

## **Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama**

Petrović Predrag<sup>1</sup>, Petrović Nemanja<sup>1</sup>, Kesić Miodrag<sup>1</sup>, Mladenović Milan<sup>1</sup>, Bordoški Vladimir<sup>1</sup>

### *Rezime:*

*U radu su prikazani rezultati jednog od naših akademskog projekta „Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama” koji realizujemo u okviru naših redovnih školskih obaveza na Smeru za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, pod rukovodstvom prof. dr Miluna Babića. Pošto se tema projekta odnosi na korišćenje obnovljivih izvora energije, a imajući u vidu pokazani interes i podsticaje koji smo dobili tokom prve i druge javne prezentacije projekta, ohrabрили smo se da deo njegovih rezultata prezentiramo i na renomiranom savetovanju Saveza energetičara „Energetika 2009”*

### **1. Uvod**

Lepo je to kad student dobije diplomu. Ona svedoči da je on bio sposoban da u realnom vremenu savlada propisano gradivo i određeni broj tzv. intelektualnih prepona. Ali, čime diplomac može na najuverljiviji način da ubedi okruženje, poslodavce i finansijere o svim svojim potencijalima i kreativnim mogućnostima. Sama diploma to nije, jer poznato je da se ona i visoka prosečna ocena, koju mnogi, a posebno medicinska struka i fakulteti, stavljaju u prvi plan mogu steći na različite načine. Indikator stvarnih mogućnosti i sposobnosti svršenog akademaca, pored diplome moraju da budu i drugi, opredmećeni, rezultati koji je on ostvario u toku studija.

Naša predstava o studiranju treba da se pomera prema shvatanju studiranja kao perioda intenzivnog stručnog života i zrenja, u kome studenti moraju da se oprobaju i kao motivatori, i kao istraživači, i kao projektanti, i kao marketinški stručnjaci, i kao timski igrači koji su stasali u stručne ljude od poverenja na realnim i životnim projektima. Interesantno je da se takav prilaz studiranju već mnogo godina neguje na Smeru za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, i da studenti bez ikakvih otpora prihvataju takav prilaz, i upuštaju se u veoma kompleksne projekte, kakvi su, po našim saznanjima prava retkost na univerzitetima u Srbiji.

Zbog toga smo rešili da stručnoj javnosti uzložimo deo rezultata koje smo do sada ostvarili realizujući projekat „Razvoj postrojenja za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama”, (u daljem tekstu – PBG) u okviru svojih redovnih školskih obaveza pod rukovodstvom prof. Dr Miluna Babića, jer smatramo da je takav prilaz studiranju i izazovan, i zanimljiv, i podsticajan i rezultativan!

---

<sup>1</sup> Studenti Smera za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

## 2. Prikaz razloga za zasnivanje projekta

U današnje vreme, kada je snabdevanje Srbije sve više zavisno od uvozne energije, razumeli smo da se mašinski inženjeri moraju odmah suočiti sa tom činjenicom, i da treba i mi, kao studenti, da se uključimo u akcije države koje su okrenute stvaranju uslova za masovno korišćenje alternativnih i obnovljivih izvora energije.

Imajući u vidu naše društvene i ekonomske prilike, tradiciju u poljoprivredi i stočarstvu, mentalitet i navike ljudi koji se njima bave, odlučili smo se da realizujemo projekat proizvodnje biogasa na malim seoskim farmama.

Seosko domaćinstvo, gledano očima mašinca-energetičara, liči, pomalo, na jedno veliko energetske-procesno postrojenje u kome se proizvode poljoprivredni proizvodi, i u kome se kao nusproizvod javlja niz tzv. otpadnih materijala koji imaju značajnu upotrebnu vrednost, ali koji se, nažalost, kod nas veoma malo koriste. Ovde ćemo, od svih tih „otpadnih“ materijala pažnju skrenuti na stajnjak, koji se, u našim uslovima, koristi samo za đubrenje. Prethodno se mikroorganizmima dopusti da deo stajnjaka pretvore u biogas i da on slobodno dospe atmosferu. Na taj način se pravi dvostruka šteta. S jedne strane – zagađuje se atmosfera, a s druge – nepovratno gubi dragocena energija sadržana u biogasu! Slične štete po životnu sredinu zbog neorganizovanog i energetske neefikasnog odnosa prema stajnjaku nastaju i zbog ceđenja stajnjaka i kontaminacije podzemnih voda.

