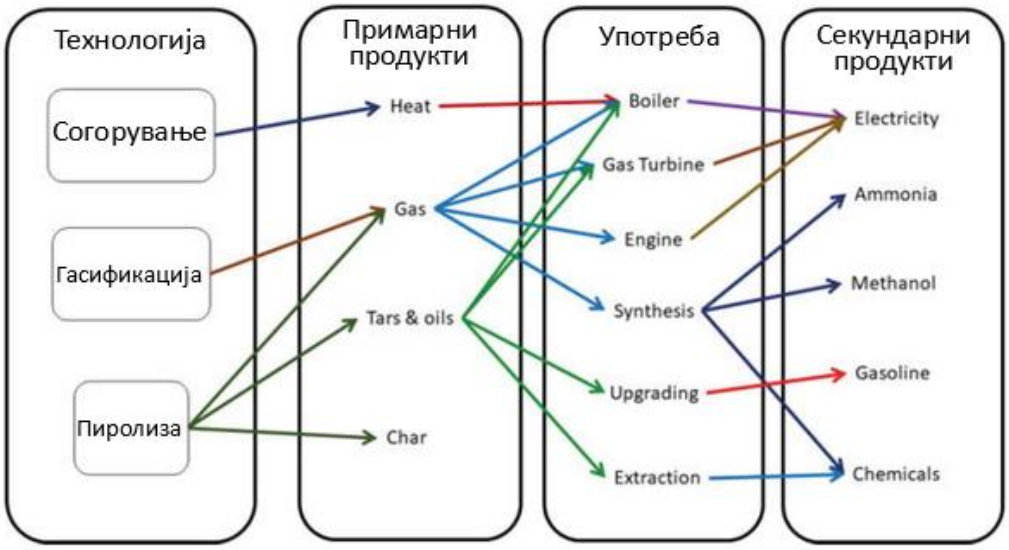
Во термохемиската конверзија и биоразградливите и неразградливите материи придонесуваат за добиената енергија. Инцинерацијата, гасификацијата и пиролизата се видови на термохемиски процеси што се фундаментални и неопходни компоненти на сеопфатното и интегрално управување со комуналниот цврст отпад (*Mavrotas G. et al., 2013*).

Главните предности на термохемиските процеси се намалувањето на масата и волуменот на отпадот, како и намалувањето на просторот што го зафаќа депонијата, уништувањето на органските загадувачи, односно халогените хидрокарбонати и намалувањето на емисијата на стаклени гасови поради анаеробната декомпозиција. Можеме да кажеме дека употребата на отпадот како извор на енергија помалку влијае негативно на животната средина отколку конвенционалните извори на енергија.

Со согорувањето можеме да ја обновиме енергетската вредност на отпадот додека со гасификацијата и пиролизата се обновува хемиската вредност на отпадот. Добиените

хемиски продукти, во некои случаи, можат да се искористат како секундарно гориво во други процеси.

Со конверзијата на КЦО во гориво се добива повисока калорична вредност заедно со похомоген физички и хемиски состав, пониско ниво на загадувачи и пепел, помал волумен за согорување и помали услови за складирање, ракување и транспорт. Затоа, се препорачува да се воспостави баланс помеѓу зголемените трошоци за производство и потенцијално намалените трошоци поврзани со дизајнирањето и ракувањето со системот. На сликата 6.1 се прикажани термохемиските процеси на конверзија и обновените продукти.



Слика 6.1 Термохемиски процеси на конверзија и обновените продукти

6.3. Термохемиски процеси

6.3.1. Согорување

Согорувањето на отпадот е специфичен третман, со којшто се намалува волуменот и нивото на опасност, селектирајќи или уништувајќи ги потенцијалните штетни супстанци. Процесот на согорување исто така нуди можност за обновување на енергијата.

Во последните декади, повеќето индустријализирани земји со голема популација го имаат воведено согорувањето како алтернативна процедура за контрола на депонирањето и третманот со отпадот.

Според Бабкок и Велунд (*Babcock & Willcox Vølund, 2012*), се спроведуваат два начина на термички третман на отпадот и тоа: согорување во флуидизиран слој и согорување на решетка. Уште една технолошка алтернативна постапка се користи при третманот на опасниот отпад, а тоа е ротирачка печка во комбинација со направи за гасификација и пиролиза (*Leckner B., 2014*).

Согорувањето на решетка, познато и како масивно согорување, е најкористена постапка којашто може да се справи и со отпади со големи димензии, додека кај согорувањето во флуидизар слој е потребно прво да се исечка отпадот на помали парчиња пред да се внесе во комората за согорување (*Babcock & Willcox Vølund, 2012*).

Енергетската вредност на отпадот што треба да биде инцинериран и загадувачкиот потенцијал на создадените емисии се главните причини за развој на системите за согорување, односно да се добие повисока ефикасност на согорувањето и поефикасно отстранување на контаминантите.

Поради хетерогеноста на отпадот се забележува разлика во споредба со енергетските постројки што користат фосилно гориво. Имено, кај постројките што користат јаглен како гориво, коефициентот на ефикасноста изнесува околу 40 %, додека кај постројките што согоруваат отпад, коефициентот на ефикасноста варира помеѓу 20 - 25 % и 25 – 30 % во зависност дали се употребува кај когенеративна постројка или за производство само на електрична енергија (*Di Maria F. et al., 2016; Meratizaman M. et al., 2010; Lombardi L. et al., 2015*). Во суштина, квалитетот на отпадот како гориво и останатите технички услови ја ограничуваат ефикасноста на инцинераторот. Од тука следува дека 70 – 80 % од топлината добиена со согорување на отпадот се ослободува во околината.

Ефикасноста на конверзијата на пареата во електрична енергија се зголемува со зголемувањето на температурата на пареата и притисокот. Но, кога се зголемува температурата на пареата, на површината на топлинскиот изменувач се случува високотемпературна корозија, предизвикана од металните хлориди во пепелот и

концентрацијата на хлорини и сулфур во отпадот. Повеќето хлорини се наоѓаат во пластиката, додека флуорините се присутни во политетрафлуоретилен (*PTEF*), заедно со останатите неоргански соединенија. Корозијата ги ограничува својствата на пареата добиена со согорување на отпадот на температури од 450 до 500 °C и притисок од 4,0 до 6,0 MPa, додека кај постројките што користат јаглен може да се постигне температура до 600 °C (*Meratizaman M. et al., 2010; Branchini L 2012*).

Хлороводородната киселина е висококорозивна материја на температури повисоки од 450 °C и под 110 °C. Површините на деловите се заштитуваат со огноотпорни материјали и се заваруваат со легури со цел да се спречи корозијата во котелот. Пред да биде пуштена во котелот, потребно е водата да се предгрее на температура од 125 °C за да се избегне нискотемпературната корозија (*Branchini L 2012*). Освен корозијата и ерозијата е уште еден негативен аспект поврзан со постројките за конверзија на отпадот во енергија. Особено е изразена преку абразијата на површината на материјалите, предизвикана од присуството на мали парчиња од пепел во гасот.

Полутантите испуштени со издувните гасови влијаат на ефикасноста на котелот. Во постројките за согорување, ефикасноста зависи од топлинските загуби преку издувните гасови и корозијата, што значи дека температурата на издувните гасови не смее значително да се менува. Од тие причини, максималната ефикасност на котелот приближно изнесува 87 % (*Wood S. et al., 2013*).

Со согорувањето на комуналниот цврст отпад се испуштаат стаклени гасови во атмосферата како што се: јаглерод диоксид (CO_2), метан (CH_4), азотен оксид (N_2O), хидрофлуорокарбони (*HFCs*), полифлуорокарбони (*PFCs*) и сулфурхексафлуорид (*SF*). Ако печката за согорување се одржува на висококсидациона состојба, тогаш метанот согорува целосно во CO_2 и H_2O и не се емитира во воздухот.

Полутантите што се емитираат при согорувањето го спречуваат подобрувањето на ефикасноста на постројките за добивање на енергија од отпад, но новите технологии што се развиваат во оваа област се проектираат да ја подобрат севкупната ефикасност на постројката. Некои од факторите што ја подобруваат ефикасноста вклучуваат елиминација на диоксинот, подобрени перформанси со подвижни решетки, употреба на метални легури

и високи перформанси на системот за прочистување на издувните гасови (*Porteous A. 2001*).

Според податоците на Еуростат (*Eurostat*) за 2014 година во Европската Унија, 16,1 % од КЦО бил компостиран (прикажан е како биолошки третман), 27,3 % бил согорен (целосна согорување вклучувајќи ја конверзијата во енергија), 28,2 % бил рециклиран и 28,4 % одложен во депонија (*Cucchiella F. et al., 2017*).

Според расположливите податоци, Јапонија има 1172 инцинератори за третман на 80 % од КЦО од кои 71 % генерираат енергија со моќност од 1770 MW (*Lino F, Ismail K. 2017*). Во САД има 77 постројки за добивање на енергија од отпад од кои, 78 % (60 постројки) работат со директно согорување на отпадот, 17 % (13 постројки) користат (*RDF*) гориво и 4 % (4 постројки) користат модуларно согорување. Од нив, 77 % произведуваат електрична енергија, 4 % пареа и 19 % когенеративно производство на топлина и електрична енергија (*Cucchiella F. et al., 2017*).

6.3.2. Гасификација

Гасификацијата е термичка конверзија на јаглеродни материјали во мешавина од согорливи гасови наречена сингас (*syngas*). При процесот на гасификација, цврстите материјали како јаглен, кокс, биомаса и цврст отпад се претвораат во гас со просечен состав од 15 до 30 % CO, 12 – 40 % H и 4,5 – 9 % CH_4. При поминувањето на биомасата низ реакторот за гасификација, односно гасификаторот, во зависност од неговата конструкција и составот на отпадот, може да се случат следните хемиски, физички и термички процеси: сушење, согорување, пиролиза и гасификација. Сушењето на биомасата настанува на температура до 110 °C, и под дејство на топлината доаѓа до испарување на водата содржана во биомасата. Со понатамошното загревање, на температура од околу 250 °C, настанува процес на пиролиза, кога започнува ослободување на гасовите, претежно јаглеводороди и јаглеродни оксиди. Овие гасови делумно согоруваат на високи температури за време на секундарните реакции, додека остатокот што се создава при процесот на пиролиза (коксен остаток), во понатамошниот процес на непотполно согорување се претвора во гасна фаза (*Miroslav Babic, 2007*). Долната топлинска вредност

на сингасот се движи помеѓу 4 и 13 MJ/Nm^3, во зависност од оксидациониот агенс употребен во процесот на гасификацијата и техничките услови, меѓу другите фактори (*Násner A. et al., 2017*). Може да се добијат различни хемиски производи од сингасот за различна индустриска намена. Од сингасот може да се произведе електрична енергија, топлина, како и биогориво. Температурата е една од најважните параметри што влијаат на перформансите на процесот, поради балансот помеѓу ендотермните и егзотермните процеси што се одвиваат при гасификацијата.

Споредувајќи ги различните термохемиски процеси на конверзија, се потврдува дека гасификацијата е најдобар избор во однос на добиената енергија и заштитата на животната средина. Еден од предизвиците со коишто се соочува гасификацијата на комуналниот цврст отпад е различната големина, различната влажност и различната енергетска вредност на отпадот (*Panepinto D, et al., 2015*).

Гасификацијата на комуналниот цврст отпад е ефективна техника за редуцирање на количината на отпад и е релативно побрза постапка во споредба со останатите конвенционални процеси (повеќе отпад може да се третира за пократко време). При овој процес, емисиите на диоксин и фуран се во дозволените граници, согласно националните и меѓународните агенции (*Thakare S, Nandi S. 2016*). Иако процесот на гасификација е познат повеќе од 200 години, нејзината употреба за третман на комуналниот цврст отпад е сè уште во рана фаза.

Плазма гасификацијата е погодна технологија за третман на КЦО при што се користат специфични алотермални гасификатори. Енергијата потребна за одвивање на ендотермните реакции во процесот на гасификација се обезбедува од електрично генерираната термална плазма (*Mazzoni L, et al., 2017*). Температурата на факелот од плазма варира помеѓу 2700 и 4500 °C, што е доволно да се разбијат комплексните јаглехидрати во сингасот, а останатите неоргански соединенија (стакло, метали и тешки метали) се топат во вулкански тип на лава и стануваат како базалтска згура по оладувањето. Предноста на оваа постапка е во тоа што сингасот се добива на високи температури со што се обезбедува уништување на диоксините и фураните.

Согласно податоците во табела 6.3, може да заклучиме дека гасификацијата е најприфатлива метода во однос на останатите технологии за третман на отпадот, поради

високата ефикасност во генерирањето на електрична енергија при ниски инвестициони трошоци.

Табела 6.3. Споредба меѓу различни технологии за термички третман на КЦО

Параметри	Инцинерација	Пиролиза	Плазма гасификација	Конвенционална гасификација
Капацитет (t/day)	250	250	250	250
Коефиц. на конверз.(MWh/t)	0,5	0,3	0,4	0,9
Енергетски капацитет	160	180	108	224
Трошоци/kWh	435	222	1000	125
Трошоци US$/ ton/day	500	160	960	112

Извор *Wilson B, et al., 2013*

6.3.3. Пиролиза

Пиролизата претставува термичка деградација на органска материја, во атмосфера со намалена концентрација на кислород, на температура од 400 до 900 °C, при што се добива гас, течност и цврста материја. Приносот и композицијата на производите добиени при пиролизата зависат од рангот на параметрите, вклучувајќи го типот на отпадот, реакторскиот систем, времето на престој на гасот, контактното време, степенот на загревање, температурата, притисокот и присутноста на катализатори (*Velghe I. et al., 2011*). Во зависност од оперативните услови, пиролизата може да се класифицира главно на три категории: бавна, брза и блиц пиролиза.

Пиролизата се смета за перспективна технологија за третман на комуналниот цврст отпад и за добивање на енергија и денес се користи во многу региони во светот. Целта на пиролизата е да се третира отпадот, да се редуцира волуменот и намалат опасностите, уништувајќи ги потенцијално штетните супстанци. Енергијата што се добива од отпадот

при процесот на пиролиза, може да биде во форма на топлина, пареа, електрична енергија или гориво (масло, јаглен и гас).

Постојат неколку типови пиролитички реактори за третман на КЦО што се употребуваат во различни земји, од коишто највообичаени се тие со фиксен слој, флуидизиран слој и реактори со ротирачки печки. Опремите за реакторите со фиксен слој лесно се управуваат и контролираат, но покажуваат недостатоци како неуедначено загревање и неконтинуирано работење. Реакторите со флуидизиран слој работат континуирано и имаат одредени предности како што се високата ефикасност во преносот на топлината и можноста за контролирање на температурата, но добиениот пиролитички гас покажува ниска калорична вредност. Реакторите со ротирачка печка имаат добро внатрешно загревање и добра адаптибилност кон отпадот, но се јавуваат тешкотии во запечатувањето на спојките (*Wu D. et al., 2017*).

6.4. Биохемиски процеси

6.4.1. Анаеробна дигестија

Анаеробната дигестија се состои од повеќе процеси во коишто микроорганизмите ја консумираат органската материја присутна во отпадот, во отсуство на кислород. Овој процес се случува во природата во некои почви и слоеви на дното од реките, езерата, океаните и мочуриштата, каде што кислородот не може да пенетрира. Во такви услови доаѓа до разградување на биомасата, создавајќи метан.

Има неколку хемиски реакции поврзани со процесот на конверзија коишто се хемиски балансирани. Иако некои автори го класифицираат процесот на анаеробна дигестија во две или три фази, попрецизно е ако се претстави во четири фази, како што е претставен во табела 6.4.

Табела 6.4. Фази на анаеробната дигестија

Фаза	Опис
Хидролиза	Големитеорганski молекули се цепат во стандардни молекули како: шеќер, амино киселини и масни киселини со хидроксилна група. Овој процес се завршува со помош на хидролитичките бактерии.
Ацидогенеза	Шеќерите, мастите и амино киселините се претвараат во помали молекули со формации од испарливи масни киселини и амонијак, CO_2 и H_2S како субпродукти.
Ацетогенеза	Молекулите создадени при ацидогенезата со понатамошната дигестија се претвараат во јаглерод диоксид, водород и оцетна киселина.
Метаногенеза	Се формира метан, јаглерод диоксид и вода

Главните параметри што влијаат на анаеробната дигестија се: pH-вредноста, температурата, составот на супстратот, парцијалниот притисок на водородот и C/N односот.

pH-вредност: Метаногените бактерии се чувствителни на кисела средина и секое зголемување на pH-вредноста ќе го запре нивното растење. Низ различните фази од процесот, поради генерирањето на масните киселини, CO_2 и бикарбонатите, pH-вредноста варира. Корекцијата на pH-вредноста се врши со додавање на базни соединенија ($CaCO_3$, NaOH). Оптималната pH-вредност се движи помеѓу 6,6 и 7,4.

Температура: Температурата има големо влијание на растот на микробите и затоа контролата на температурата игра значајна улога во оптималниот раст и развој на микроорганизмите и врз перформансите на анаеробната дигестија. Од температурата не зависи само каков тип на процес на анаеробна дигестија ќе имаме, туку зависи и количината на произведениот биогас, должина на траење на процесот на дигестија и степенот на разградување на органската материја. Имајќи ја предвид температурата, разликуваме три типа процеси на анаеробна дигестија: психрофилен процес, мезофилен процес и термофилен процес. Кај психрофилниот процес, температурата се движи од 10 до 20 °C, а техничкото време на процесот со разградена 90 % од органската материја изнесува

90 дена. Кај мезофилниот процес, карактеристичната температура на одвивање на процесот се движи од 20 до 40 °C, а техничкото време на дигестијата со разградена 90 % од органската материја изнесува 30 дена. Температурните услови кај овој процес им овозможуваат на бактериите да бидат потолерантни на промените на средината, со што се создаваат поотпорни микроорганизми, но со помала продукција на биогас. Овие услови овозможуваат да се користат поедноставни реактори со помалку сложен контролен систем и помали капитални трошоци. Кај термофилниот процес, температурата се движи од 50 до 60 °C, а техничкото време на дигестијата со разградена 90 % од органската материја изнесува 10 дена. На температури под 3 °C, не се активни бактериите, ниту можноста за остварување на процесот на анаеробна дигестија (*Miroslav Babic, 2007*). При овој процес се создава поголема количина на биогас, микроорганизмите се помалку толерантни на промените на надворешните услови, со што може да се компромитира процесот. Исто така се потребни посложени реактори и системи за контрола и консеквентно поголеми капитални инвестиции.

