

## THERMAL PLASMA GASIFICATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND THE BENEFITS FOR THE CITY OF SHUMEN

**Abstract:** Traditionally, waste in Bulgaria is disposed in landfills and Thermal Power plants that are harmful for the environment. On the other hand, waste separation process is a good and innovative way, which is hardly followed. In this paper, a better and ecologically accepted method is proposed, which can benefit greatly the Shumen District and the whole country.

---

### Author information:

#### Yordanka Yankova-Yordanova

Chief assist. prof., PhD  
Faculty of Technical Sciences  
at Konstantin Preslavsky – University of Shumen  
✉ [j.jordanova@shu.bg](mailto:j.jordanova@shu.bg)  
🌐 Bulgaria

#### Keywords:

Electrical energy, MSW, plasma treatment, thermal energy, wastes.

#### Ekaterina Konstantinova

student  
Faculty of Technical Sciences  
at Konstantin Preslavsky – University of Shumen  
✉ [katminkova2@gmail.com](mailto:katminkova2@gmail.com)  
🌐 Bulgaria

#### Tsvetoslav Tsankov

Assoc. prof. Eng., PhD  
Faculty of Technical Sciences  
at Konstantin Preslavsky – University of Shumen  
✉ [c.cankov@shu.bg](mailto:c.cankov@shu.bg)  
🌐 Bulgaria

### 1. Въведение

Хората замърсяват планетата в продължение на няколко столетия. В развитите страни средното количество боклук произведено от един човек е  $2\text{ kg/ден}$ . Въпросите за справянето с отпадъците са по-актуални от всякога и продължителното им отлагане предизвикват глобална криза.

Според данни на Евростат за 2016 г. България е на 4-то място по отпадъци в Европа –  $16\,907\text{ kg/h}$ , което се равнява на  $121\text{ Mt/год}$ . Според данни на Община Шумен населението към 2020 г. се предвижда да е 86 701 души, а област Шумен – 175 хил. жители. Нормата на натрупване на отпадъци на глава от населението е  $564\text{ kg/год}$ .

Една от възможностите, която помага в решаването на проблема е рециклирането. За съжаление, малко хора рециклират ненужните си материали. Има и много изделия (като електронни платки), направени от множество композити, които не могат да бъдат лесно

разградени. Ето защо голяма част от отпадъците отиват под земята. Но и депата са на изчерпване, което води до задълбочаване на проблема.

Друга възможност е преобразуването на отпадъците в гориво и използването му за производство на енергия. Но горенето е непопулярен метод за малките населени места поради замърсяването на въздуха, което предизвиква.

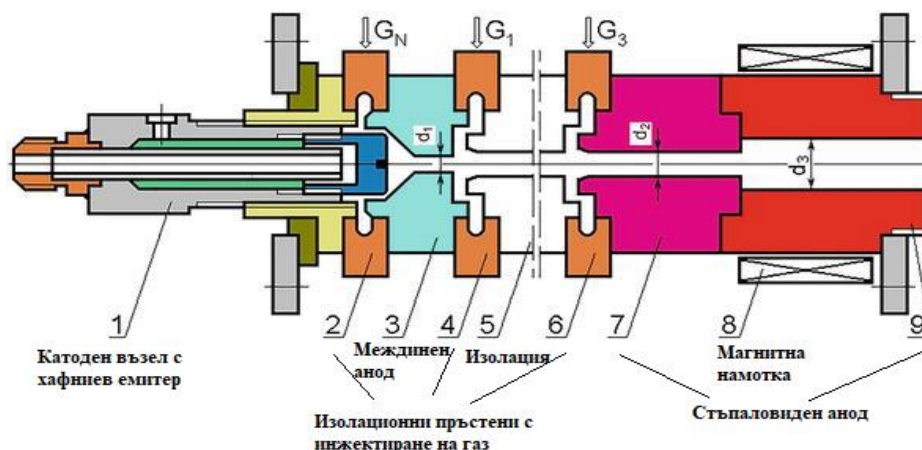
Сравнително нов тип преработка наречен рециклиране чрез плазмена газификация (понякога наричан „рециклиране чрез плазма“, „плазмена газификация“, „плазмена преработка на отпадъци“ и др.) цели да промени всичко това [4], [7].