Zbog toga smo rešili, po ugledu na referentna svetska iskustva, da projektujemo postrojenje za proizvodnju biogasa u malim poljoprivrednim seoskim farmama, i da „nateramo“ mikroorganizme da rade u našu korist, tj. da vrše kontrolisanu produkciju bio gasa, čijim organizovanim prikupljanjem i energetske koristišćenjem želimo da doprinesemo pojednjenju poljoprivredne proizvodnje, poboljšanju energetske sigurnosti seoskih domaćinstava i ukupne energetske efiksnosti u Srbiji. O ostalim, ne manje važnim produktima koji nastaju u toku proizvodnje biogasa, kao što je visoko kvalitetno i propisno uskladišteno đubrivo koje ne zagađuje životnu okolinu u ovom radu nećemo govoriti.

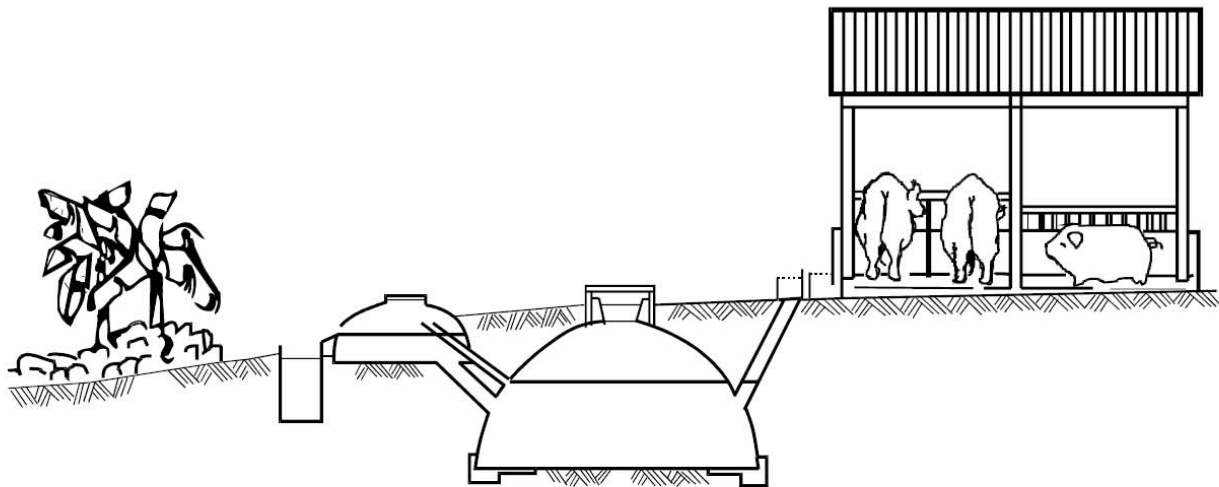
Nakon istraživanja i sagledavanja kompletne problematike, postavljenih ciljeva i vremenskih okvira u kojima se projekat PBG mora realizovati, definisali smo osnovnu strukturu projekta, i sledeće podciljeve:

- 2.1 istraživanje mogućnosti i potreba za izgradnju PBG na teritoriji Republike Srbije i odgovarajuće obaveze koje, u tom smislu, nalažu domaći i EU-propisi;
- 2.2 istraživanje i analiza “produkcije” PBG u Srbiji, sa posebnim osvrtom na Šumadiju i Pomoravlje;
- 2.3 istraživanje i analiza mogućih ekonomskih i energetske učinaka PBG na teritoriji iz tačke 2.2;
- 2.4 istraživanje (godišnja produkcija, tipovi, kapaciteti, cene, projektna rešenja) domaćeg i inostranog tržišta PBG;
- 2.5 idejno koncipiranje varijantnih rešenja PBG koja po svom kapacitetu treba da zadovolje potrebe prosečnog seoskog poljoprivrednog domaćinstva u Srbiji;
- 2.6 tehno-ekonomska analiza varijantnih rešenja iz tačke 2.5 i izbor optimalnog projektnog rešenja;
- 2.7 detaljan proračun i numerčka simulacija tokova mase i energije u optimalnom projektnom rešenju iz tačke 2.6;
- 2.8 izrada definitivnog konstrukcijskog rešenja postrojenja iz tačke 2.6 u virtualnoj 3-D formi, kao i kompletne prateće konstrukcijske dokumentacije;
- 2.9 definitivna tehno-ekonomska analiza postrojenja iz tačke 2.6, utvrđivanje njegove cene i potrebne opreme za proizvodnju;

- 2.10 izrada upustva za upotrebu i propagandnog materijala za sistem iz tačke 2.6;
- 2.11 izrada završnog eleborata.