Состав на супстратот: Зголемената содржина на органска материја може да доведе до зголемена продукција на киселини, а тие, од друга страна, да дејствуваат како инхибитори во процесот на дигестија со што би имало помал принос на биогас.

Парцијален притисок на водородот: Зголемениот притисок би предизвикал колапс на системот, поради акумулацијата на киселини.

C/N однос: Во процесите на анаеробна дигестија, јаглеродот кореспондира како извор на енергија, а азотот го овозможува растот на микроорганизмите. Оптималниот C/N однос варира помеѓу 20 и 30. Високите вредности на C/N односот може да предизвикаат брза потрошувачка на азотот со што би се ограничил растот на микроорганизмите и би се намалила продукцијата на биогасот. Нискиот C/N однос би придонесол за акумулација на амонијак, што би влијаело на pH-вредноста.

Анаеробната дигестија ја зголемува вредноста на комуналниот цврст отпад, создавајќи севкупно позитивно влијание врз животната средина поврзано со избегнување на природното разградување на отпадот во депониите, вклучително и овозможувајќи замена на фосилните материјали.

Процесот на анаеробната дигестија е можно да се контролира во т.н. биодигестори.

Депониският гас се создава кога органска материја се разградува анаеробично во депониите. Иако депониският гас се создава и под аеробични и анаеробични услови, почетната аеробична фаза е со краток век и продуцираниот гас е со пониска енергетска вредност во однос на гасот што се создава во подолг рок после тоа, при анаеробични услови.

6.4.2. Видови биодигестори

До денес се утврдени и се во употреба неколку комерцијални технологии за биодигестија, како што се: *Dranco, Valorga, Kompoga, BTA, и Linde-BRV* системите. Овие технологии нашироко се користат во Европа и има 118 постројки со капацитет за комбиниран третман на 5,12 милиони тони комунален цврст отпад на годишно ниво. Малите биодигестори се со капацитет до 7500 тони годишно, со моќност од 25–250 kW за производство на електрична енергија и може да се користат за индивидуални објекти и земјоделски фарми. Средните биодигестори се со капацитет од 7500-30 000 тони отпад на годишно ниво, со моќност од 250 kW до 1 MW и исто така може да се користат во земјоделството. Големите биодигестори се со капацитет над 30.000 тони, со моќност од над 1 MW.

6.5. Биохемиски процеси

Инвестициските трошоци зависат од сложеноста на технологијата, како и тоа дали се предвидуваат помошни постапки како: претретман, прочистување на гасот итн. Во табела 6.5 се дадени проценетите трошоци за различни видови технологии за третман на отпадот.

Табела 6.5. Проценка на трошоците за различни видови на технологии за третман на отпадот

Технологија за третман на КЦО	Капитални инвестиции US$/тон КЦО/година	Оперативни трошоци US$/тон КЦО/година
Инцинерација	400–700	40–70
Пиролиза	400–700	50–80
Гасификација	250–850	45–85
Анаеробна дигестија	50–350	5–35
Депонии со гас	10–30	1–3

Имајќи ги предвид трошоците поврзани со одложувањето на комуналниот цврст отпад, биохемиската постапка покажува значително пониски трошоци во однос на термохемиската постапка. Постројките што се користат во биохемиската постапка се со поедноставна конструкција.

Денес станува многу евидентно дека човештвото се соочува со сериозни тешкотии поврзани со одложувањето на отпадот, но и со опасноста самото да биде жртва. Од причини што отпадот не може да биде пренебрегнат, потребен е систематски пристап за да се надмине проблемот. Истовремено, воспоставувањето на ефективна стратегија за управување и третман на комуналниот цврст отпад претставува еден од најголемите предизвици на модерните општества. Од друга страна, оваа стратегија треба, секогаш кога е можно, да ги има предвид економските и еколошките аспекти. Алтернативите за ублажување на глобалното затоплување вклучуваат зафаќање на депонискиот гас како една важна стратегија во управувањето со отпадот.

Денес постојат различни технолошки постапки за третман на комуналниот цврст отпад, коишто можат да го трансформираат овој предизвик или проблем во извор на чиста енергија и корисни рециклирани материјали. Истовремено, штетното влијание на отпадот врз животната средина би можело да се намали, а да биде во корист на човековото здравје и природните ресурси.

7. ПРЕТОВАРНИ СТАНИЦИ КАКО ДЕЛ ОД СИСТЕМОТ ЗА СОБИРАЊЕ НА ОТПАД

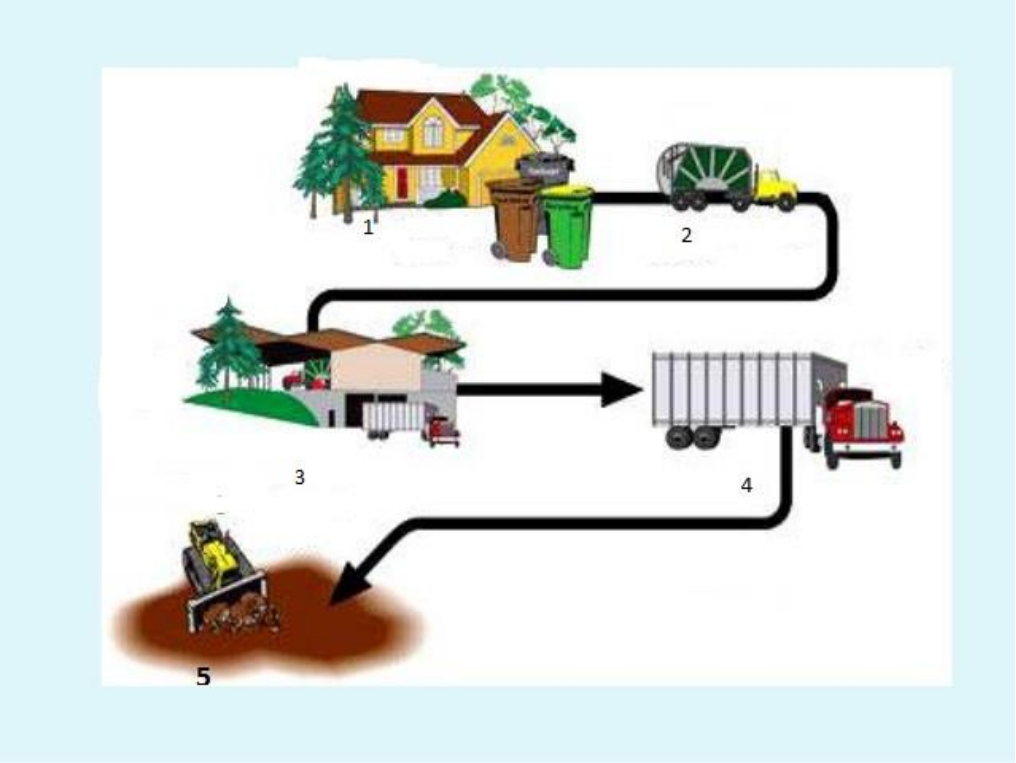
Претоварните станици се места за привремено складирање, припрема и претовар на отпад назначен за транспорт во регионален центар за управување со отпадот. Поаѓајќи од концептот на управување со отпадот, што е како идна идеја за справување со отпадот во Р. С. Македонија, а е во склад со ЕУ-нормативите, текот на отпадот вклучува и негово проаѓање низ претоварна станица. Претоварната станица е место на коешто комуналниот отпад се истоварува од возилата за собирање отпад, се прегледува со евентуално издвојување на крупен отпад, кратко се задржува, се утоварува во поголеми возила и се транспортира на понатамошен третман во регионален центар. Пожелно е претоварот да се врши директно од возилата за собирање во возилата за транспорт, со што се овозможува потполна заштита на животната средина. Транспорт на отпадот со возила со поголем капацитет евидентно ги намалува трошоците на транспорт на поголема далечина. Претоварните станици ќе бидат предвидени во регионалните планови за управување со отпадот. Како претоварна станица можат да се користат и локациите на постојните депонии на комунален отпад, коишто мора да се санираат согласно плановите за санација.

(https://en. wikipedia.org/wiki/Transfer_station_ (waste_management))

7.1. Претоварните станици во регионален систем на управување со отпадот

Во управувањето со комуналниот отпад, претоварната станица има значајна улога со крајна цел укажување на можност за одржлив развој преку регионалниот развој на системот за управување со комуналниот отпад (со примена и оптимизација на потрошувачка на ресурси со максимално искористување на капацитетот на возилата, унапредување и оптимизација на правците на движење на комуналните возила и просторниот распоред на локацијата на претоварната станица, човечкиот фактор, како и факторот на користење на сообраќајниците) (Strucni tim JP ”Zavod za urbanizam Vojvodine ”Novi Sad, 2005).

Одлагањето отпад на регионална депонија со користење на претоварна станица е прикажано на сликата 7.1:



7.1 Претоварна станица во регионалниот систем во управување со комуналниот отпад

1) Собирање на отпадот од домаќинствата; 2) Одвезување на отпадот; 3) Трансфер-станица; 4) Превоз на отпадот; 5) Регионална санитарна депонија.

7.2. Видови отпад што се собира во претоварна станица

Управувањето на претоварните станици претежно се одвива врз комуналниот отпад што се создава во домаќинствата. Видовите на таков општински отпад најчесто се издвојуваат и се третираат одвоено на претоварните станици и тие се:

- градинарски отпад (зелен отпад) – обично вклучува лисја, покосена трева, гранки, грмушки и сл. Градинарскиот отпад најчесто се одвојува за компостирање;

- опасен домашен отпад вклучува опасни материи што ги генерираат домаќинствата, како што се производите за чистење, пестициди, хербициди, моторно масло, масло за кочење, антифриз, боја и сл.;
- рециклажен отпад ги опфаќа издвоените материи што можат повторно да се употребат. Најчести рециклажни материјали ја вклучуваат хартијата, новинската хартија, темни метали, пластика, стаклена амбалажа, алуминиумски конзерви и сл.

Посебното е корисно издвојувањето на градежниот отпад и отпадот од рушење. Градежниот отпад вклучува: земја од ископ, отпад од рушење и градење (отпад од керамика, цемент, железо, челик, пластика и др.), како и отпаден асфалт и бетон.

Некои видови отпад се неприфатливи и не можат да се третираат на претоварните станици од разни причини, како што се:

- забранети материјали согласно постојните закони (на пр. оловни акумулатори, радиоактивни материјали);
- материјали со големи трошоци или тешкотии во процесирањето (на пр. гуми);
- материјали што претставуваат опасност по здравјето или се лесно запаливи;
- материјали што се забранети на финално одлагање на одложувалиштето на коешто отпадот се транспортира од претоварните станици.

Отпад што не се доставува на претоварните станици:

- опасен отпад;
- инфективен медицински отпад;
- фармацевтски отпад;
- експлозиви;
- радиоактивни материјали;
- нафтени резервоари (и кога се празни);
- отпад од животинско потекло;
- талог од постројка за третман на отпадни води;
- крупен отпад (стар мебел);
- фрлени возила.

Дизајнот на мрежата претоварни станици е скоро универзален. Отпадот што влегува во секоја претоварна станица е директно поврзан со системот за собирање на отпадот. Количината отпад што се очекува да се собере во претоварна станица во Куманово е 42600 тони на година.

Потребното подрачје за претоварна станица во Куманово се проценува на 15 000 m^3. Стационарната претоварна станица е предвидена како постројка на две нивоа. Камионите со отпад се движат до горното ниво и би го празнеле отпадот во стационарните машини за компактирање, коишто од своја страна пак полнат контејнери од 30 m^3. Стационарните компактори се наоѓаат на пониско ниво заедно со просторот за складирање на контејнерите.

Потребно е до сите станици да се изградат пристапни патишта неопходни за движење на возилата и камионите за собирање отпад. Ќе бидат изградени дополнителни системи за вода, канализација и противпожарна заштита за да се задоволат потребите на постројката. Исцедокот што се создава со миење на просториите на претоварната станица се собира во резервоар од каде што со соодветни транспортни возила ќе се пренесат до најблиската пречистителна станица за отпадни води (*Waste transfer stations a manual for decision-making, U. S.Environmental Protection Agency Washington 2001*).

7.3. Прием – пред преработка

Главната причина зошто се врши преработка е отпадот да се подготви за третман. Главната активност во преработката е дробењето со цел да се регулира влажност, соодносот C/N и структурата на материјалот (вкупен волумен на порите), како и да се утврди евентуалното користење на помошни и дополнителни материјали.

Приемот на отпад ќе се врши во соодветно конфигуриран простор, одвоен со ѕидови, којшто има мрежа за исцедок. Ќе се користи утоварувач за движење на отпадот. Операторот со утоварувачот ќе биде задолжен за визуелна инспекција на отпадот и отстранување на евентуалниот кабаст или опасен отпад.

Потоа се врши проследување на отпадот до дробилката.

7.4. Отстранување на грубиот материјал

Отстранувањето на грубиот материјал се врши:

• во фазата на претходна обработка, пред дробењето;

• по фазата на зреење (втора фаза на компостирање) со сеење на грубиот материјал (> 10 mm) и на лесната пластика.

7.5. Дробење

Пред да бидат формирани куповите, се врши дробење на органските фракции со помош на мобилна дробилка.

Големината на дробениот материјал ќе варира од неколку милиметри до неколку сантиметри (10 cm или поголеми). Во случај да се користи друг тип на биоотпад, како внесување во постројката, освен зелениот отпад, дробењето ќе се врши или според категорија на отпад и одвоено одлагање, или истовремено на сите типови материјали, во посакуваниот сооднос.

7.6. Зелена точка (собирно место)

Собирните места ќе бидат проектирани и изградени како поддршка на системот за управување со отпадот, што ќе се применува во Источниот и Североисточниот Регион (Регионален план за управување со отпадот на Североисточен Регион, Скопје 2014). Секоја општина ќе воспостави свое собирно место што ќе го опслужува населението. Во овој труд ќе бидат разгледани само собирните места што се наоѓаат во претоварните станици и во централната постројка за управување со отпад. Како што е кажано и претходно, собирното место опишано подолу ќе го опслужува руралното и урбаното население на општината во којашто се наоѓа.

Во собирните места ќе се собираат следниве видови отпад:

- градежен отпад и шут (само кај големите собирни места)
- кабаст отпад (душеци, мебел, теписи и сл.)
- метални предмети (отпаден метал, радијатори и сл.)
- опасен отпад од домаќинствата (бои, лекови, детергенти и сл.)
- отпад од електрична и електронска опрема.

Треба да се потенцира дека не постои максимално ограничување на количествата отпад што би се собирале на собирните места. Во случај да имаме количества отпад во собирните станици поголеми од количествата отпад предвидени со оваа студија, ќе се зголеми зачестеноста на транспортот на материјалите од собирното место до крајниот реципиент (на пример, двапати неделно наместо еднаш).

Во случај крајната верзија на проектот и оперативното управување да го дозволуваат тоа, може да се инсталираат и дополнителни корпи/контејнери за да се покријат евентуалните дополнителни потреби од собирање отпад.

Проценатa за количествата отпад што би се собирале на собирните места се базира на меѓународното искуство (првенствено во Велика Британија), со прилагодувања соодветни на карактеристиките во Македонија.

Се проценува дека собирното место ќе прима:

- 75 % од целиот градежен отпад и шут што се создава во урбаните подрачја (само кај големите собирни места во Штип, Кочани и Куманово);
- 50 % од кабастиот отпад што се создава во руралните подрачја и 40 % од кабастиот отпад што се создава во урбаните подрачја. За потребите на студијата, кабастиот отпад се проценува на 2 % од вкупниот отпад;
- 20 % од металите (метални предмети) што се создаваат во руралните подрачја и 10 % од металите што се создаваат во урбаните подрачја;
- 50 % од опасниот отпад од домаќинства што се создава во руралните подрачја и 25 % од опасниот отпад од домаќинства што се создава во урбаните подрачја;
- 50 % од отпадната електрична и електронска опрема што се создава во руралните подрачја и 25 % од отпадната електрика и електроника што се создава во урбаните подрачја.

Количествата што се пренасочуваат во руралните подрачја обично се поголеми во споредба со истите количества во урбаните подрачја, затоа што транспортот на отпад е полесен со користење на земјоделски возила, приколки и трактори.

8. ИСТРАЖУВАЧКИ ДЕЛ

Од отпад кон енергија (WTE) или енергија од отпад (EfW) е процес на создавање енергија во форма на електрична енергија и/или топлина од примарниот третман на отпадот или преработката на отпадот како извор на гориво. *WtE* претставува форма на обновување на енергијата. Повеќето процеси на *WtE* произведуваат електрична енергија и/или топлина директно преку согорување, или произведуваат запалива маса за гориво, како што се метан, метанол, етанол или синтетички горива (https://en.wikipedia.org/wiki/Waste-to-energy).

WTE или енергија од отпад е процес на создавање енергија во форма на електрична енергија и/или топлинска енергија добиена со согорување на отпад. Сè поголема зафатеност на површини како простор за депонии доведува до размислување за согорување на отпадот за да се намали неговиот волумен и тежина. Согорувањето го намалува обемот на материјалот за околу 90 проценти и неговата тежина за 75 проценти. Покрај процесот на создавање на електрична енергија, топлината што се создава со горење отпад има и други намени, и може да се користи директно за греење, за производство на пареа.

Од неодамна, во САД *WTE* се смета за извор на обновлива енергија. Според Агенцијата за заштита на животната средина на Соединетите Американски Држави, *EPA*, дефиницијата за обновлива енергија се претставува како: „Обновливата енергија е енергија добиена од извори што се во суштина неисцрпни, за разлика од природниот гас, јагленот и нафтата, чиишто количества се ограничени.“ Според Министерството за енергетика (*DOE*): „Обновливите извори на енергија вклучуваат: дрво и друга биомаса, соларна (фотоволтаична и термална), ветер, геотермална, отпадоци [Општински цврст отпад (*MSW*), гориво испуштено од отпадот (*RDF*), депониски гас (*LFG*)] и други извори што природно или постојано се надополнуваат.” По дефиниција, Министерството за енергија

на САД ја опишува обновливата енергија како „бесконечен извор на енергија" (*Thomas Stringfellowet al., 2014*).

Основната визија за движење кон кружна економија има за цел да ја замени тековно главно линеарната економија на „земање, користење и отфрлање" со оној во којшто ресурсите кружат, избегнување или намалување на потребата за примарни ресурси и минимизирање на преостанатиот отпад, загадувачи и емисии. Главните двигатели на кружната економија се зголемувањето на нестабилноста на цените и ограничувањата на снабдувањето на примарните ресурси, политиките за животна средина, како што се регулативите за одговорност на промет и веројатно промената на потрошувачката култура (*D. C. Wilson, et al., 2015*).