## 2. Плазмена газификация

За да се оценят предимствата на тази технология, трябва да се направи съпоставка между процесите при конвенционалното изгаряне и плазмената газификация. Изгарянето използва химическата реакция, наречена горене, при която горивото (в този случай битовият отпадък) гори с кислород, за да отдели отпадъчни газове (обикновено въглероден диоксид, пара и различни видове замърсители на въздуха) и топлинна енергия.

Газификацията не включва горене. Вместо обикновеното нагряване (до няколкостотин градуса), се използва такова до много по-високи температури (няколко хиляди градуса), като боклукът се стопява в плазма и след това се превръща в газ.

Плазмените горелки имат много висока ефективност. Те са много здрави и могат да третираат всякакви отпадъци с минимална или никаква предварителна обработка. Високо-енергийната дъга създава температури от 1 500 °C до 15 000 °C (фиг. 1)

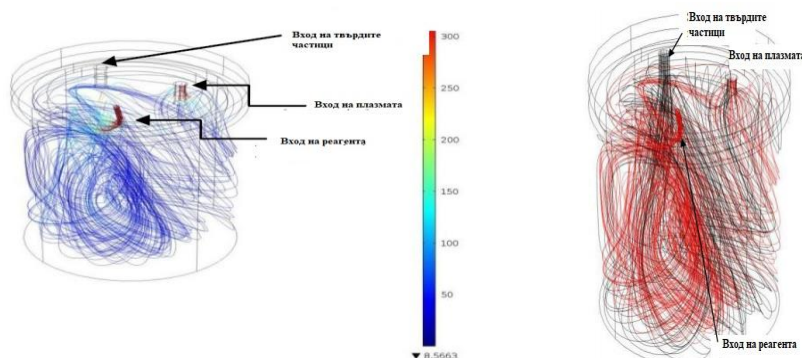


Фиг. 1. Линейна плазмена горелка с постоянен ток

При правотоковата плазма състоянието ѝ се поддържа между два електрода на плазмената горелка чрез електрическа и механична стабилизация, които са вградени в горелката. За генериране на плазмена колона са необходими две точки за закрепване на дъгата: една точка за твърд газ на катодния електрод и друга за газо-твърдото вещество на анодния електрод. Електродите са разделени с изолатор, за да се запази потенциалната разлика между тях. В точките на закрепване на плазмата има много високи температури, които надвишават температурата на топене на всеки електроден материал. Поради това се приема изпаряването на електродните материали в местата на закрепване и се използва водно охлаждане, за да се сведе до минимум скоростта на изпаряване им, като се цели да се увеличи експлоатационният живот на електрода. Дъговите плазмени факли могат да бъдат класифицирани като катодни.

Индивидуални термични плазмени характеристики, като ниво на входяща мощност, обем на плазмен пламък, температурно поле, разпределение на скоростта и химичен състав, могат да бъдат разглеждани като характеристики на системата (фиг. 2) [3], [5], [9].

Обикновено плазмената пещ за газификация е вид вертикален вал, който обикновено се използва в леярната промишленост за претопяване на скрап и желязо. Твърдите отпадъци са захранвани в горната част на пещта, която е облицована с подходящ огнеупорен материал, за да издържа на високи вътрешни температури и корозивните работни условия в пещта. Плазмените факли са инсталирани в дъното на пещта, за да се подобри топенето на неорганични материали, съдържащи се в твърдите отпадъци.



Фиг. 2. Реакции в газовия реактор

Един от най-разпространените крайни продукти, които се произвеждат при плазмената газификация за отпадъчни продукти, е електроенергията от горене на сингаз (synthetic gas). Това е продуктът, който може най-лесно да се използва от обществото.

Обикновено съставът на крайния газов продукт е  $H_2$  – 22%,  $CO$  – 23%,  $CH_4$  – 1,2 %,  $CO_2$  – 2,8 %, Ацетилен – 0,5 %,  $C_2H_6$  – 0,2 % и  $O_2$  – 0,2 % в 50 %  $N_2$  от плазменото захранване.

Твърди вещества като стъкло и метали се стопяват до образуване на материали, подобни на втвърдена лава, в която токсичните метали се капсулират [2], [8].