### 3. Prikaz metodologije realizacije projekta

U cilju lakog i brzog projektovanja PBG (Slika 1.), razvili smo program koji na osnovu poznatog broja grla na farmi (Prilog 1.) računa dnevnu količinu životinjskog otpada koji se može koristiti za proizvodnju biogasa (Prilog 2). Program obezbeđuje da se na osnovu dobijenih podataka, automatski, dobiju sledeći geometrijski parametri postrojenja (Prilog 3): zapremina digestera, bazena za prikupljanje otpada i bazena za skladištenje đubriva. Takođe, program automatski izračunava prinos biogasa (Prilog 4), tj. hemijsku energiju koju dalje možemo da transformišemo u električnu struju i/ili toplotu. Na osnovu prinosa biogasa, program može da izračuna konačne energetske uštede domaćinstva korišćenjem biogasa i ukupne troškove i vreme otplate investicije. Program, takođe, omogućuje lako i brzo ažuriranje svih relevantnih energetskih i finansijskih parametara, sa promenom bilo koje finansijske ili količinske ulazne vrednosti.



**Slika 1.** Šematski prikaz PBG

Posebnu pažnju smo posvetili parametrizaciji izlaznih geometrijskih parametra digestera koje daje naš program, što nam je omogućilo da razvijeni program direktno spregnemo sa softverskim paketom CATIA, i da na taj način omogućimo 3D virtuelno modeliranje PBG i dobijanje njegovog trodimenziskog izgleda (Prilog 5). Crtanje PBG vrši se automatski, i njegov izgled i dimenzije se menjaju simultano sa promenom bilo kog ulaznog podataka.

Primenom napred opisanog postupka ostvarili smo našu zamisao da možemo u svakom zainteresovanom poljoprivrednom domaćinstvu uz pomoć prenosivog računara prezentovati ušede, cenu i vizualizirani izgled PBG koje u potpunosti odgovara proizvodnim kapacitetima svakog konkretnog domaćinstva.

Smatramo da ovaj projekat ima budućnost, jer može i dalje da se razvija i unapređuje, ali i da pruža mogućnost da postane okosnica uslužno-proizvodnog preduzeća koje nameravamo da formiramo po diplomiranju.

## 4. Osvrt na tehnologiju proizvodnje biogasa

### 4.1 Fizičko-hemiske karakteristike biogasa

Biogas je mešavina gasova koja se dobija uz pomoć metanogenih bakterija koje učestvuju u procesu biološke razgradnje materijala u anaerobnim uslovima (anaerobna digestija).

Biogas se sastoji od 50 do 70% metana (CH<sub>4</sub>) i 30 do 40% ugljendioksida (CO<sub>2</sub>) i drugih gasova kao što su vodonik, vodonik-sulfid, azot i dr. (Tabela 1.)

Tabela 1.1

| Supstance      | Hemijska formula | Procentualni sadržaj (%) |
|----------------|------------------|--------------------------|
| Metan          | CH <sub>4</sub>  | 50-70                    |
| Ugljen-dioksid | CO <sub>2</sub>  | 30-40                    |
| Vodonik        | H                | 5-10                     |
| Azot           | N <sub>2</sub>   | 1-2                      |
| Vodena para    | H <sub>2</sub> O | 0,3                      |
| Vodonik-sulfid | H <sub>2</sub> S | 0-0,5                    |

Biogas je za oko 20% lakši od vazduha, a temperatura paljenja mu je u rasponu od 650° do 750°C. To je gas bez jakog mirisa i bez boje. Kada sagoreva, gori čisto plavim plamenom, slično kao prirodni gas. Toplotna moć mu je između 20-30 MJ/Nm<sup>3</sup>