8.1.Предмет и цел на истражувањето

Предмет на истражувањето во овој магистерски труд е да се истражат можностите за производство на енергија од *мешовит комунален отпад*, влијанието на процесите врз животната средина, како и да се изврши компаративна анализа на резултатите добиени со математички пресметки за можното количество на електрична енергија добиена со разни методи, во Република Северна Македонија и земјите од светот.

Целта на истражувањето во овој труд е да се согледаат можностите за производство на енергија (електрична енергија), како и постапките и постројките за производство на електрична енергија. Направените анализи укажуваат на тоа колку е важен процесот на планирање и анализа на штетните материи, загадувањето на животната средина и безбедноста при работа, односно колку е важно да се вложи максимален напор при изборот на технологија за претворање на комунален отпад во електрична енергија.

Целта не е само можност за производство на електрична енергија, туку добиените статистички податоци ќе бидат анализирани за да се добијат соодветни заклучоци, да се откријат слабостите и да се предложат мерки за нивно надминување.

8.2. Методи користени во истражувањето

Секое научно истражување е комплексен процес што може да содржи голем број логички и нумерички активности и пресметки. При докажувањето на хипотезите беа користени разни методи за да се исполнат најважните методолошки барања – сигурност, систематичност, објективност и генералност.

Во текот на истражувањето се користени следните методи:

- метод на собирање податоци
- статистички метод
- аналитичко-синтетички метод
- метод на класификација
- метод на генерализација
- компаративен метод
- математички метод.

При собирањето на самите податоци се користеа следниве техники и методи: анализа на содржината на документите (примарни и секундарни материјали), веќе направено истражување, пресметки и компарација на енергетскиот потенцијал.

Пристапот кон истражувањето беше синтетички и интегративен во смисла дека на ниту една методолошка постапка не ѝ е дадена никаква ексклузивна предност, туку сите беа застапени на ист начин. Со примена на горенаведените методи, можно е валидно да се постигне социјалната и научната цел на истражувањето.

8.3. Генерална хипотеза

Регионална депонија со постројка за производство на електрична енергија од отпад во Република С. Македонија придонесува за подобрување на штетните депониски влијанија врз животната средина, емисиите на стаклени гасови, пејзажот, безбедноста и здравјето на вработените.

8.4. Оправданост на истражувањето

Од отпад до енергија (или енергија од отпад) обезбедува безбедно, технолошки напредно средство за отстранување на отпадот, при што се намалуваат стакленичките гасови, се создава чиста енергија и се рециклира метал.

Потребен е Национален план за управување со отпадот, затворање на сите постоечки и отворање на најсовремени регионални депонии, согласно европските стандарди за складирање и управување на отпадот. Тие треба да понудат рециклирање на отпадот од којшто голем дел ќе се користи за добивање енергија.

Процесот од отпад кон енергија (*WTE*) е широко признаен како технологија што може да помогне во ублажувањето на климатските промени. Ова е факт поради тоа што отпадот искористен во објектот за претворање на отпад кон енергија не создава метан, како што би бил на депонија; металите што би биле испратени до депонијата се рециклираат наместо да бидат фрлени; а вака произведената електрична енергија би го ублажила создавањето на стакленичките гасови коишто инаку би се генерирале од централите на јаглен.

Покрај тоа, енергијата произведена во објекти за третман на отпад до енергија е континуална, што значи дека се создава 24 часа на ден, седум дена во неделата. Ова дава можност не само да се обезбеди, туку и по потреба да се продава добиената електрична енергија.

9. ПОСТРОЈКИ ЗА ДОБИВАЊЕ ЕНЕРГИЈА ОД ОТПАД

9.1. Согорување на цврст комунален отпад

Согорување на мешовит цврст комунален отпад претставува горење на отпад во контролиран процес во рамките на специфичен објект изграден за оваа намена. Примарната цел на горење на *MSWI* е да го намали волуменот и масата на мешовитиот цврст комунален отпад, како и да го направи хемиски инертен во процесот на согорување без потреба од дополнително гориво (согорување на автотермија). Како несакан ефект, тој

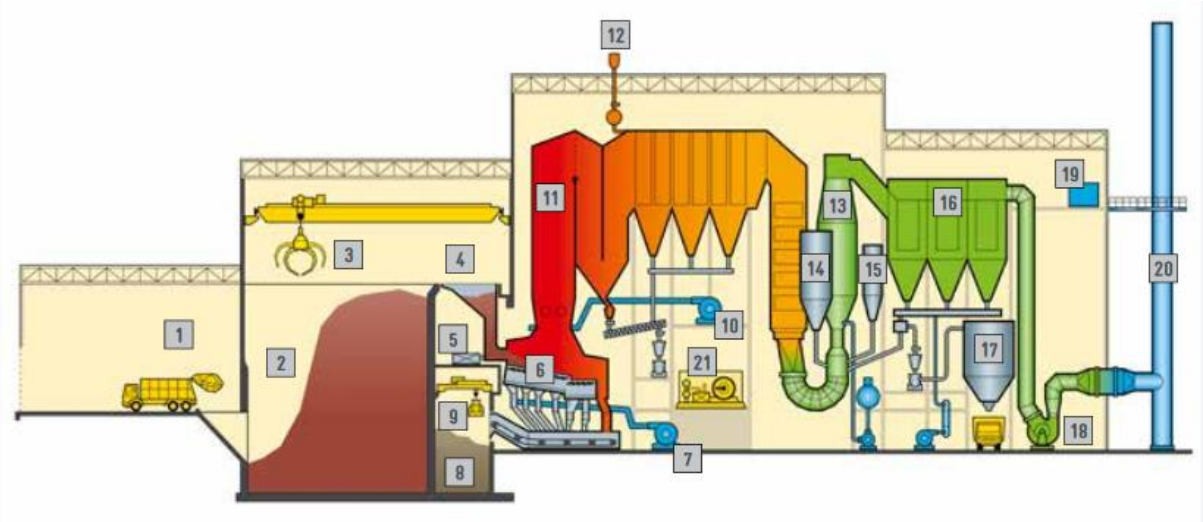
исто така овозможува создавање одредени минерали и метали од отпадот. Секогаш постои околу 25 % остаток од согорувањето во форма на згура (пепел) и прашина. Пепелот е составен од ситни честички што паѓаат на дното на горилникот за време на согорувањето, додека прашината се состои од фини честички во издувните гасови коишто мора да се отстранат со третман. На овие остатоци им е потребно дополнително внимание, а во случај на опасна прашината, потребно е да се обезбеди сигурно место за безбедно складирање (*European Commission, Brussel, 2006*).

Опис на технологијата

Согорливите материјали од отпадот горат кога ја достигнуваат потребната температура на палење и доаѓаат во контакт со кислород, обезбедувајќи оксидациска реакција. Температурата на реакцијата е помеѓу 850 и 1450 ºC, а процесот на согорување се одвива во гасна и цврста фаза, истовремено ослободувајќи топлинска енергија. Потребна е одредена минимална калориска вредност на отпадот за да се овозможи термичка реакција на потполно самосогорување (т.н. автотермично согорување), т.е. согорување без потреба од додавање на други горива. За време на горењето се создаваат издувни гасови што по чистењето излегуваат во атмосферата преку оџак. Овие издувни гасови содржат најголем дел од достапната енергија од горивото (отпадот) како топлина, како и загадувачи од прашина и гасови во воздухот што мора да се отстранат преку процес на прочистување на издувните гасови. Вишокот топлина од согорувањето може да се користи за да се направи пареа за производство на електрична енергија, централно греење/ладење или снабдување со пареа во блиската процесна индустрија (компонентите на постројката за согорување на комуналниот отпад се прикажани на слика 9.2). Постројките што користат когенерација на топлинска енергија (греење и ладење) заедно со производството на електрична енергија можат да достигнат оптимална ефикасност од 80 %, додека самото производство на електрична енергија само ќе достигне максимална ефикасност од околу 20 %.



Слика 9.1 Постројка за согорување на мешовит комунален отпад



Слика 9.2 Компоненти на постројка за согорување на мешовит комунален отпад.
Извор Doosan Lentjes GmbH

ОТПАД: 1. Сала за складирање; 2. Бункер; 3. Кран; 4. Шахта за полнење

СОГОРУВАЊЕ: 5. Фидер; 6. Решетки за согорување; 7. Примарен вентилатор на воздухот; 8. Долен бункер за пепел; 9. Кран; 10. Секундарен вентилатор на воздухот; 11. Котел со пареа; 12. Безбедносен вентил на котелот;

ЧИСТЕЊЕ НА ИЗДУВНИТЕ ГАСОВИ: 13. Реактор; 14. Хидриран вар; 15. Активен јаглен; 16. Филтер; 17. Силос за прашина; 18. Вентилатор; 19. Мониторинг на емисиите (*CEMS*); 20. Оџак;

СОЗДАВАЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА: 21.Турбина/генератор;

Погоден отпад

Постројката за согорување на комуналниот отпад е дизајнирана да третира типично мешан и главно нетретиран домашен отпад и одреден индустриски и комерцијален отпад. Клучен параметар е содржината на енергија, т.н. *ниска калориска вредност* (*LCV*) во MJ/kg. За да се обезбеди автотермично согорување на отпадот, *LCV* не треба да биде под 7 MJ/kg во просек во текот на една година (за споредба: *LCV* од 1 kg мазут е околу 40 MJ/kg). *Во земјите во развој, LCV на неорганизиран цврст отпад е често под овој праг заради доминантната органска содржина со висока влага и значително ниво на фракции на инертен отпад како што е пепел или песок.*

Претходна сепарација на рециклибилни материи влијае врз карактеристиките на преостанатиот отпад, како што е прикажано во табелата 9.1 подолу.

Табела 9.1 Влијанија на претходно одделување на рециклибилни материјали врз согорувањето

Отстранети фракции	**Влијание на примарното отстранување на остатокот од отпад**
Стакло, метали, пепел, минерали од градежништвото	Зголемена калориска вредност Намалена количина на згура и обновува метали
Хартија, картон и пластика	Калориската вредност се намалува Појава на хлор (од ПВЦ) во штетни емисии се намалува

Органски отпад од домаќинства	Намалена влажност Зголемена калориска вредност
Кабаст отпад	Намален напор за ситнење на отпадот
Опасен отпад (батерии, електроника)	Намален напор за отстранување на емисија на токсични нестабилни тешки метали во воздух (жива) Намалена концентрација на токсични загадувачи во згура и пепел (кадмиум, олово, цинк)

Оперативни аспекти

Работата е многу сложена и постројката за согорување на комуналниот отпад бара добро развиени техники и вештини за управување. Таа е многу покомплексна од работата на санитарна депонија. Барањата се: континуиран синџир на снабдување со *MSW*, хомогенизирана мешавина на отпад што се храни постојано во комората за согорување, прилагодени и контролирани параметри на процесите и емисиите, планско одржување, набавка на помошни материјали и резервни делови, гарантирано снабдување со енергија за директни клиенти, организирано отстранување или понатамошна употреба на остатоци од процеси итн. Оперативното здравје и безбедност мора да бидат добро развиени и да се одржува чест контакт со органите на животната средина, општината, локалните заедници, граѓанското општество и другите учесници. Поставувањето на постројката за согорување на комуналниот отпад каде што може да се обезбеди целогодишна употреба на топлинска енергија (греење или ладење) или произведената електрична енергија е важен фактор, со што зголемува и веројатноста за сигурен приход. Поради оваа причина, постројката за согорување на комуналниот отпад треба да биде сместена во индустриските зони, со кратко растојание до изворите на отпад (*Sandec et al., 2008*).

Само менаџерите, инженерите и техничарите со докажани способности и искуства треба да бидат распоредени на клучни функции. Ако квалификациите не се достапни на локално ниво, долгорочно треба да бидат договорени меѓународни експерти, како и да се започне програма за обучување на домашни експерти.

Заштита на животната средина

Целта на постројката за согорување на комуналниот отпад е да придонесе за целокупно намалување на влијанието врз животната средина што инаку може да произлезе од диво фрлање отпадоци, отворено горење или депонирање на отпадот. Намалувањето на волуменот на отпадот со горење помага да се заштеди недоволниот и вреден простор за депонија и да се заштити животната средина. Дел од обновената енергија исто така може да се смета за јаглеродно неутрална, како резултат на содржината на биомаса во *MSW*. Сепак, објектите за MSWI исто така генерираат големи количини издувни гасови што мора да се третираат, дури и кога согорувањето се случило под оптимални услови на согорување. За да се избегнат здравствените ризици за локалното население и околината, почитувањето на меѓународните стандарди за емисии, мора да се гарантира нивно континуирано следење и известување. Загадувањата од издувните гасови се во форма на прашина и гасови, како што се водород хлорид (HCl), водороден флуорид (HF) и сулфур диоксид (SO_2). Голем број соединенија што содржат жива, диоксини или азот диоксид (NO_2), може да се отстранат само со употреба на високонапредни хемиски процеси, со што значително се зголемуваат трошоците за проектот. Главните аспекти на животната средина со коишто треба да се справи една ваква постројка се (*European Commission, Brussel, 2006*):

- контрола и мониторинг на емисиите во воздухот и водата (вклучувајќи ја и миризбата);
- квалитет и употребниот потенцијал од производството на згура;
- безбедно отстранување или рециклирање на опасните остатоци од фината прашина;
- бучава и вибрации при извршувањето на процесите;
- потрошувачка на вода и други суровини (реагенси);
- слободни емисии - главно од складирање на отпадот;
- ризици од опасен отпад при складирање/ракување/обработка.

Постројката за инсинерациски третман би се поставила на површина во рамките на Централната постројка за управување со отпадот за Источниот и Североисточниот регион.

За поставување на сите постројки ќе биде потребна површина од околу 35 000 m^2. Сите постројки во Централната постројка за управување со отпадот (постројка за сортирање, механичко-биолошкиот третман, постројката за согорување, компостирање, собирните центри и депонијата) ќе користат заеднички помошни постројки како влезна порта, вага, ограда, внатрешен пат, надворешно осветлување, противпожарна опрема итн.

Постројката се дизајнира за целокупен капацитет од 75 000 тони/година, оперативна 365 дена годишно, во три смени од по 8 часови, што значи 205 тони/ден или околу 8,6 тони/час.

9.2. Анаеробна дигестија за производство на биогас

Анаеробна дигестија (АД) претставува распаѓање на органска материја преку микроорганизми во отсуство на слободен кислород. Анаеробната дигестија се јавува природно под услови на лишен кислород, како што се некои езерски седименти што можат да се користат при контролирани услови за производство на биогас. За таа цел, реакторот на гас, т.н. анаеробен дигестер, се користи за да се обезбедат поволни услови микроорганизмите да ја претворат органската материја, влезната суровина, во биогас и цврсто-течен остаток наречен дигестат. Дигестатот може да се користи како органско ѓубриво и како незагаден органски отпад. Биогасот е мешавина од различни гасови што можат да се претворат во топлинска и/или електрична енергија. Запаливиот гас метан (CH4) е главниот енергетски носител во содржината на биогасот и неговата содржина се движи помеѓу 50 и 75 % во зависност од добиточната храна и работните услови. Поради пониската содржина на метан, топлинската вредност на биогасот е околу две третини од природниот гас (од 5,5 до 7,5 kWh / m^3) (*A. Wellinger et al., 2013*).

Анаеробната дигестија со користење на мали дигестивни маси има долга традиција во земјите во развој коишто ја користат енергетската содржина на органските остатоци за рурални потреби. Примарното внесување на материјал за дигестија е од земјоделското, особено животинското ѓубриво, коешто е релативно лесно за ракување и може добро да се примени во мали размери. На општинско ниво, анаеробната дигестија добива поголемо внимание како можна опција за обновување на енергијата од отпадот во урбаниот контекст. Но, работењето на постројките за биогас од хетероген мешовит комунален отпад

е голем предизвик во однос на оперативните, безбедносните и финансиските побарувања. Како последица, има многу малку успешни примери на создавање на биогас од мешовит комунален отпад во земјите во развој. Главен предизвик за успешно работење на анаеробната дигестија е потребата да се гарантира постојана добро раздвоена фракција на органски отпад. Во многу земји, органскиот отпад често се меша со неоргански материи како што се пластиката, металите и други загадувачи што често го спречува успехот на анаеробната дигестија во поголеми размери. За разлика од другите погони на *WtE*, може да се каже дека малите постројки за биогас се опција и можат добро да се применат во земјите во развој (*Y. Vögeli et al., 2014*).



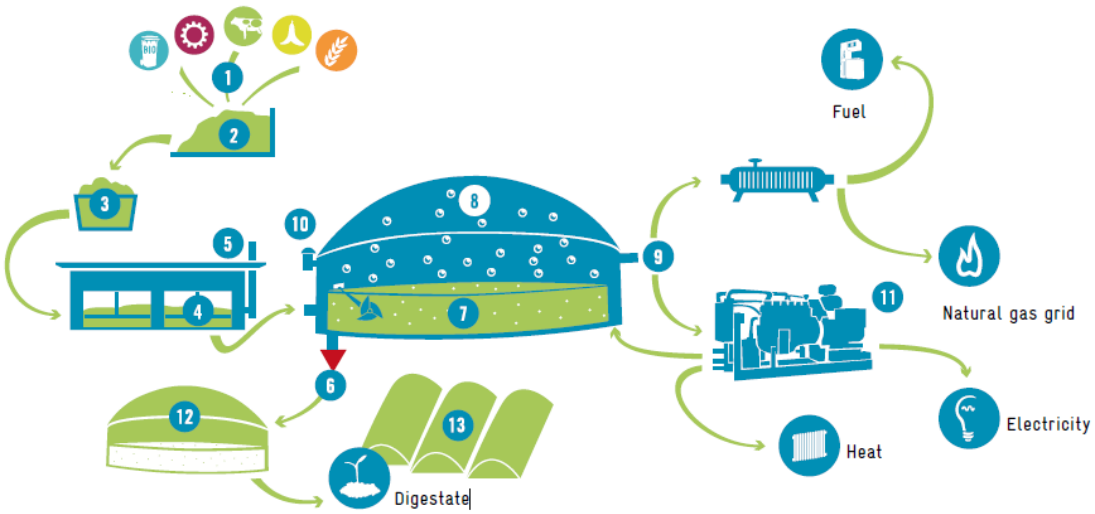
Слика 9.3 Органски залихи пред третман, во фабрика за биогас

Опис на технологијата

Голем број на различни дизајни на анаеробни дигестери постојат низ целиот свет со различно ниво на сложеност. Анаеробната дигестија може да се класифицира според (*A. Wellinger, et al, 2013.), (Y. Vögeli, et al, 2014.*):

- Начинот на хранење: сериско или постојано хранење.
- Температурниот опсег: психофилни (<25 °C), мезофилни (35-48 °C) и термофилни (> 50 °C) услови, каде што само последните два се сметаат за економски одржливи. Термофилни состојби се препорачуваат кога е распространет ризикот од развој на патогени. Алтернативно, може да се користи пастеризација на 70 °C за 1 час или термофилно компостирање за да се деактивираат патогени за мезофилни системи.
- Типот на реакторот: Реактори кај коишто се врши постојано мешање во резервоарот се погодни за течни суровини, како што се угостителскиот отпад, отпадните води или индустриската тиња од преработка на храна, додека приклучоците за проток и сериските дигестери се користат за цврсти суровини, иако цврстиот материјал може да се третира за да истиот се добие во течна состојба за да се користи во реакторите со постојано мешање на резервоарот.
- Бројот на фазите: Можна е дигестија од една до повеќе фази.