### 3. Проект за град Шумен

От скоро се говори за построяване на завод за преработка на отпадъци в кв. Дивдядово на гр. Шумен. Проектът е на немска фирма, която е готова да вложи 58 млн. евро в него. Производството ще включва преобразуването на боклуци в пелети.

При анализ на горенето и готовия продукт става ясно, че крайните процеси включват отделянето на био-пепел. Въпреки твърденията на експерти, че тя може да се използва в производството на керамика и цимент, самото наличие на пепел говори за протичане на процеси, които замърсяват значително околната среда.

Закупено е място от 70 *daa* в местност Черновец в околностите на квартала (фиг. 3).



**Фиг. 3.** Местността Черновец край Дивдядово

Обикновено, при проектиране на централи за термична обработка на отпадъците, главна роля в избора на локация е икономическата реализация. Най-икономичното местоположение на централата е центърът на тежестта на натоварването, тъй като дължината на електропреносната мрежа ще бъде минимална, като по този начин разходите за поддръжане на системата ще намалееят.

Това може да бъде илюстрирано най-лесно чрез графичния метод. Да речем, че X и Y са две референтни оси (фиг. 4).



**Фиг. 4.** Определяне на местоположение за централата

Нека  $Q_1(x_1, y_1)$ ,  $Q_2(x_2, y_2)$ ,  $Q_3(x_3, y_3)$ ,  $Q_4(x_4, y_4)$ , ... и  $Q_n(x_n, y_n)$  са  $n$  броя на товарните центрове. Така получаваме координатите на центъра на тежестта на товара,  $Q(x, y)$  където:

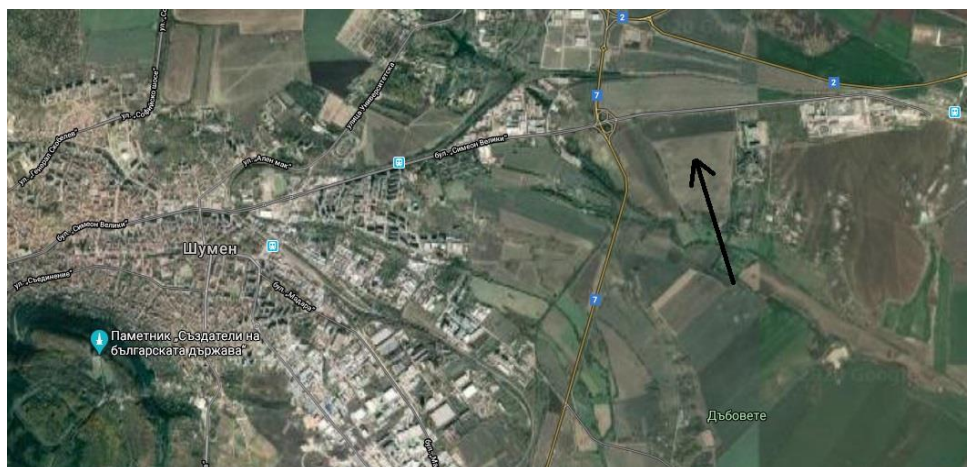
$$x = \frac{x_1 Q_1 + x_2 Q_2 + x_3 Q_3 + \dots + x_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}$$

$$\& y = \frac{y_1 Q_1 + y_2 Q_2 + y_3 Q_3 + \dots + y_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n}$$

Често идеалната точка на натоварването е в сърцето на града, което е неприемливо поради редица екологични причини. Така трябва да се вземат предвид и други локации, които да определят най-оптималното местоположение на електроцентралата [1], [12].

Някои от основните показатели, които трябва да се вземат под внимание са: цената и състоянието на земята, върху която ще се строи, отдалечеността от населени места и т.н.

В конкретния случай, за подпомагане на индустрията в гр. Шумен приемлив вариант за местоположение е покрайнините на града, а именно в Индустриален парк на Шумен (фиг. 5).



**Фиг. 5.** Индустриален парк на Шумен

Така централата би се намирала на безопасно разстояние от града, без да губи стратегическото си място. А също така произведената енергия би била близо до промишлената зона на Шумен и заводите, които са на територията на града и биха могли да ползват чиста енергия бързо и ефективно.