### 4.2 Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je višestepeni biohemijski proces koji se primenjuje na više različitih tipova organskih supstanci. Digestija se izvodi u tri stupnja:

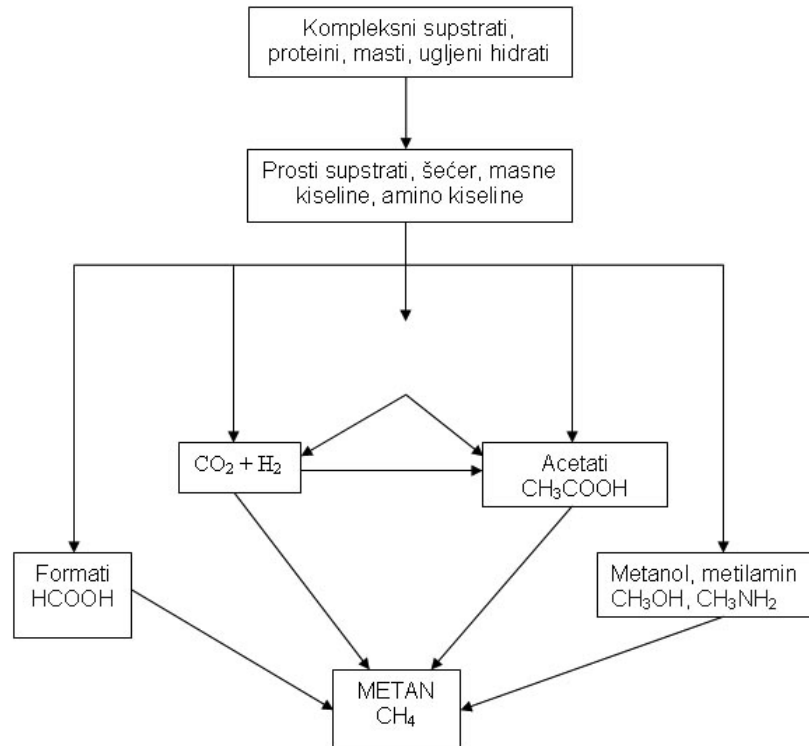
- *prvi stupanj (hidroliza)* – čvrsti organski kompleksi, proteini, masti, celuloza, razlažu se na isparljive organske kiseline, alkohole, ugljendioksid i amonijak;
- *drugi stupanj (formiranje kiselina)* – produkti dobijeni u prvom stupnju prevode se u acetatske kiseline, proteinske kiseline, vodonik, ugljen-dioksid i ostale nisko molekulske organske kiseline;
- *treći stupanj (metanogeneza)* - u ovom stupnju deluju dve grupe bakterija, jedna pretvara vodonik i ugljen-dioksid u metan, a druga pretvara acetate u metan i bikarbonate;

a hemijske reakcije u toku kojih nastaje biogas, mogu se izraziti na način prikazan u tabeli 2.:

Tabela 2.

| Stupanj             | Hemijska reakcija   |
|---------------------|---|
| Hidroliza           | $\text{CH}_3\text{COOH} \longrightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ <p>Acetatske kiseline    Metan + Ugljen-dioksid</p>  |
| Formiranje kiselina | $2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{CH}_3\text{COOH}$ <p>Etanol + Ugljen-dioksid    Metan + Acetatske kiseline</p> |
| Metanogeneza        | $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \longrightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p>Ugljen-dioksid + Vodonik    Metan + Voda</p>                                       |

Na Slici 2., grafički je prikazan tzv. anaerobni proces koji se ostvaruje u PBG.



**Slika 2.** Grafički prikaz anaerobnog procesa koji se ostvaruje u PBG

### 4.3 Brzina digestije

Brzina anaerobne digestije zavisi od više faktora. Neke od njih možemo kontrolisati i na taj način upravljati proizvodnjom biogasa. Tu se pre svega misli na: pH vrednost, temperaturu, vreme retenzije, nivo punjenja i toksičnost. U nastavku ćemo dati kratak osvrt na spomenute vrednosti.

**pH vrednost** Bakterije koje stvaraju metan najbolje žive u pH neutralnim, ili blago alkalnim sredinama. Kada se ustali proces fermentacije pH vrednost je između 7 i 8.