Биогасот може директно да се користи за производство на топлина или да се претвори во топлина и електрична енергија користејќи постројки за производство на електрична енергија. Втора опција е да се надгради биогасот во биометан со приближно 98 % содржина на метан, којшто може да се користи како замена за природниот гас. На слика 9.4 е прикажан процесот на производство на биогас преку анаеробно варење од органски отпад и ѓубрива. Генерираниот биогас може да се искористи, на пример, во генератор со комбинирана продукција на топлинска и електрична енергија (*Combined Heat and Power (CHP)*). (*A. Wellinger, et al, 2013*).



Слика9.4: Компоненти и крајна употреба на постројка за анаеробна дигестија.

Извор на слика: Фахвербанд биогас (*Fachverband Biogas, "Biowaste to Biogas," Freising, 2016*)

1. Различни извори на материјал за дигестирање; 2. Прием и складирање; 3. Подготовка на материјалот, преработка, сортирање и чистење; 4. Објект за подготовка на отпадот; 5. Биофилтер за намалување на миризбите и органските соединенија; 6. Санитарна единица; 7. Дигестер;
8. Складирање на гас; 9. Систем за чистење на гас; 10. Безбедносна опрема (уреди за олеснување на притисокот, сигурносни вентили, итн.); 11. Комбинирана единица за топлина и моќност;
12. Складирање на дигестат; 13. Надградба на дигестатот.

Погоден отпад

Анаеробната дигестија е погодна само за обработка на органска материја, т.е. биомаса. Содржината на фиброзен материјал како што се хемицелулоза и лигнинот, содржани на пр. во сламата и дрвенестите растенија, обично треба да бидат прилично ниски, бидејќи нивната деградација преку анаеробната дигестија е многу бавна. Покрај употребата на органска биомаса со отпад, како што се земјоделски остатоци или органски фракции на *MSW*, можно е да се користат специјално одгледувани енергетски култури како пченката за производство на биогас. Сепак, ова може да доведе до потенцијален конфликт со производството на храна, па затоа во ова истражување ќе се задржиме само на процесот анаеробна дигестија само со органски отпад и од мешовит комуналниот отпад.

Вклучувањето на неоргански или опасни материи не е пожелно во процесот и може да ја ограничи микробната деградација, да ја опструира операцијата, на пр. со затнување на цевки од пластични материјали и/или ограничување на употребливоста на дигестатот како органско ѓубриво.

Комуналниот органски отпад од домаќинството, пазарот и градинарскиот отпад може да се сметаат за погоден извор на биомаса за анаеробна дигестија. Покрај тоа, дигестирањето со земјоделски остатоци, остатокот од пречистителните станици за отпадни води, органските индустриски или комерцијалниот отпад можат да ја зголемат достапноста на биомасата за анаеробна дигестија, а со тоа и нејзината економска изводливост. Употребата на биоотпад од домаќинствата е пософистицирана од употребата на други сточни производи како што се енергетските култури, индустриските и трговските отпадоци, животинските нуспроизводи или нуспроизводите од зеленчук (*U. Baserga, 2000*). Ова се должи на флуктуацијата на составот на сточната храна користена во текот на годината, како и заради можноста за високи количини на нечистотии. Приносите од метан и енергија од АД силно се разликуваат помеѓу различните суровини (индикативни примери во табела 9.2).

Табела 9.2: Индикативни примери на метан и енергетски приноси на избрани органски отпадни материи преку *анаеробна дигестија* (адаптирани со приноси на метан по m^3 (Nm^3, на 0 °C, 1.01325 бар и релативна влажност на гас од 0 %) на тон влажна тежина (**twet**) на добиточна храна и 37,8 MJ на Nm^3 CH4 (поголема грејна вредност).

Биомаса	**Метан [Nm^3 CH4 notwet (тон влажна тежина)]**	**Енергија [MJ notwet (тон влажна тежина)]**
Општински:		
Отпадни води	15	570
Кујнски и градинарски отпад	40-100	1510-3780
Индустрија:		
Овошен отпад	60	2270
Отпад од месна индустрија	50	1890

Земјоделство:		
Стајско ѓубриво	32	1210
Трева	90	3400

Оперативни аспекти

Важни оперативни аспекти го вклучуваат следново:

- **Достапност и состав на органска биомаса**: составот и количеството органски отпад може значително да се променат во зависност од сезоната, пред сè, од достапноста на земјоделските производи и нивните остатоци. Ова треба да се земе предвид при планирањето на анаеробните дигестори, како и можноста за складирање на сточна храна, кога потребата од добиточна храна е поголема од капацитетот на растенијата.
- **Температура**: Растот и репродукцијата на микроорганизмите е побрз под повисоки температури, под услов да нема други ограничувачки услови. Во повеќето случаи, мезофилен температурен опсег помеѓу 35 и 48 °C се смета за најстабилен. Работењето на повисоки температури во термофилниот опсег > 50 °C може да ги елиминира патогените микроорганизми и да помогне во намалувањето на волуменот на реакторот, но генерално се бара греење и изолација. Во постудените клими, психофилната АД е успешно применета за дигестивни маси (*Y. Vögeli, et al, 2014*), но може да не биде економски одржлива за дигестерите во поголеми размери заради потребата од греење и изолација.
- **Органска стапка на оптоварување** (*Organic loading rate, OLR*): *OLR* ја мери количината на биомасата којашто специфичен реактор може да ја деградира во единица време.
- **Јаглерод**: Однос кон азот (C : N): Релативниот однос на јаглерод и азот е суштински параметар на микробиолошкиот раст и треба да биде во опсег од 16 до 25 за анаеробните дигестери.

Заштита на животната средина

Претворањето на органскиот отпад во биогас може да биде поврзано со голем број придобивки од животната средина. Биогасот обично заменува друга форма на енергија, во многу случаи или фосилно гориво или дрво. Ако се замени фосилното гориво, биогасот од органски отпад ја намалува емисијата на дополнителни стакленѝчки гасови во атмосферата, бидејќи јаглеродот содржан во биомасата потекнува од атмосферскиот CO_2. Доколку се замени огревното дрво, како што е случај во многу рурални домаќинства, замената на биогас може да го намали уништувањето на шумите од сеча за огревно дрво. АД дигестат што се користи како органско ѓубриво може да ги замени енергетските минерални ѓубрива. Користењето на дигестатот како ѓубриво, исто така зависи од квалитетот на дигестатот што треба да е висок, но и под услов истиот да не е загаден со метали или патогени.

Можна опасност за животната средина е истекување на биогас од неправилно управувани дигестори. Бидејќи опасноста од истечениот метан е многу голема, ваквите протекувања мора да се избегнат и да се обезбеди правилно работење. Исто така, мора да се избегне истекување на дигестатот во водите бидејќи тоа може да ги наруши локалните екосистеми.

9.3. Зафаќање на депониски гас

Зафаќање на депониски гас (*Landfill Gas Capture, LFG*) претставува поинаков вид на технологијата „Отпад кон енергија” (*WtE*). Треба да се разбере како основна компонента за делумно ублажување на негативните влијанија врз климата од работењето на санитарните депонии. Санитарна депонија е меѓународно усвоена и прифатена практика во земјите во развој и во многу случаи претставува единствена опција за третирање и чување на собраниот отпад на контролиран начин. Иако санитарна депонија е подобрување на неконтролираното и отворено фрлање отпад, таа има негативни долгорочни влијанија врз животната средина, како што е емисијата на метан, којшто претставува висок глобален потенцијал за затоплување на атмосферата. Друго негативно влијание вклучува губење на вредни ресурси во депонискиот отпад, како и присуство на миризливи и токсични

соединенија. Метанот во *LFG* е формиран со анаеробно варење на органска материја во депонијата, којшто може да се смета како предимензиониран биореактор. За да се намалат емисиите на стаклени гасови од депониите во атмосферата, неопходно е зафаќање на метанот. Ова е можно преку зафаќање на депонискиот гас, но значителни загуби се случуваат во почетната фаза на депонијата, пред да се инсталира и профункционира системот за зафаќање метан. Кога е во функција, сè уште не е можно да се зафати целиот гас што го емитира депонијата. Над 200 проекти за собирање депониски гас се успешно реализирани во рамките на Механизмот за чист развој на Протоколот од Кјото за намалување на емисијата на климатски гасови.

(*UNFCCC, "United Nation Framework Convention on Climate Change," [Online]. Available: https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html.*).





Слика 9.5 Депонија (горе), депонија во изградба (долу).

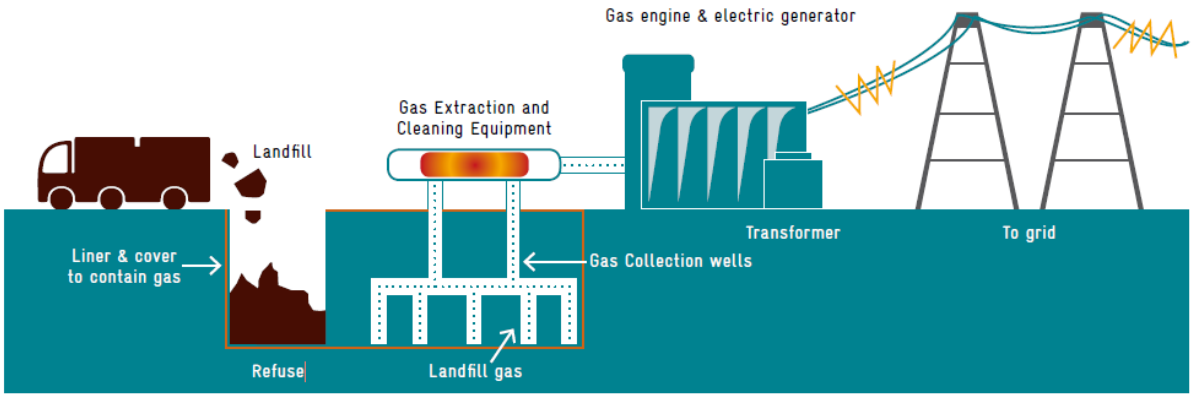
Опис на технологијата

Депонискиот гас се состои од 45 – 55 % метан гас и затоа е погоден како гориво за производство на топлина или енергија, комбинирано производство на топлина и електрична енергија или како гориво за транспорт. Остатокот е главно CO_2. Приносот на *депонискиот гас* зависи од голем број фактори:

- составот на отпадот;
- како се поставува и компактира свежиот отпад;
- нивото на компактирање и висина на поединечните слоеви;
- содржината на вода во депонијата;
- климата;
- техничките карактеристики за зафаќање на метан гас во санитарната депонија.

Анализата на производство на *депониски гас* во Тајланд покажува дека на различни депонии од 1,9, па дури до 5,5 пати повеќе депониски гас се создава во влажната сезона, отколку во сувата сезона (*K. Wang-Yao, et al, 2006*).

Различни начини на технологија на зафаќање на *депониски гас* се достапни и може да се додадат во оперативни или затворени санитарни депонии. Сите собираат *депониски гас* од отпад, а во исто време избегнуваат навлегување вода и воздух во системот. За да се собере *депониски гас*, перфорираните цевки се вметнуваат во отпадот за да го соберат гасот. Овие цевки можат да се инсталираат вертикално или хоризонтално. Гасот навлегува во перфорираните цевки и се пренесува во системот за прочистување на гасот, особено со цел да се отстрани водород сулфид. По чистењето, гасот може да се употребува (слика 9.6).



Слика9.6: Компоненти на системот за зафаќање на *депониски гас* со производство на електрична енергија http://www.advanceddisposal.com/media/10751/landfill_gas_to_energy_diagram_946x333.jpg,

Погоден отпад

Проектите за зафаќање на *депонискиот гас* бараат голема содржина на реактивен органски отпад во депонијата. Високата содржина на минерален отпад или отпад со бавна дигестија (дрво) го намалуваат приносот.

Оперативни аспекти

Операторите со санитарни депонии мора да обезбедат дека нема значителен ризик од префрлање на гас од депонијата било под земјата или да се акумулира надвор од депонијата во мешавина којашто може да биде експлозивна или да предизвика асфиксија. Тие мора да обезбедат собирање, третман и употреба на *депонискиот гас* на начин со којшто се минимизира испуштањето на гасови. Ревизиите на системот за собирање на *депониски гас* треба да се вршат на годишно ниво за да се процени ефикасноста на системот.

Заштита на животната средина

Собирањето и согорувањето на метанот од *депонискиот гас* придонесува за ублажување на стаклениčките гасови и други токсични емисии. Ако *депонискиот гас* се користи за замена на фосилни горива како што се јагленот или нафтата во процесите на согорување, или како гориво за замена на горивата во транспортот, тоа исто така придонесува за подобрување на квалитетот на воздухот. Но, меѓународното искуство покажува дополнителни недостатоци на *депонискиот гас* покрај познатите ризици од санитарните депонии:

- Теоретското производство на *депониски гас* и неговото вистинското зафаќање не се совпаѓа. Во многу случаи, реалниот *депониски гас* е далеку под очекувањата, што значи дека дел од метанот бега во околината. Агенцијата за заштита на животната средина на Соединетите Држави проценува дека ефикасноста на колекцијата се движи од 60 до 85 %. Сепак, многу санитарни депонии во земјите во развој достигнуваат стапка на фаќање од само 50 % заради намалените технички стандарди и ограничувања на трошоците. Споредувајќи ја количината на *депониски гас*, всушност заробен и собран во однос на вкупниот гас испуштен од санитарната депонија во текот на целиот животен век, стапката на ефикасност се спушта понатаму на помалку од 20 до 30 %.
- *Депониски гас* се генерира во период од 30 до 50 години, временска рамка што всушност ја надминува рамката на работење на санитарната депонија. Со тоа,

прашањето кој го работи и го одржува системот за *депониски гас* честопати останува неодговорено.

- Истекувањето од системот на *депониски гас* е безбедносен ризик бидејќи избеганиот гас може да се акумулира во соседните згради и може да доведе до експлозии.

9.4. Алтернативни технологии: пиролиза и гасификација

Во текот на последните 40 години, развојот на т.н. „алтернативни технологии“ (АТ) за термичко третирање на отпадот се состои од два главни чекори. Првиот чекор се јавува во 1970-тите и 1980-тите и се карактеризира со голема мотивација и потенцијал на иновации за развој на сеопфатна и ефикасна технологија за третман на отпадот, со максимална генерација на производни процеси и минимум негативни влијанија врз животната средина. На вториот чекор, пак, што се јавува кон средината на 90-тите години доминираат маркетиншките стратегии. Гасификацијата и пиролизата, а подоцна и плазматската пиролиза, се сметаат за технички и финансиски одржлива алтернатива на согорување на отпадот и се карактеризираат како незагадувачки технологии, за разлика од согорувањето. Во овој момент, ниту една постројка за третман на мешовит комунален отпад не работи во поголем обем во Европа, Африка или Латинска Америка, а неколкуте постројки во Азија (главно Јапонија) и САД работат како интегриран елемент на покомплексен систем на Менаџирање на комунален мешовит отпад (*Municipal Solid Waste Management - MSWM*) или само за специфични гранки на отпад. Барањата за напредна технологија, високоспецифични потреби и големи трошоци ја прават оваа технологија комплицирана и скапа за употреба.

Како и технологијата за инцинерација, целта на алтернативните технологии е да се третира отпадот за да се намали неговиот волумен и опасностите, а во исто време да се зафаќа (концентрира) или уништува потенцијално штетното влијание на материите. Исто така, процесот обезбедува средства за да се овозможи обновување на енергија, минерали и/или хемиски содржини од отпадот во форма на корисни производи за „рециклирање“, како што се синтетичкиот гас, маслото, јагленот или коксот (слика 9.8).

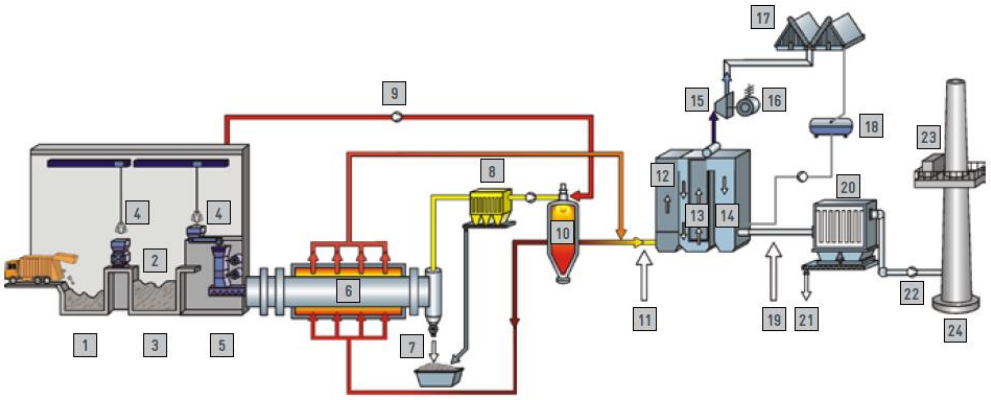
Опис на технологијата

Пиролиза или гасификација претставува „одгасирање" на отпадот под услови на контрола на кислородот, при што се формираат пиролизен гас и цврст кокс. Топлинските вредности на гасот обично се наоѓаат помеѓу 5 и 15 MJ/m³ во зависност од видот на комуналниот отпад. Во поширока смисла, „пиролиза" е генерички поим што вклучува голем број различни комбинации на технологии, што во принцип ги претставуваат следниве технолошки чекори:

- **Процес на топење:** Формирање на гас од испарливи честички отпад при температура од 400 до 600 °C.
- **Пиролиза:** Топлинско распаѓање на органските молекули на отпадот помеѓу 500 и 800 °C што резултира во формирање на гасовит и цврст дел.
- **Гасификација:** Конверзија на уделот на јаглерод што останува во пиролизниот кокс на температура од 800 до 1000 °C со помош на супстанција за гасификација (воздух или пареа).
- **Инцинерација:** Во зависност од технологијата, комбинацијата на гас и кокс се согорува во комора за согорување.