Новата технология включва специфична техника, която е различна от до сега използваните. Типична система за плазмена газификация се състои от компонентите, посочени в табл. 1.

**Таблица 1.** Компоненти на системата за плазмена газификация

<b>Компоненти на системата</b>
<b>Хранилка за твърди отпадъци</b>
<b>Шредер (мелачка)</b>
<b>Газификационна реактивна бобина</b>
<b>Генератори на ток</b>
<b>Факла</b>
<b>Система за охлаждане</b>
<b>Огнеупорна система в реактора</b>
<b>Филтри</b>
<b>Системи за почистване</b>
<b>Поддържащи системи</b>
<b>Въздушни системи</b>
<b>Система за захранване с аргон</b>
<b>Пламък</b>
<b>Главна система от контролери</b>
<b>Доставка на електричество</b>

Определянето на общите разходи обаче включва разходи за построяване и други подобни (табл. 2). Примерните процентни отношения се получават чрез прецизна оценка на вида и приложението на централата.



Таблица 2. Съотношение на разходите за нова система

Процентно отношение на разходите	%
Монтиране на съоръженията	12
Инструментариум	9
Клапи и тръбопроводи	10
Електрическо оборудване	15
Сгради (вкл. офиси)	10
Подобрения в двора на централата	5
Сервизни съоръжения	4
Инженеринг и мениджмънт	5
Разходи за строителство	5
Разходи за подизпълнители	4
Земя	2
Непредвидени разходи	10

Въпреки че производството на електроенергия би могло да удовлетворява потреблението на малка общност, продажната стойност е ниска в сравнение с цената на горивото. Тази е и причината, поради която за по-мощни проекти за синтез на въглеродно гориво се използва комбинация от плазмена газификация и синтеза на Фишер-Тропш.

#### 4. Проект за България

Процесът на Фишер-Тропш е разработен преди сто години в Германия и комерсиализиран от компании като SASOL. Те произвеждат въгледородни съединения като синтетичен нефт, въсьци или газове. Тези продукти могат да бъдат рафинирани с цел производство на продукти като синтетичен дизел, парафин, бензин, метан и пропан.

След почистване влажният газ се компресираща до налягане от 4 bar до 10 bar и се изсушава преди да се премине през клапана за пречистване на газ, където чрез активен въглен се премахва всяка следа от сяра. Пречистеният сингаз преминава през каталитичен слой, където синтезът започва. За да се увеличи ефективността на преобразуването, се препоръчва катализаторните легла да се поставят в групи. Всеки реактор може да бъде оборудван с кондензатори/сепаратори, когато се извличат продукти с определен обхват.

След последния Фишер-Тропш реактор малко неконвертиран газ заедно с газообразни въгледородни продукти, може да бъде използван в газогенератори, генериращи електричество.

Типичният състав на синтетичния нефт може да бъде 40 % въськ, 50 % дизелова фракция и 10 % смеси. Различните компоненти, от които се състои Фишер-Тропш системата са посочени в табл. 3.

Таблица 3. Компоненти на системата Фишер-Тропш

<b>Компоненти на ФТ системата</b>
<b>Компресор на сингаз</b>
<b>Реактор за почистване на газа</b>
<b>ФТ реактор</b>
<b>Колектори за въськ</b>
<b>Вана за течности</b>
<b>Колектори за газ</b>
<b>Складове за готовите продукти</b>
<b>Нагреватели</b>
<b>Топлообменници</b>

Въпреки че цената на оборудването за системата Фишер-Тропш ще се добавя към цената на газификатора, допълнителните разходни елементите ще са подобни за плазмения газификатор и следователно ще бъдат включени към общата цена [6].

## 5. Икономически анализ

При икономическия анализ на системата ще се разгледат два сценария, а именно система, която генерира само електричество, и такава, която генерира електричество и течно гориво.

В табл. 4 са представени разходите за оборудване за три големи системи, а именно от 1 t, 10 t и 100 t захранван блок на ден.