Слика 9.7 Пиролизата и гасификацијата бараат специфични видови на отпад



Слика 9.8: Компоненти на постројка за пиролиза за специфично постапување со цврст отпад "www.dgengineering.de,"Available:http://www.dgengineering.de/images/Fliessbild-Pyrolyse-D-1.jpg

1. Бункер за груб материјал; 2. Ротациони ножици; 3. Бункер за фин материјал; 4. Надземен кран; 5. Систем за полнење; 6. Печка за пиролиза; 7. Систем за празнење; 8. Филтер на топол гас; 9. Вентилатор; 10. Комора за согорување; 11. Редуцирање на катализацијата; 12. Испарувач; 13. Супер грејач; 14. Економзер; 15. Турбина; 16. Генератор; 17. Кондензатор; 18. Резервоар за вода; 19. Додавач за адитиви; 20. Влакнест филтер; 21. Филтер за прашина; 22. Индуциран вентилатор; 23. Систем за мониторинг на штетни емисии; 24. Оџак.

Развиени се и други процеси што се базираат на спојување на фазите што се одвиваат во инсенератор: сушење, испарување, пиролиза, карбонизација и оксидација на отпадот. Некои од овие технологии се имаат соочувано со технички и економски проблеми при развојот на системот за комерцијална употреба, па повеќе не се употребуваат. Некои се користат на комерцијална основа (во Јапонија), а други се тестираат во постројки за демонстрација низ цела Европа, но сепак, споредени со согорувањето, имаат само мал дел од целокупниот капацитет за третман и се применуваат само за одредени видови отпад.

Погоден отпад

Нема успешни искуства со третманот на поголем обем на мешовит комунален отпад заради неговиот хетероген состав. Поради оваа причина, пиролизата може да биде опција за крајно третирање на специфични текови на отпад, како што се загадената почва,

клиничкиот отпад или опасниот индустриски/комерцијален отпад. Технологијата не се препорачува ниту за мешан комунален отпад, ниту пак во области во коишто се потребни робусни и докажани технологии.

Оперативни аспекти

Пиролизата или гасификацијата не можат да се сметаат за технологии што се лесни за ракување, но мора да бидат компонента во рамките на целокупниот систем за управување со отпадот. Операцијата бара добро разбирање на составот на дојдовниот отпад и знаење на процесите. Искуството покажува дека за работење на постројки за пиролиза/гасификација без проблеми, бара висококвалификуван кадар.

Заштита на животната средина

Потенцијалните предности на процесите на пиролиза можат да вклучуваат:

- враќање на материјалната вредност на органската фракција, на пр. метанол;
- зголемено производство на електрична енергија со употреба на бензински мотори или гасни турбини;
- намалени количини на чад по согорување;
- производство на јаглен или кокс што може да се користи како гориво во производство на електрична енергија или цементарници.

10. ПРЕСМЕТКА НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА И ЕНЕРГЕТСКИОТ ПОТЕНЦИЈАЛ НА ОТПАДОТ

10.1. Согорување на цврст комунален отпад

Равенката ги претставува изразите за пресметување на количината на електрична енергија којашто може да се добие од согорување:

$$ERP_i = \eta \cdot M \cdot LCV_{MSW} / 1,000,$$

каде што ERPi е потенцијал за обновување на енергијата (MWh/ден);

M е вкупната маса на сув цврст отпад (т/ден); а

LCV_{MSW} е ниската калориска вредност (LCV) на отпадот (kWh / kg).

Ефикасноста на процесот (η) е 18 % (*Leme, M. M.V, et al, 2014*), (*Ouda, O. K.M. et al, 2017*)

10.2. Анаеробна дигестија

Овој метод ја искористува органската фракција на мешовитиот комунален отпад, чијшто потенцијал за производство на електрична енергија се пресметува со помош на следната равенка:

$$ERP_{AD} = P \cdot R_{AC} \cdot f \cdot M_{OFSW} \cdot Q \cdot \eta,$$

каде што P е бројот на жители;

R_{AC} е годишното производство на отпад по глава на жител во (t/жители на ден);

f е органска фракција на цврстиот отпад (%);

M_{OFSW} е генерација на метан по тон органска фракција на цврст отпад (OFSW) (Nm^3/t);

Q - всушност ја претставува ниската калориска вредност (LCV) на биогас заради метанот (MJ/m^3); и

(η) е ефикасност на процесот, којшто е поставен на 26 % (*Gómez, et al, 2010*).

Теоретски и експериментални студии индицираат дека целосната анаеробна биоразградливост на мешовитиот комунален отпад генерира околу 200 Nm^3 метан на тон органски отпад. Но, пријавената стапка на генерирање метан кај индустриските анаеробни реактори за варење се движи од 40 до 80 Nm^3 на тон органски отпад (*Nickolas J, et al, 2006*).

За ова истражување ќе земеме средна вредност од 60 Nm^3 по тон, односно 0,08.

10.3. Зафаќање на депониски гас

Изразот за пресметување на емисиите на метан од санитарните депонии е даден со равенката:

$$ERP_{LG} = LCV_{biogas} \cdot Q_{CH4} \cdot \gamma \cdot \eta$$

каде што Q_{CH4} е годишно производство на метан ($м^3$/година);

LCV на биогасот е даден во kWh/m^3;

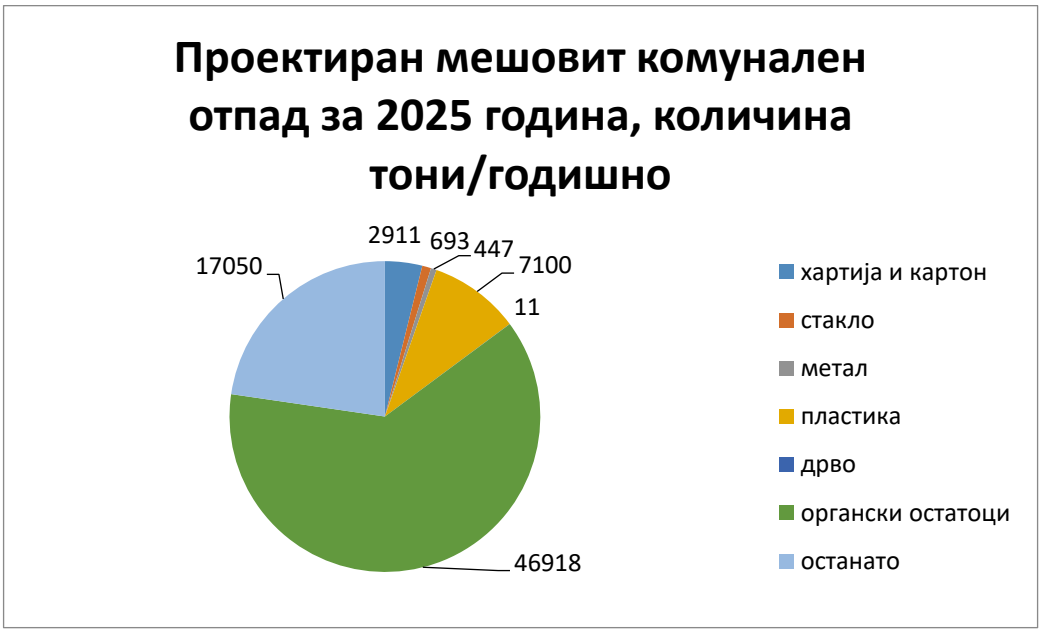
ϒ е ефикасност на системот за обновување на биогасот (80%); и

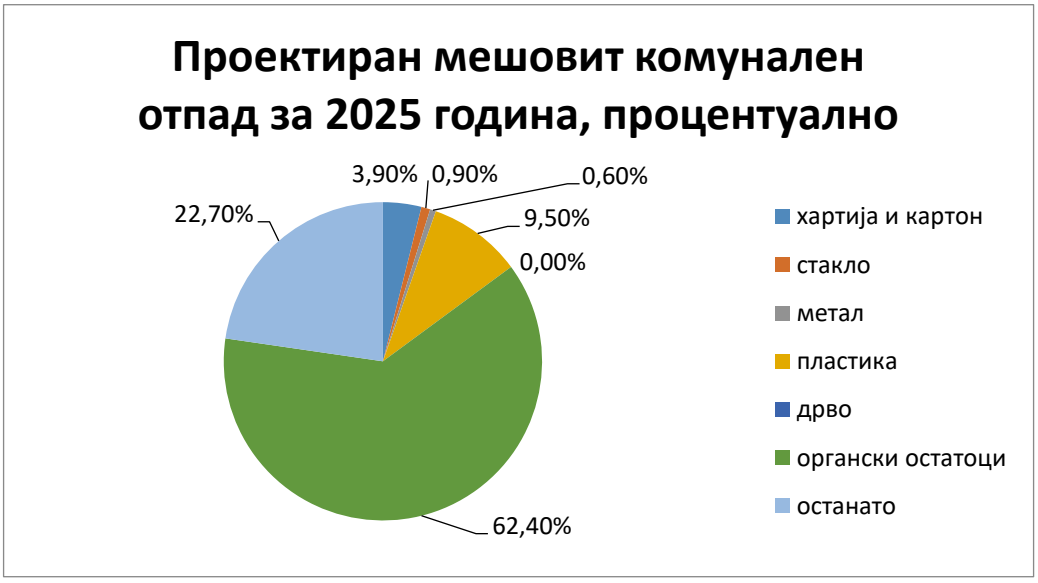
η е електрична ефикасност на технологијата што се користи за производство на електрична енергија (33 %) (*Bove, R, et al,. 2006*).

По релативно кратко време по депонирањето (од недели до месеци), депонискиот гас главно се состои од 55 (± 5) % од CH_4 и 45 (± 5) % од CO_2 (*Nickolas J. Et al, 2002*).

11. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

Предвиденото количество на мешан отпад, според којшто ќе се дизајнира постројката во Кумановско, се очекува да биде 75 000 t во 2025 година, со приближен број на население од 170 000 жители, и е прикажан со следниве табели:





Дијаграм 11.1 Предвидено количество на мешовит отпад

Детален преглед на составот на отпадот, како и пресметката на ниската калорична вредност (*LCV*) се претставени во табелата подолу:

Табела 11.1, Видови, количества и пресметка на *LCV* вредност, за проектирано количество отпад (2025 година)

Материјал	Количина тони/годишно	Процент	MJ/kg материјал (Tchobanoglous Handbook)	Ниска калориска вредност (LCV) (MJ/kg MSW)
ХАРТИЈА И КАРТОН	2,911	3,9%	15,6	0,6
СТАКЛО	693	0,9%	0	0
МЕТАЛ	447	0,6%	0	0
ПЛАСТИКА	7,100	9,5%	32,4	3,01
ДРВО	11	0,0%	15,4	0
ОРГАНСКИ ОСТАТОЦИ	46,918	62,4%	4,6	2,87
ОСТАНАТО	17,050	22,7%	4,0	0,9
ВКУПНО	**75,130**	**100%**		**7,38**

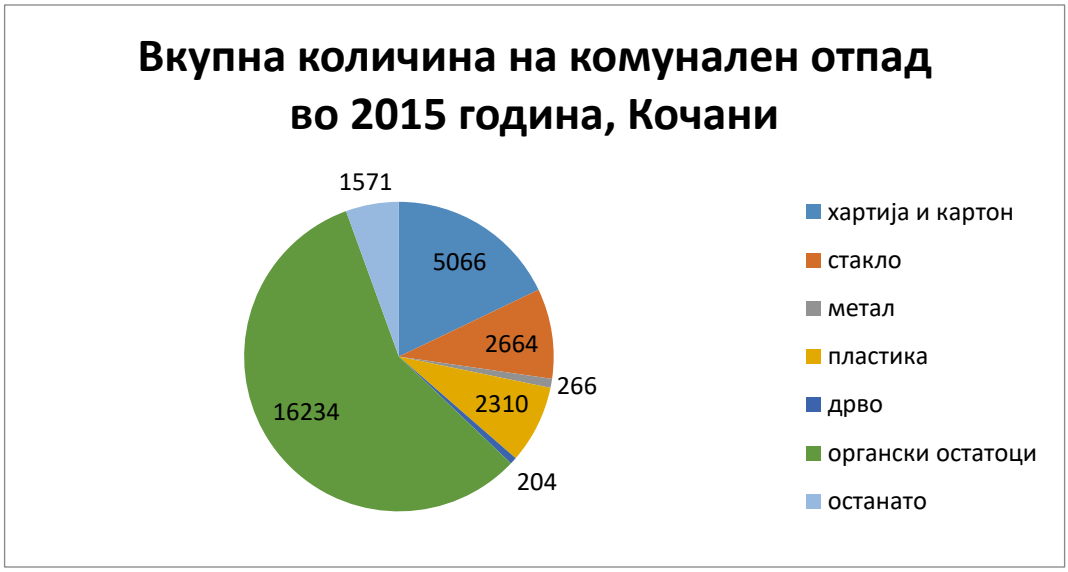
- При согорување (согорување) се добива: **ERP_i = 27 MWh на ден**
- При анаеробна дигестија се добива: **ERP_{AD} = 19,5 MWh на ден**
- При зафаќање депониски гас се добива: **ERP_{LG} = 1,05 MWh на ден**

Кочани

Население: 38 000 жители

Вкупна количина на отпад во 2015 година: 22 143 тони

Извор: КЈП водовод Кочани, Презентација на резултати од проектот за собирање на цврст отпад во Општина Кочани, 2016





Дијаграм 11.2 Вкупна количина на комунален отпад за Кочани

Состав на отпадот, како и пресметката на ниската калорична вредност (*LCV*) се претставени во табелата 11.2 подолу:

Табела 11.2, Видови, количества и пресметка на *LCV* вредност, за проектирано количество отпад (2015 година)

Материјал	Количина тони/годишно	Процент	MJ/kg материјал (Tchobanoglous Handbook)	Ниска калориска вредност (LCV) (MJ/kg MSW)
ХАРТИЈА И КАРТОН	2 329	10,52%	15,6	1,64
СТАКЛО	948	4,28%	0	0
МЕТАЛ	164	0,74%	0	0
ПЛАСТИКА	2 110	9,53%	32,4	3,09
ДРВО	115	0,52%	15,4	0
ОРГАНСКИ ОСТАТОЦИ	10 821	48,87%	4,6	2,25
ОСТАНАТО	5 656	25,54%	4,0	1,02
ВКУПНО	**22 143**	**100%**		**8**

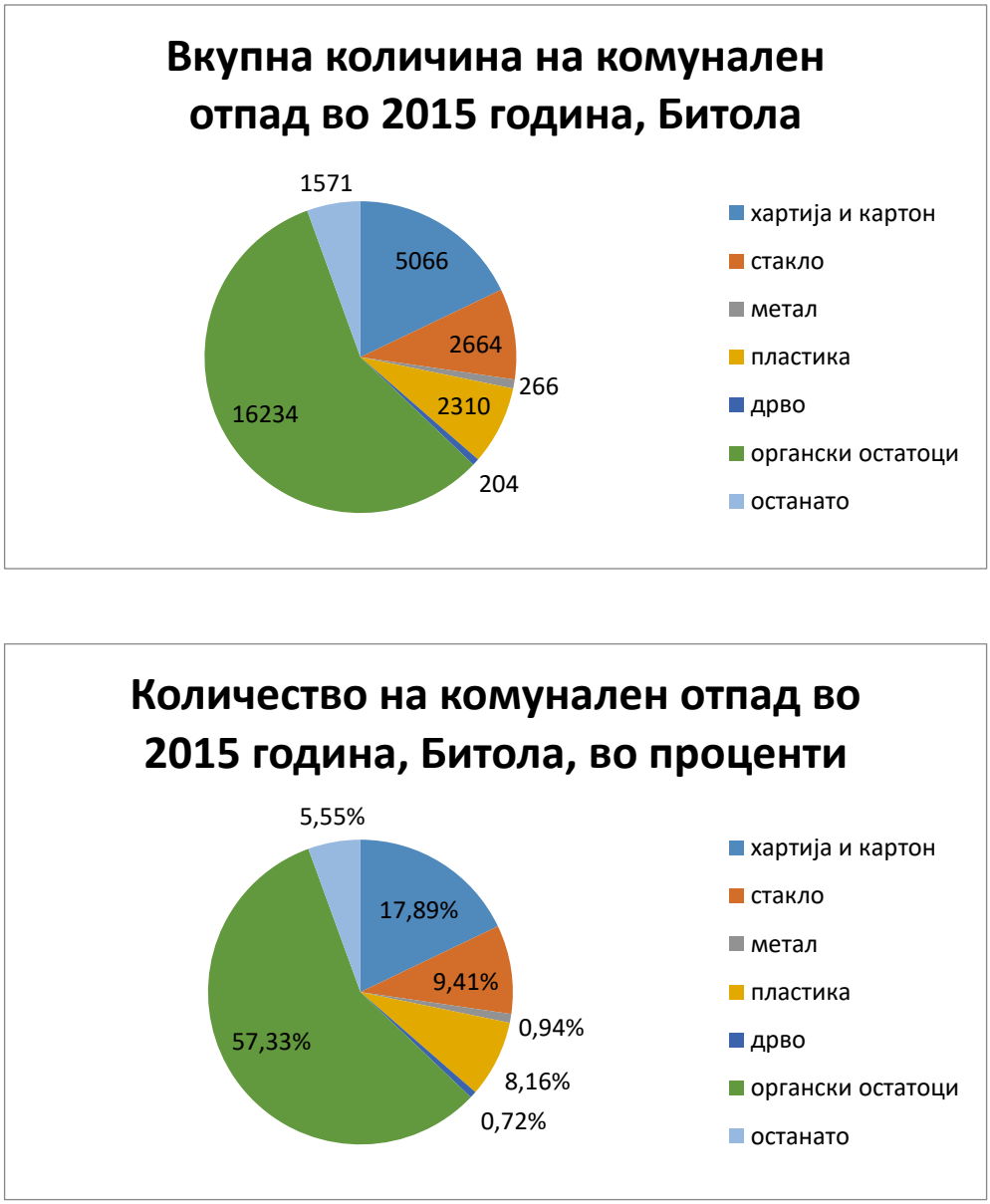
- При согорување (согорување) се добива: **ERP_i = 8,7 MWh на ден**
- При анаеробна дигестија се добива: **ERP_{AD} = 4,91 MWh на ден**
- При зафаќање депониски гас се добива: **ERP_{LG} = 1,14 MWh на ден**

Битола

Население: 75 000 жители

Вкупна количина на отпад во 2015 година: 23 815 тони

Извор: ЈП Комуналец, Битола, Испитување на составот и количините на комуналниот отпад на територија на Општина Битола, 2016



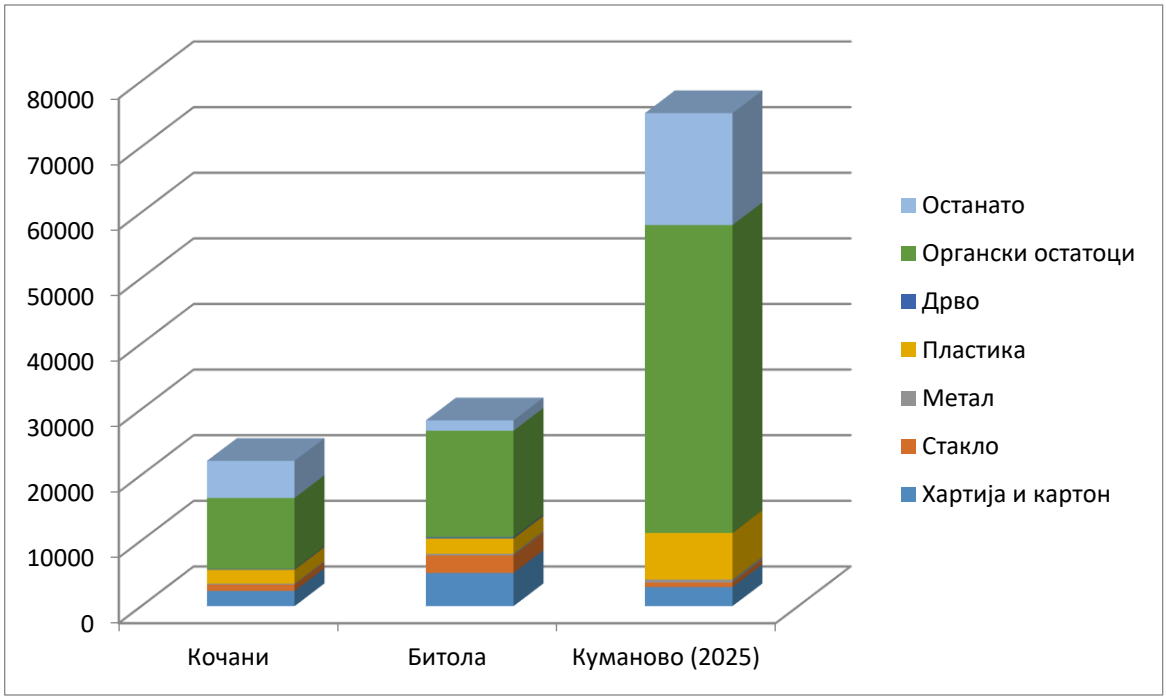
Дијаграм 11.3 Вкупна количина на комунален отпад за Битола

Состав на отпадот, како и пресметката на ниската калорична вредност (*LCV*) се претставени во табелата подолу:

Табела 11.3, Видови, количества и пресметка на *LCV* вредност, за проектирано количество отпад (2015 година)

Материјал	**Количина тони/годишно**	**Процент**	**MJ/kg материјал (Tchobanoglous Handbook)**	**Ниска калориска вредност (LCV) (MJ/kg MSW)**
ХАРТИЈА И КАРТОН	5 066	17.89%	15,6	2.79
СТАКЛО	2 664	9.41%	0	0
МЕТАЛ	266	0.94%	0	0
ПЛАСТИКА	2 310	8.16%	32,4	2.64
ДРВО	204	0.72%	15,4	0.11
ОРГАНСКИ ОСТАТОЦИ	16 234	57.33%	4,6	2.63
ОСТАНАТО	1 571	5.55%	4,0	0.22
ВКУПНО	**28 315**	**100%**		**8.39**

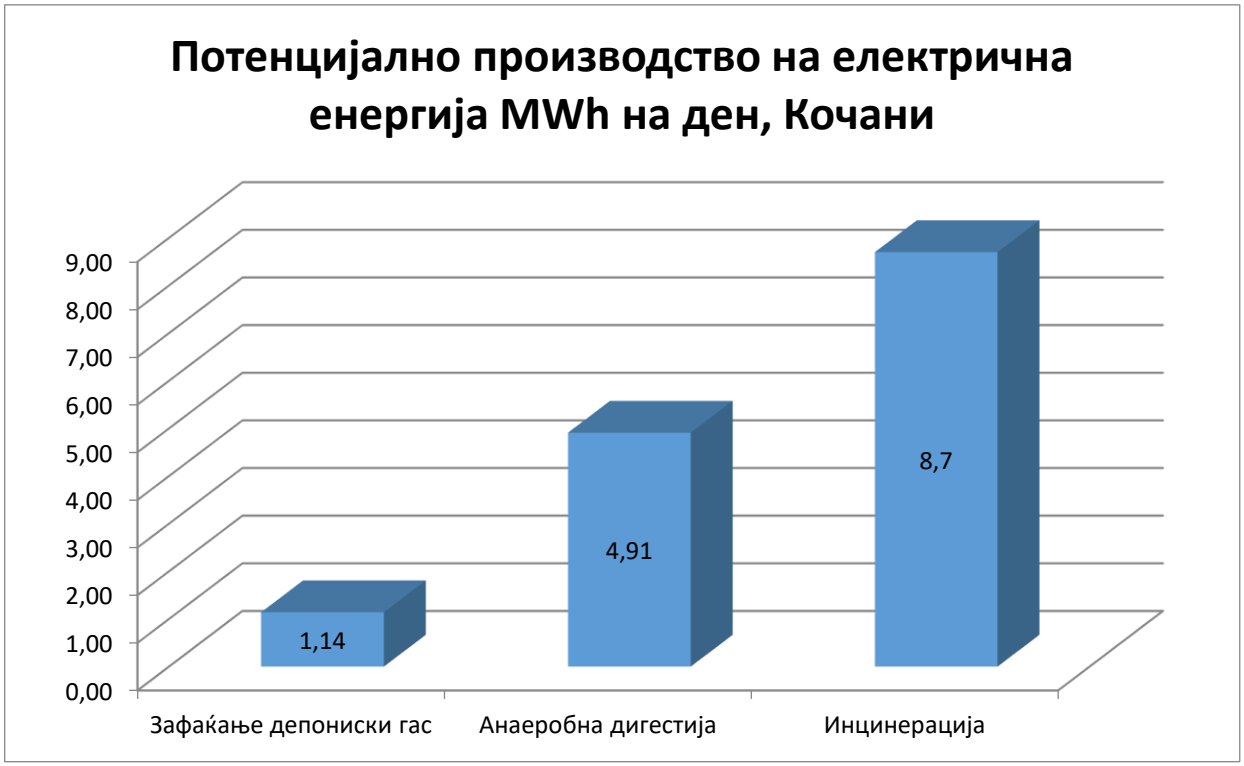
- При согорување (согорување) се добива: **ERP_i = 11,7 MWh на ден**
- При анаеробна дигестија се добива: **ERP_{AD} = 7,7 MWh на ден**
- При зафаќање депониски гас се добива: **ERP_{LG} = 1.2MWh на ден**



Дијаграм 11.4 Компаративен приказ на содржината на отпад во трите града

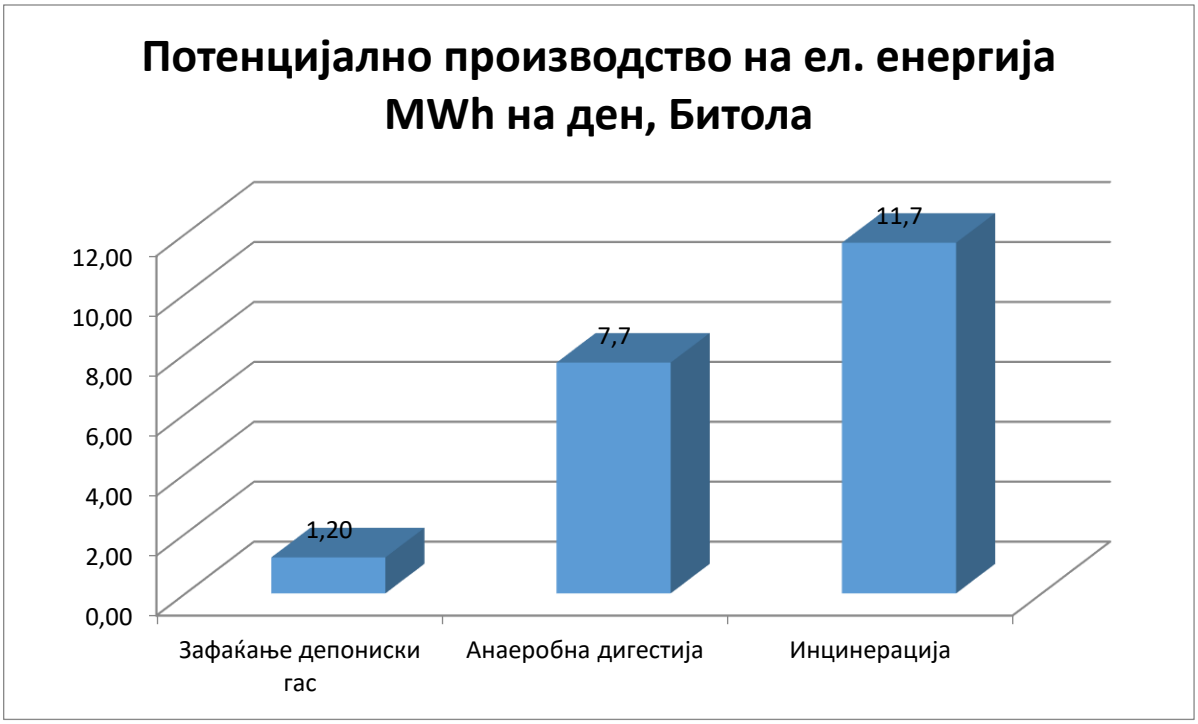
Иако без малку бројот на жители на Битола е двапати поголем од бројот на жители на Кочани, според податоците од претпријатијата за справување со комунален отпад, во 2015 година се забележува приближно еднакво количество на комунален отпад, при што процентот на органски остатоци во Битола е значително поголем.

Од друга страна, компарирајќи ги податоците за Битола со предвидените за кумановската регионална депонија, при население поголемо два и пол пати се јавува и двапати повеќе комунален отпад.



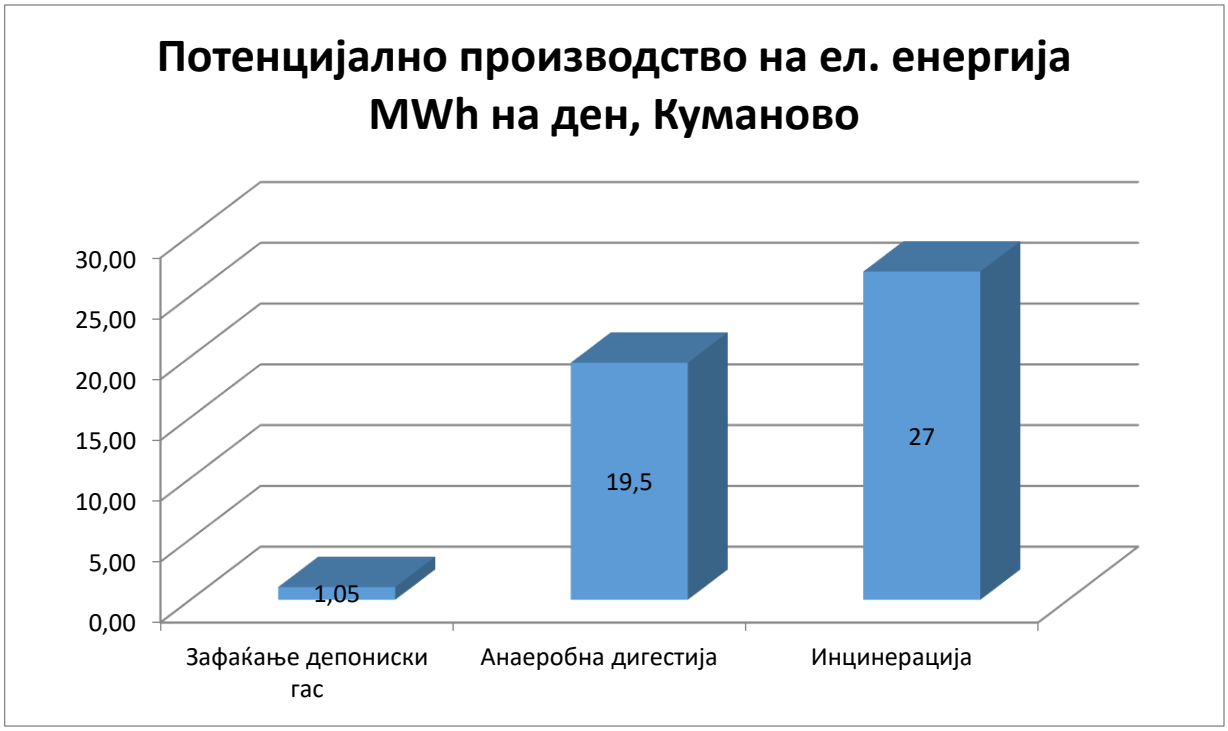
Дијаграм 11.5 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Кочани, по трите воспоставени методи

Врз основа на составот и количеството на комунален отпад, во Кочани имаме потенцијално производство на електрична енергија од комунален отпад со анаеробна дигестија што е за повеќе од четирипати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, а во исто време количеството на потенцијалното производство на електрична енергија при согорување е 1,7 пати поголема од производството на електрична енергија со анаеробна дигестија.



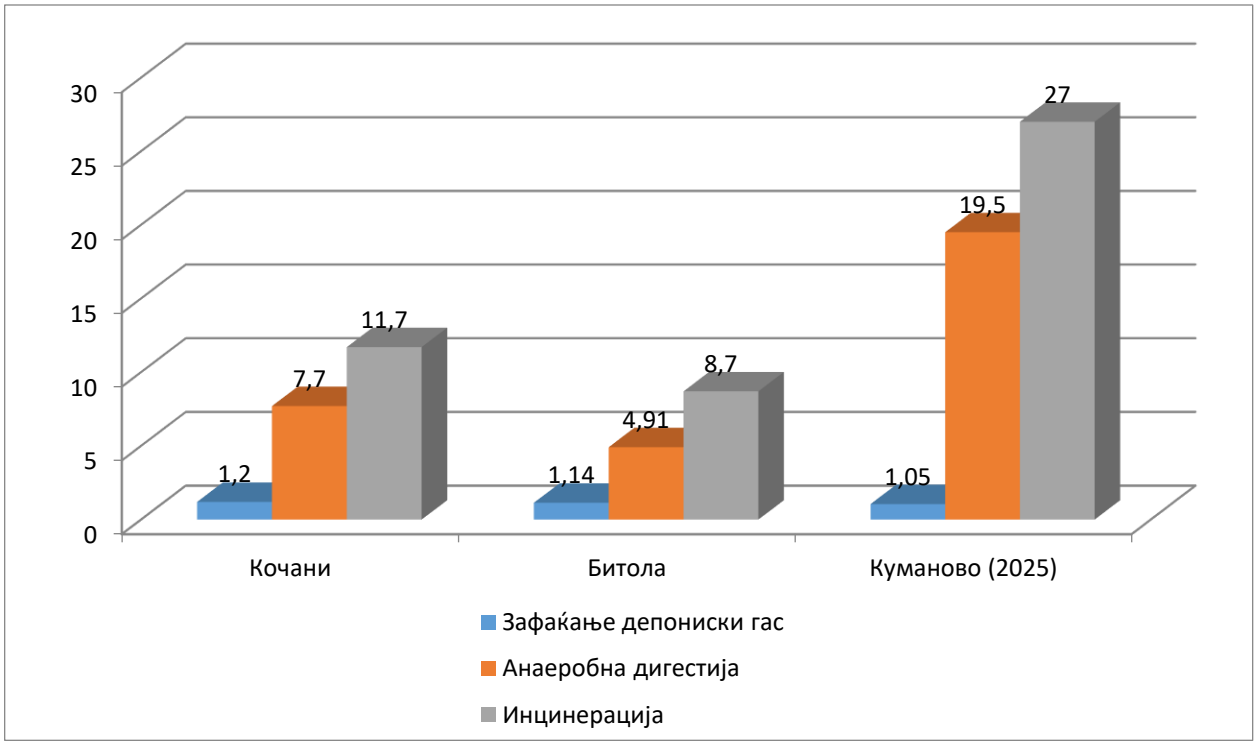
Дијаграм 11.6 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Битола, по трите воспоставени методи

Врз основа на составот и количеството на комунален отпад, во Битола имаме потенцијално производство на електрична енергија од комунален отпад со анаеробна дигестија што е за 6,5 пати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, а во исто време количеството на потенцијалното производство на електрична енергија при согорување е 1,5 пати поголема од производството на електрична енергија со анаеробна дигестија.



Дијаграм 11.7 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Куманово, по трите воспоставени методи

Врз основа на составот и количеството на комунален отпад, во Куманово имаме потенцијално производство на електрична енергија од комунален отпад со анаеробна дигестија што е за 13 пати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, а во исто време количеството на потенцијалното производство на електрична енергија при согорување е 1,4 пати поголема од производството на електрична енергија со анаеробна дигестија.