Таблица 4. Разходи за оборудване

Централа Тон/ден	Изходни продукти	Цена на оборудване
1	Е	2.2 млн. евро
10	Е	25.4 млн. евро
100	Е	102 млн. евро
1	Е+Г	2.5 млн. евро
10	Е+Г	32.8 млн. евро
100	Е+Г	140.4 млн. евро

Е=електричество, Е+Г = електричество и гориво

За да може да се изчисли реалната икономическа приложимост, е нужно да се вземат под внимание няколко фактора:

- 1) Цената за депониране на 1 t отпадък на сметището в Община Шумен е 25,58 лв.;
  - 2) Цената на електроенергия варира от 0,14184 лв./kWh до 0,19582 лв./kWh. За целите на този доклад ще се използва по-ниската цена на електроенергия;
  - 3) Цената на комерсиалния дизел в момента е 2,20 лв./l;
  - 4) Различни микро- и макроикономически фактори като инфлация, отстъпка от цената на машините, лихви и т.н.;
  - 5) Количество енергия, произведено за един ден;
- Възвръщаемостта на средствата е показана в таблица 5

Таблица 5. Възвръщаемост на средствата

Централа	Възвръщаемост год.
1Е	7
10Е	6
100Е	2.3
1ЕГ	7.9
10ЕГ	3.7
100ЕГ	1.5

След задълбочен анализ на принципите на действие и бизнес възможностите на газификацията става ясно, че не само околната среда може да се възползва от новото поколение техники за обработка на опасните материали. Общините и частните инвеститори са представени пред значително предизвикателство, но предимствата многократно надвишават рисковете.

## 6. Заключение

Настъпва времето за откриване на алтернативни начини за справяне с глобалната криза с отпадъците и влошаващото се състояние на околна среда. Светът е изправен пред дълбоки проблеми и в търсенето на нови източници на енергия. Плазмената газификация на отпадъците може да бъде част от решението и на двата проблема.

Използването на токсични отпадъчни материали като запаси за производство на възобновяеми горива превръща пасивите в активи. Като общински или публично финансирани проекти, централите за газификация могат да помогнат в балансиране на бюджета и осигуряване на превес срещу възможни увеличения на цените на енергията.

Напълно възможно е след десетилетие обществото да може да произвежда значителни количества възобновяеми горива, като използва отпадъците от депата и своевременно почиства околната среда [10], [11].

### References:

1. **Bogdanov, A., Dyankov, P., 2017.** Optimization models in logistic engineering. International scientific refereed online journal with impact factor, Issue 37, Septebmer, ISSN 2367-5721.
2. **Bosmans, A., Vanderreydt, I., Geysen, D., Helsen, L., 2012.** The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. J. of Clean. Prod. – Article in press – doi:10.1016/j.jclepro.2012.05.032.
3. **Bowen, B.H., Irwin, M.W., Canchi, D., 2007.** Coal to liquids (CTL) & Fischer-Tropsch processing (FT). The Energy centre, Purdue University.
4. **Dyankov, P., 2018.** Management of complex dynamic systems. International scientific refereed online journal with impact factor Ltd., Bulgaria, Issue 41, January, ISSN 2367-5721.
5. **Morris, M., Waldheim, L., 1998.** Energy recovery from solid waste fuels using advanced gasification technology. Waste Manag. 18, 557-564.
6. **Nishikawa, H., Ibe, M., Tanaka, M., Takemoto, T., Ushio, M., 2006.** Effect of DC steam plasma on gasifying carbonized waste. Vacuum 80, 1311-1315.
7. **Saenz, G., Posada, E., 2014.** Thermal treatment and energy recovering equipment for waste water and gas emissions from a condensation polymerization plant. Paper # 15. In: 33rd International Conference on Thermal Treatment Technologies & Hazardous Waste Combustors; 13-15 October, Baltimore, MD.
8. **Tanabe, S., 1988.** PCB problems in the future: foresight from current knowledge. Environmental Pollution, Volume 50, Issues 1–2.
9. **Williams, R., Jenkins, B., Nguyen, D., 2003.** Solid Waste Conversion: A review and database of current and emerging technologies. University of California Davis, IWM-C0172.
10. **Zhang, L., Xu, C., Champagne, P., 2010.** Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. Energy Convers. and Manag. 51, 969-982.
11. **URL:** <https://www.bioenergyconsult.com/gasification-municipal-wastes/>
12. **URL:** <https://www.electrical4u.com/thermal-power-generation-plant-or-thermal-power-station/>