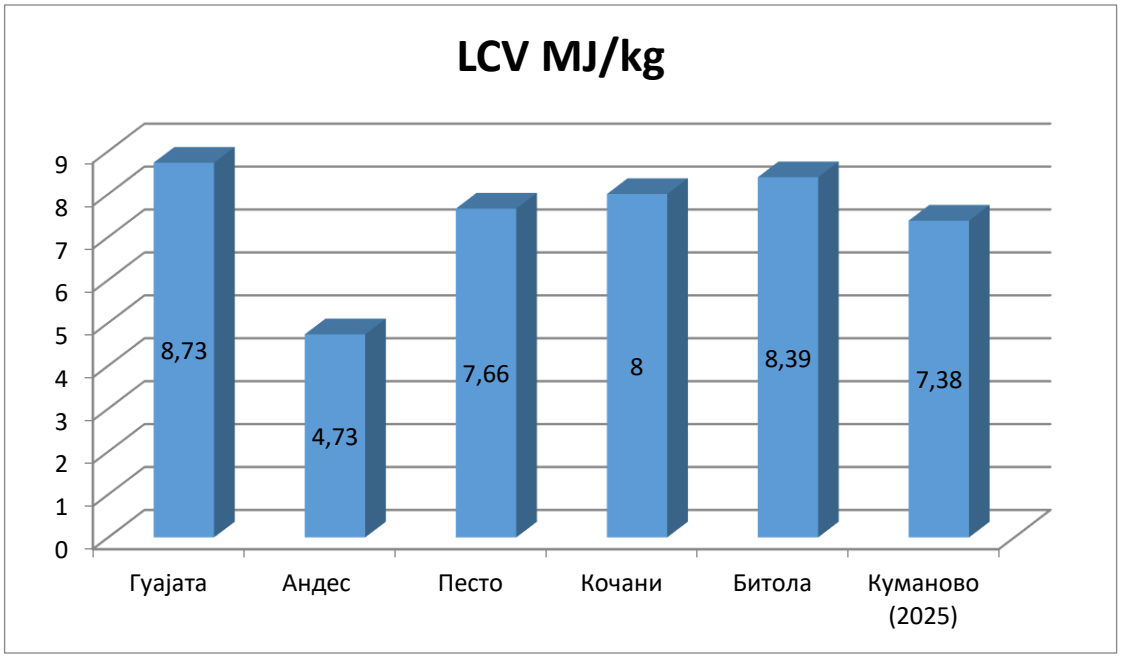
Дијаграм 11.8 Компаративен приказ на количеството на електрична енергија добиена со трите анализирани методи, изразено во MWh

Споредба со проекцијата на производството на електрична енергија од отпад во Колумбија

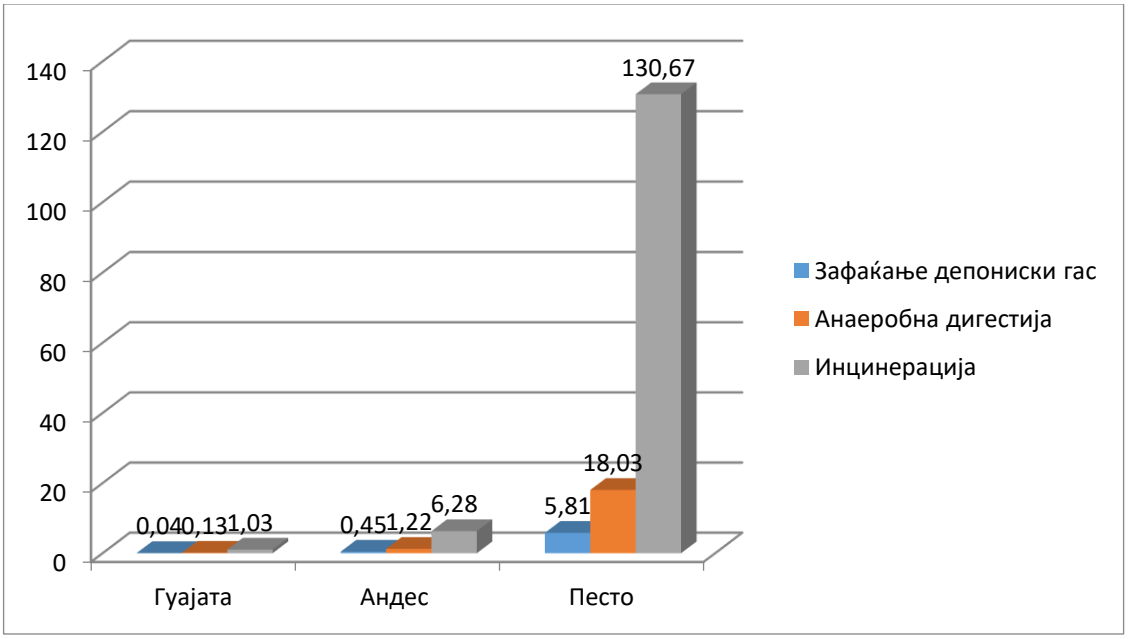
За ова истражување на енергетскиот потенцијал на отпадот, односно добивање електрична енергија од отпад, се врши компарирање со веќе постоечко истражување за производство на електрична енергија од отпад во Колумбија (*Santiago Alzate, et al, 2019*).

Во ова истражување се опфатени три града во Колумбија: Песто, Андес и Гуајата.

- Гуајата е град од 4 500 жители,
- Андес од 45 000 жители и
- Песто со 450 000 жители.



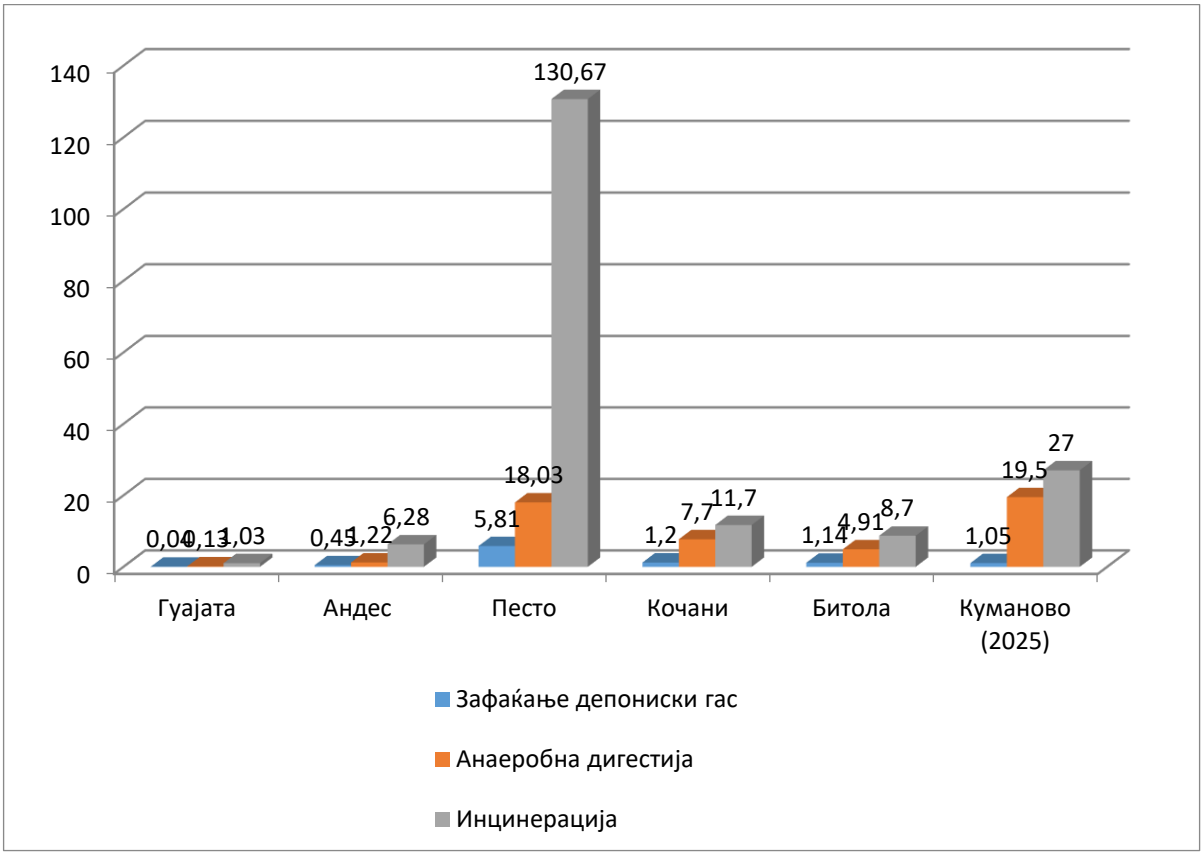
Дијаграм 11.9 Компаративен приказ на количеството на ниската калорична вредност на отпадот во градовите во Колумбија со Македонија



Дијаграм 11.10 Компаративен приказ на количеството на електрична енергија добиена со трите анализирани метода, изразено во MWh.

Врз основа на составот и количеството на комунален отпад, јасно се согледува меѓусебниот однос на потенцијалното производство на електрична енергија во:

- Гуајата - анаеробна дигестија е за трипати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, и при согорување е 10 пати поголема од производството на електрична енергија со анаеробна дигестија.
- Андес - анаеробна дигестија е за 2,7 пати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, и при согорување е 5,6 пати поголема од производство на електрична енергија со анаеробна дигестија.
- Песто - анаеробна дигестија е за 3,1 пати поголема отколку при зафаќање на депониски гас, и при согорување е 7,2 пати поголема од производство на електрична енергија со анаеробна дигестија.



Дијаграм 11.11 Потенцијално производство на електрична енергија во MWh, трите града во РСМ и трите града во Колумбија

Од компарацијата лесно се забележува дека при употребата на трите методи, најмногу при методата на согорување на комуналниот отпад, се добива најголем потенцијал за производство на електрична енергија.

Од ова се изведува и заклучок дека наместо помали градски постројки за третман на комуналниот отпад, потребно е размислување за големи регионални депонии, за подобрување на ефикасноста, а секако и заради економскиот аспект за изградба на истите.

ЗАКЛУЧОК

Во денешно време станува сè поочигледно дека човештвото се соочува со сериозни тешкотии во врска со отстранувањето на отпадот и заради тоа може да се доведе во незавидна позиција. Отстранувањето на отпадот е неизбежно, но посебни, систематски напори мора да бидат насочени кон планирање, воспоставување и имплементација на стратегија за справување со отпадот.

Еден од најголемите предизвици за современото општество е воспоставувањето на ефективна стратегија за управување и третман на комуналниот отпад. Оваа стратегија треба да ги земе предвиди економските, но и гледиштата на влијанијата на третманот на отпадот врз животната средина. Алтернативите за намалување на глобалното затоплување и емисиите на стаклениčките гасови вклучуваат искористување на отпадот како ресурс за добивање на енергија.

Во моментов постојат различни технолошки решенија за комуналниот цврст отпад, што можат од проблем отпадот да го претворат во извор на чиста енергија и корисни рециклирани суровини. Во исто време, влијанието на отпадот врз животната средина ќе се намали, со што се придонесува за човековото здравје и природните ресурси.

Поделбата на отпадот е услов за работа на постројките за конверзија на отпадот во енергија. Затоа, класификацијата на отпадот на самиот изворот треба да се промовира кај

населението. За промена на однесувањето на луѓето потребни се кампањи коишто треба да ги мотивираат граѓаните да ја покажат својата морална посветеност кон планетата. Ваквите кампањи треба да се обидат да ја подигнат свеста за животната средина. За подобра комерцијализација на отпадот што може да се употреби, исто така треба да се промовира и понатамошно да се мотивира сепарирање, рециклирање и повторна употреба на отпадот.

За се ова да стане реалност, од суштинско значење е владина интервенција, во форма на специјализирани регулаторни агенции за промовирање и супервизија на изградбата и работењето на објектите за третман на отпадот, како и постројки за производство на енергија од отпадот. Потребно е да се нагласи дека, од причини што постојат одредени влијанија врз животната средина (исцедок, прашина, згура), потребно е постојано да се следат одредени вредности, како и мерки и механизми за наметнување, почитување на законските одредби, правила и процедури, но и казни што треба да обезбедат *WTE* компаниите да ги исполнуваат стандардите за зачувување на животната средина.

Во овој магистерски труд е истражена и анализирана можноста за искористување на комуналниот мешан отпад за производство на електрична енергија, користејќи три методи: согорување (инцинерација), анаеробна дигестија и зафаќање на депониски гас. Од извршените пресметки може да се заклучи дека најмногу енергија може да се генерира со користење на согорувањето, а најмалку со зафаќањето на депонискиот гас.

Со ова се потврдува хипотезата на ова истражување, дека регионална депонија со постројка за производство на енергија од отпад не само што придонесува за намалувањето на штетните депониски влијанија врз животната средина, емисиите на стаклени̇чки гасови, пејзажот, безбедноста и здравјето на вработените, туку претставува и економски потенцијал за производство на енергија, избирајќи соодветна технологија, а врз основа на составот, енергетскиот потенцијал на отпадот и бројот на населението.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

➢ Стручна литература

1. A. A. Roberts, T. Shimaoka, (2008), "Analytical study on the suitability of using bentonite coated gravel as a landfill liner material", Journal of Waste Management, vol. 28, pp. 2635–2644, 2008
2. A. C. Caputo, P. M. Pelagagge (2002), "RDF production plants: I Design and costs", Applied Thermal Engineering, 2002
3. Alberta transfer stations technical guidance manual, Solid Waste Association North America, Alberta Environment, September 2008
4. Aline Bhering Trindade, José Carlos Escobar Palacio, Aldemar Martínez González, Oscar Almazán del Olmo (2018),"Advanced exergy analysis and environmental assesment of the steam cycle of an incineration system of municipal solid waste with energy recovery", Energy Conversion and Management, 2018
5. Alexander Klein, (2002), "Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes", [thesis], Columbia University; 2002
6. Antonio Massarutto, (2014), "Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system", Waste Management. 2015; 37: 45-57. DOI: 10.1016/j. wasman.2014.08.024
7. A. U. Zaman, (2010), Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method, International Journal of Environmental Science & Technology volume 7, pages225–234 (2010)
8. A. Wellinger, J. D. Murphy and D. Baxter, The Biogas Handbook. Science, Production and Applications, Cambridge: Woodhead Publishing, 2013.
9. Babcock & Willcox Vølund. (2012),"21' Century Advanced Concept for Waste"-Fired Power Plants [Internet]. 2012.
10. Bagchi, A. (2004). Design of landfills and integrated solid waste management, 3rd Ed., Wiley, Hoboken, NJ.
11. Batchelder, M., Joseph, J. B., (1997), "Considerations on the mineralogical compositions of landfill liners", Mineralogical SocietyBulletin, vol. 115, pp. 3 – 7, 1997.
12. Bove, R.; Lunghi, P. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. Energy Convers. Manag. 2006
13. Branchini L. (2012), "Advanced waste-to-energy cycles" [thesis]. Università di Bologna; 2012
14. Chian, E. S. K. and F. B. DeWalle. (1977), Evaluation of Leachate Treatment, Vol. 1,Characterization of Leachate EPA-600/ 2-77-186a. Cincinnati: EPA.

15. Cossu, R., R. Stegmann, G. Andreottola, and P. Cannas., (1989), "Biological Treat-ment." InSanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impacted. by T. H. Christensen, R. Cossu, and R. Stegmann, pp. 251□253.
16. Cucchiella F, D'Adamo I, Gastaldi M. (2017),"Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill". Energy Conversion and Management. 2017; 131: 18-31. DOI: 10.1016/j. enconman.2016.11.012
17. D. C. Wilson, L. Rodic, P. Modak, R. Soos, A. Carpintero, C. Velis, M. Iyer and O. Simonett, "Global Waste Management Outlook," United Nations, Environment Program and International Solid Waste Association, Osaka and Wien, 2015
18. Decision-maker's Guide to Solid Waste Management, EPA/530-SW89-072, U. S.EPA Environmental Protection Agency Washington.
19. Di Maria F, Contini S, Bidini G, Boncompagni A, Lasagni M, Sisani F., (2016),"Energetic efficiency of an existing waste to energy power plant", Energy Procedia. 2016; 101: 1175-1182. DOI: 10.1016/j. egypro 2016.11.159
20. Државен завод за статистика, 2017
21. EAWAG; Sandec, "Global Waste Challenge, Situation in Developing Countries," Swiss Federal Institue of Aquatic Science and Technology and Sandec, Dübendorf, 2008
22. Edwin Khew, (2010), Organic Waste Treatment TechnologiesTechnologie, Innovative Waste Management Technologies & Solutions, ISWA-WMRASSSTechnical Workshop 2010
23. Emission Factors Documentation for Ap-42, section 2.4, Municipal solid waste landfills, US EPA, August 1997
24. Erkut E., Karagiannidis A., Perkoulidis G., Tjandra S. S. A multi criteria facility location model of municipal solid waste management in North Greece, Available online 17 november 2006
25. EU, "Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration,"European Commission, Brussel, 2006
26. Fachverband Biogas, "Biowaste to Biogas," Freising, 2016
27. Fenn, D. G., K. J. Hanley, and T. V. DeGeare., (1975), Use of the Water BalanceMethod for Predicting Leachate Generationfrom Solid Waste Disposal Sites, EPAOSWMP, SW-168. Washington, D. C
28. Fizicke stetnosti, 2013 univerzitet u Nisu, prof. dr.Dragan Cvetkovic
29. Florin-Constantin Mihai, (2019), Construction and DemolitionWaste in Romania: The Route from Illegal Dumping to Building Materials, Sustainability 2019,11, 3179; doi: 10.3390/su11113179
30. Gerjen I. Slim et al., (2016), "Optimization of Polymer-Amended Fly Ash and Paper Pulp Millings Mixture for Alternative Landfill Liner", Procedia Engineering, vol. 145, pp. 312 – 318, 2016.

31. GolomeovaS., Srebrenkoska V.. Krsteva S., Spasova S., (2013), Solid Waste Treatment Technologies, Machines, Technologies, Materials, 10th International congress- Poster section, Scientific- Technical Union of Mechanical engineering, Varna, 18-20 September 2013
32. Gómez, A.; Zubizarreta, J.; Rodrigues, M.; Dopazo, C.; Fueyo, N. Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. Renew. Energy 2010, 35, 498–505.
33. Harris, J. M., D. Purchewitz, and D. R. Reinhart. 1999. "Leachate Management forthe New Millennium."Proceedings4thannual SWANA Landfill Management Symposium, Denver.
34. Hettiarachchi, C. H., Hettiaratchi, J. P. A., Hunte, C., and Meegoda, J. N. (2013)."Operationof a landfill bioreactor in a cold climate: Early results and lessons learned."J. Hazard. Toxic Radioactive Waste Manage., 10.1061/ (ASCE) HZ. 2153-5515.0000159, 307–316.
35. Hsieh, H. N., Hettiaratchi, J. P. A., El Haggar, S., Meegoda, J. N., and Stressel, R. I. (2008)."Towards the development of sustainable landfills."Geo Congress, ASCE, Reston, VA, 344–351
36. https://mk. wikipedia.org/wiki/Североисточен-регион)
37. https://en. wikipedia.org/wiki/Transfer_station_ (waste_management)
38. https://en. wikipedia. org/wiki/Waste-to-energy
39. http://www. advanceddisposal.com/media/10751/landfill_gas_to_energy_diagram_946x333.jpg,
40. Ilic O., Trajkovic S., Upravljanje otpadom u skladu sa EU Ekoloskim standardima, studija slucaja: Sanitarna deponija "Vrbak"; nauka I praksa, 2008
41. JN Meegoda, H Hettiaratchi, Joseph PA Hettiaratchi, (2016), Landfill Design and Operation, 2016 American Society of Civil Engineers
42. J. O. Afolayan, C. M.O. Nwaiwu, (2005), "Reliability-based assessment of compacted lateritic soil liners", Journal of Computers and Geotechnics, vol. 32, pp. 505–519, 2005
43. Jorge Jaramillo, (2003), Guidelines For The Design, Construction and Operation of Manuel Sanitary Landfills, Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 2003
44. Karajgi SB, Yaragatti UR, Kamalapur GD. (2012),"Modeling of power generation using municipal solid waste in India". International Journal of Electrical and Computer Engineering. 2012; 2: 197-202. DOI: 10.11591/ijece. v2i2.270
45. King, D. and A. Mureebe., (1992), "LeachateManagement Successfully Implemented atLandfill."Water Environment and Technol-ogy4, no. 9: 18
46. K. J. Osinubi and A. O. Eberemu, (2013), "Hydraulic conductivity of compacted lateritic soil treated with bagasse ash", Int. J. Environment and Waste Management, Vol. 11, No. 1, pp. 38-58, 2013.

47. K. Wang-Yao, S. Towprayoon, C. Chiemchaisri, S. h. Gheewala and A. Nopharatana, "Seasonal Variation of Landfill Methane Emissions from Seven Solid Waste Disposal Sites in Central Thailand," in The 2nd Joint Internation Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006), Bangkok, 2006.
48. "Landfill liners", Journal of Engineering Geology, vol. 80, pp. 271–281, 2005.
49. Leckner B., (2014),"Process aspects in combustion and gasification Waste-to-Energy (WtE) units." Waste Management. 2015; 37: 13-25. DOI: 10.1016/j. wasman.2014.04.019
50. Lema, J. M., R. Mendez, and R. Blazquez., (1988), "Characteristics of Landfill Leachatesand Alternatives for Their Treatment: AReview."Water, Air, and Soil Pollution 40: 223□250.
51. Leme, M. M.V.; Rocha, M. H.; Lora, E. E.S.; Venturini, O. J.; Lopes, B. M.; Ferreira, C. H. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal SolidWaste (MSW) in Brazil. Resour. Conserv. Recycl. 2014, 87, 8–20;
52. Lino F, Ismail K. (2017),"Incineration and recycling for MSW treatment". Case study of Campinas, Brazil. Sustainable Cities and Society. 2017; 35: 752-757. DOI: 10.1016/j. scs.2017.09.028
53. Lombardi L, Carnevale E, Corti A. (2015), "A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste", Waste Management. 2015; 37: 26-44. DOI: 10.1016/j. wasman.2014 11.010
54. LU Hai-jun et al, (2008), "Study on the adsorption of Cr (VI) onto landfill liners containing granular activated carbon or bentonite activated by acid", Journal of China University of Mining & Technology, Vol. 18, pp. 0125–0130, 2008.
55. Mavrotas G, Skoulaxinou S, Gakis N, Katsouros V, Georgopoulou E. (2013), "A multi-objective programming model for assessment the GHG emissions in MSW management", Waste Management. 2013; 33: 1934-1949. DOI:
56. Mazzoni L, Ahmed R, Janajreh I. (2017),"Plasma gasification of two waste streams: Municipal solid waste and hazardous waste from the oil and gas industry". Energy Procedia. 2017; 105: 4159-4166. DOI: 10.1016/j. egypro.2017.03.88
57. Meratizaman M, Amidpour M, Jazayeri SA, Naghizadeh K. (2010),"Energy and exergy analyses of urban waste incineration cycle coupled with a cycle of changing LNG to pipeline gas", Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2010; 2: 217-221. DOI: 10.1016/j. jngse.2010 08.005
58. Miroslav Babic, (2007), "Energija biomase", Ma[inski fakultet, Kraguevac, 2007
59. Násner A, Lora E, Palacio J, Rocha M, Restrepo J, Venturini O, et al. (2017),"Refuse derived fuel (RDF) production and gasification in a pilot plant integrated with an Otto cycle ICE through aspen plusTM modelling: Thermodynamic and economic viability". Waste Management. 2017; 69: 187-201. DOI: 10.1016/j. wasman.2017.08.006

60. Ng, K. T., and Lo, I. M., (2007), "Mechanical behaviors of a synthetic paste of tire chips andpaper sludge in MSW landfill daily cover applications."Can. Geotech. J., 44 (8), 928–941
61. Nickolas J.; Themelis, Priscilla A.; Ulloa,: Methane generation in landfills; August 2006
62. Nickolas J. Themelis and Young Hwan Kim, Material and energy balances in a large-scale aerobic bioconversion cell. Waste Management & Research, 2002.
63. N. S. Thankam, V. Rekha, Uma Shankar, (2017), A comprehensive review of different materials as liners in landfills, International Journal of Civil Engineering and Technology 8 (7): 765-773,
64. Ofori-Boateng C, Lee KT, Mensah M. (2013),"The prospects of electricity generation from municipal solid waste (MSW) in Ghana: A better waste management option.", Fuel Processing Technology. 2013; 110: 94-102. DOI: 10.1016/j. fuproc.2012.11.008
65. Ola S. A., (1983), "Geotechnical properties and behaviour of some Nigerian lateritic soils", Journal of Engineering, pp. 61–84, 1983.
66. Ouda, O. K.M.; Raza, S. A.; Al-Waked, R.; Al-Asad, J. F.; Nizami, A.-S. Waste-to-energy potential in theWestern Province of Saudi Arabia. J. King Saud Univ. Eng. Sci. 2017, 29, 212–220.
67. Panepinto D, Tedesco V, Brizio E, Genon G. (2015),"Environmental performances and energy efficiency for MSW gasification treatment". Waste and Biomass Valorization. 2015; 6: 123-135. DOI: 10.1007/s12649-014-9322-7
68. Phyllis, (2011),"The Composition of Biomass and Waste". Energy research Centre of theNetherlands (ECN). http://www. ecn.nl/phyllis
69. Porteous A. (2001),"Energy from waste incineration—A state of the art emissions review with an emphasis on public acceptability". Applied Energy. 2001; 70: 157-167. DOI: 10.1016/S0306-2619 (01) 00021-6
70. Preparation of tehnical and tendering documentation for closure of noncompliant landfills. dumpsites for East and Northeast region, Landfills Closure Program Report
71. PV Sivapullaiah, BP Naveen, TG Sitharam, (2016), Municipal Solid Waste Landfills Construction and Management-A FewConcerns, Int J Waste Resour, Volume 6 • Issue 2 • 1000214
72. P. V.Sivapullaiah, A. Sridharan, V. K. Stalin, (2000), "Hydraulic conductivity of bentonite–sand mixtures", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, pp. 406-413, 2000.
73. Qian, X., Koerner, R. M., and Gray, D. H., (2002). "Geotechnical aspects of landfill design andconstruction", Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
74. Reddy, K. R., and Bogner, J. E. (2003). "Bioreactor landfill engineering for acceleratedstabilization of municipal solid waste."Int. e-Conf. on Modern Trends in FoundationEngineering: Geotechnical Challenges and Solutions, Indian Institute of Technology, Madras, 22.

75. Reddy, K. R., Hettiarachchi, H., Gangathulasi, J., Parakalla, N., Bogner, J., and Lagier, T. (2009). "Compressibility and shear strength of landfillled municipal solid waste atOrchard Hills Landfill."Waste Manage. Res., 27 (6), 578-587
76. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration – August 2006
77. Регионален план за управување со отпадот на Североисточен Регион, Скопје 2014
78. Reinhart, D. R., and T. Townsend., (1998),."Assessment of Leachate Collection SystemClogging at Florida Municipal Solid WasteLandfills." Report to the Florida Center forSolid and Hazardous Waste Management
79. S. Andrejkovicˇova´ et al., (2008), "An investigation into the use of blends of two bentonites for geosynthetic clay liners", Journal of Geotextiles and Geomembranes, vol. 26 pp. 436–445,2008.
80. Santiago Alzate, Bonie Restrepo-Cuestas and Álvaro Jaramillo-Duque, Municipal Solid Waste as a Source of Electric Power Generation in Colombia: A Techno-Economic Evaluation under Different Scenarios, 2019
81. Sharma, H. D., and Reddy, K. R. (2004). Geoenvironmental engineering: Site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies, Wiley, New Jersey
82. Sever Akdağ A, Atımtay A, Sanin F. (2016),"Comparison of fuel value and combustion characteristics of two different RDF samples", Waste Management. 2016; 47: 217-224. DOI: 10.1016/j. wasman.2015.08.037
83. Studija prostornog razmestaja regionalnih deponija I transfer stanica na podrucju Ap Vojvodine, I faza utvrdjivanja kriterijuma za lociranje regionalnih deponija I transfer stanica, Strucni tim JP"Zavod za urbanizam Vojvodine"Novi Sad, 2005
84. S. Y. Umar et al., (2015), "Hydraulic Conductivity of Compacted Lateritic Soil Partially Replaced with Metakaolin", Journal of Environment and Earth Science, Vol. 5, No. 4, pp. 53-64, 2015.
85. T. Chalermyanont et al., (2009), "Potential use of lateritic and marine clay soils as landfill liners to retain heavy metals", Journal of Waste Management, vol. 29, pp. 117–127,2009
86. Tchobanoglous, G., and Kreith, F., (2002),."Handbook of solid waste management", 2nd Ed., McGraw-Hill, New York
87. Thakare S, Nandi S. (2016),"Study on potential of gasification technology for municipal solid waste (MSW) in Pune city". Energy Procedia. 2016; 90: 509-517. DOI: 10.1016/j. egypro.2016.11.218
88. Thomas Stringfellow and Robert Witherel, The use of municipal waste combustion for energy in the U. S. is not common, US, 2014
89. Townsend F. C, Manke G. P, Parcher J. V., (1971), "The influence of sesquioxides on laterite soils properties", Highway Res Board Record, vol. 374, pp. 80–92,1971

90. U. Baserga, "Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, FAT Bericht Nr. 5," Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, 2000.
91. Una Nowling, (2016), "Waste to Energy: An Opportunity Too Good to Waste, or a Waste of Time?", Connected Plant Conference, 2016
92. UNFCCC, "United Nation Framework Convention on Climate Change," [Online]. Available: https://cdm. unfccc.int/Projects/projsearch. html.
93. U. S. EPA. (2005)."Introduction to United States environmental protection agency landdisposal units (40 CFR parts 264/265, subparts K, L, M, N)."Office of Solid Waste andEmergency Response, USGPO, Washington, DC
94. Valkenburg C, Gerber M, Walton C, Jones S, Thompson B, Stevens D. (2008), "Municipal Solid Waste (MSW) to Liquid Fuels Synthesis", Volume 1: Availability of Feedstock and Technology [Internet]. 2008
95. Vego G. Kucar-Dragicevic S., Koprivanac N., Application of multi criteria decision making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia, November 2007
96. Velghe I, Carleer R, Yperman J, Schreurs S. (2011),"Study of the pyrolysis of municipal solid waste for the production of valuable products". Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2011; 92: 366-375. DOI: 10.1016/j. jaap.2011.07.011
97. Venkataramani, E. S., R. Ahlert, and P. Corbo., (1974). "Biological Treatment of Landfill Leachates."CRC Critical Reviews inEnvironmental Control 14, no. 4: 333□376.Based on research conducted by W. C. Boyleand R. K. Ham. 1974. "Treatability of Leachate from Sanitary Landfills." Journal Water Pollution Control Federation46, no. 5.
98. Vesilind, P. A., Peirce, J. J., and Weiner, R. F. (1988), "Environmental engineering", 2nd Ed., Butterworth Publishers, Stoneham, MA
99. Vesilind, P. A., Worrell, W. A., and Reinhart, D. R. (2002). Solid waste engineering, Brooks/Cole-Thomson Learning, Pacific Grove, CA
100. Waste Forms Technology and Performance: Final Report by Committee on Waste Forms Technology and Performance and National Research Council, 2011
101. Waste transfer stations a manual for decision-making, U. S.Environmental Protection Agency Washington 2001
102. Wilson B, Williams N, Liss B, et al. (2013),"A Comparative Assessment of Commercial Technologies for Conversion of Solid Waste to Energy". Boca Raton, Florida: Enviro Power Renewable, Inc; 2013.
103. Wood S, Fanning M, Venn M, Whiting K. (2013),"Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies—Stage two", Case Studies [Internet]. 2013.
104. Wu D, Zhang A, Xiao L, Ba Y, Ren H, Liu L. (2017),"Pyrolysis characteristics of municipal solid waste in oxygen-free circumstance". Energy Procedia. 2017; 105: 1255-1262. DOI: 10.1016/j. egypro.2017.03.442

105. "www. dgengineering.de,"Available:http://www. dgengineering.de/images/Fliessbild-Pyrolyse-D-1.jpg
106. XueQiang, Lu Hai-jun, Li Zhen-ze, Liu Lei, (2014), "Cracking, water permeability and deformation of compacted clay liners improved by straw fiber", Journal of Engineering Geology, vol. 178, pp. 82-90, 2014.
107. Y. E.-A. Mohamedzein et al., (2005), "Assessment of crushed shales for use as compacted
108. Y. Vögeli, C. R. Lohri, A. Gallardo, S. Diener and C. Zurbrügg, "Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries," EAWAG, Dübendorf, 2014.

- **Користени веб-страници**

1. https://mk. wikipedia.org/wiki/Североисточен-регион)
2. https://en. wikipedia.org/wiki/Transfer_station_ (waste_management)
3. https://en. wikipedia. org/wiki/Waste-to-energy

Слики

- Слика 1.1 Пресек на типична модерна санитарна депонија
- Слика 1.2 Фази од операциите во биоќелиите
- Слика 2.1 Надземен тип на депонија
- Слика 2.2 Подземен тип на депонија
- Слика 2.3 Надземен и подземен тип на депонија
- Слика 2.4 Рововски тип на депонија
- Слика 3.1 Конструкција на (HDPE) полиетиленска облога со голема густина
- Слика 3.2 Примери на различни системи на облоги
- Слика 3.3 Шематски приказ на компонентите од водениот баланс
- Слика 3.4 Шематски приказ на пасивен гасен отвор
- Слика 3.5 Вертикален отвор за извлекување на депониски гас
- Слика 3.6 Попречен пресек на конечна покривка
- Слика 3.7 Напречен пресек на канал и базен кај типична депонија
- Слика 4.1 Конструкција на секвенците на полнење кај типична депонија
- Слика 4.2 Густина на нивото во зависност од дебелината и бројот на премини
- Слика 4.3 Пример на одложување на отпад во депонија со помош на камион
- Слика 4.4 Пример на методи на положување на отпадот во депонија
- Слика 5.1 Шематски приказ на лајсиметар за собирање на примероци
- Слика 5.2 Шематски приказ на опрема за мониторинг на подземни води
- Слика 5.3 Шематски приказ на сонда за мониторинг на гас
- Слика 6.1 Термохемиски процеси на конверзија и обновените продукти
- Слика7.1 Претоварна станица во регионалниот систем во управување со комуналниот отпад
- Слика 9.1 Постројка за согорување на мешовит комунален отпад
- Слика 9.2 Компоненти на постројка за согорување на мешовит комунален отпад
- Слика 9.3 Органски залихи пред третман, во фабрика за биогас
- Слика 9.4 Компоненти и крајна употреба на постројка за анаеробна дигестија.
- Слика 9.5 Депонија (горе), депонија во изградба (долу)

- Слика 9.6 Компоненти на системот за зафаќање на депониски гас со производство на електрична енергија
- Слика 9.7 Пиролизата и гасификацијата бараат специфични видови на отпад
- Слика 9.8 Компоненти на постројка за пиролиза за специфично постапување со цврст отпад.

Дијаграми

- Дијаграм 11.1 Предвидено количество на мешовит отпад
- Дијаграм 11.2 Вкупна количина на комунален отпад за Кочани
- Дијаграм 11.3 Вкупна количина на комунален отпад за Битола
- Дијаграм 11.4 Компаративен приказ на содржината на отпад во трите града
- Дијаграм 11.5 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Кочани, по трите воспоставени методи
- Дијаграм 11.6 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Битола, по трите воспоставени методи
- Дијаграм 11.7 Споредба на предвиденото производство на електрична енергија во Куманово, по трите воспоставени методи
- Дијаграм 11.8 Компаративен приказ на количеството на електрична енергија добиена со трите анализирани метода, изразено во MWh
- Дијаграм 11.9 Компаративен приказ на количеството на ниската калорична вредност на отпадот во градовите во Колумбија со Македонија
- Дијаграм 11.10 Компаративен приказ на количеството на електрична енергија добиена со трите анализирани метода, изразено во MWh
- Дијаграм 11.11 потенцијално производство на електрична енергија во MWh, трите града во РМ и трите града во Колумбија.

Табели

- Табела 6.1. Просечниот состав на комуналниот цврст отпад
- Табела 6.2 Композиција и енергетска вредност на комуналниот цврст отпад и
- отпадното (RDF) гориво
- Табела 6.3 Споредба меѓу различни технологии за термички третман на КЦО
- Табела 6.4 Фази на анаеробната дигестија
- Табела 6.5 Проценка на трошоците за различни видови технологии за третман на отпадот
- Табела 9.1 Влијанија на претходно одделување на рециклибилни материјали врз согорувањето
- Табела 9.2 Индикативни примери на метан и енергетски приноси на избрани органски отпадни материи преку *анаеробна дигестија* (адаптирани со приноси на метан по m^3 (Nm^3, на 0 °C, 1.01325 бар и релативна влажност на гас од 0 %) на тон влажна тежина (**twet**) на добиточна храна и 37,8 MJ на Nm^3 CH4 (поголема грејна вредност).
- Табела 11.1 Видови, количества и пресметка на LCV вредност за проектирано количество отпад (2025 година)
- Табела 11.2 Видови, количества и пресметка на LCV вредност за проектирано количество отпад (2015 година)
- Табела 11.3 Видови, количества и пресметка на LCV вредност за проектирано количество отпад (2015 година).