**Temperatura** Anaerobna digestija se dešava na temperaturama od 3°C do 70°C. Postoje tri temperaturna opsega u kojima se odvija digestija, i to :

- psihofilna (u temperaturnom opsegu ispod 20°C),
- mezofilna (u temperaturnom opsegu između 20 i 40°C) i
- termofilna (u temperaturnom opsegu preko 40°C).

Optimalna temperatura anaerobne digestije je 35°C, i nalazi se u mezofilnom opsegu. U literaturi se preporučuje da pri anaerobnoj digestiji treba izbegavati nagle promene temperature, i dozvoljava promenu koja ne sme biti veća od  $\pm 1^\circ\text{C}/\text{h}$ .

**Vreme retenzije** Pod vremenom retenzije podrazumeva se vreme zadržavanja čvrste supstance u digestoru. Ovo vreme zavisi od sastava mulja i od radne temperature.

Ukoliko je vreme retenzije kratko, dolazi do “ispiranja” bakterija iz digestora, jer one ne stižu da se razmnožavaju tom brzinom. Kada je vreme retenzije predugačko, onda zbog toga sistem može postati neisplativ, jer je količina metana koja iscrpi iz mulja veoma mala što se može videti na dijagramu prikazanom na Slici 3.

Procenat proizvedenog gasa u odnosu na ukupan mogući prinos

## Vreme retenzije



**Slika 3.** Procenat proizvedenog biogasa u odnosu na ukupan mogući prinos za različite vrste mulja

**Nivo punjenja** Označava količinu sirove supstance po jedinici zapremine digestora koja se doda u toku dana. Ukoliko se digestor prepuni, doći će do akumuliranja acetata koji će stopirati produkciju biogasa. Preporučuje se da dnevni unos iznosi 6 kg po 1 m<sup>3</sup> digestora, za postrojenja koja rade sa kravljim izmetom.

**Hranjive supstance** Mulj treba da sadrži ogovarajući nivo ugljenika, kiseonika, vodonika, fosfora, kalijuma, kalcijuma, magnezijuma.

**Inhibitor** Male količine mineralnih jona pospešuju razvoj bakterija, dok visoka koncentracija jona izaziva toksični efekat.

**Odnos ugljenika i azota C/N** Da bi se anaerobni proces normalno odvijao, potrebno je zadovoljiti uslov da odnos C/N bude od 1/20 do 1/30. Ukoliko je ovaj odnos viši - dolazi do smanjenja produkcije biogasa, a ukoliko je niži - dolazi do porasta amonijaka u digestoru što ima toksičan efekat na bakterije koje stvaraju metan.

### 5. Prikaz potencijala za proizvodnju biogasa

Istraživanjem statističkih podataka koje objavljuje Zavod za statistiku Republike Srbije konstatovali smo da ukupan stočni fond Republike raspolaže sa:

- 757 000 goveda,
- 47 000 konja,
- 1 475 000 ovaca,
- 1 983 000 svinja i
- 9 300 000 živine,

dok smo uz pomoć Odeljenja za poljoprivredu uprave grada Kragujevca došli do saznanja da se na teritoriji grada Kragujevca gaji:

- 19 520 goveda i
- 27 270 ovaca.

Na osnovu statističkih podataka, proračunali smo da Srbija može da proizvede toliko biogasa, da može nadomestiti 20% svog uvoza prirodnog gasa i to samo od stočarstva.

## **6. Tehno-ekonomska analiza**

Na osnovu iskustva drugih država i proučavanja dostupne literature konstatovali smo da je za isplativu proizvodnju biogasa potrebno minimalno 5-6 krava ili 20 svinja. Prema izvršenim analizama i proračunima, u poljoprivrednim gazdinstvima koja raspolažu takvim stočnim fondom može se proizvesti 200-250 Nm<sup>3</sup> biogasa mesečno, i na taj način napraviti mesečnu uštedu od 7000-9000 dinara.

Spomenuti minimalistički kriterijum na teritoriji grada Kragujevca zadovoljava 16,1% poljoprivrednih domaćinstava, a nešto veću produkciju biogasa moglo bi da ostvari 4,5% domaćinstava za koja smo utvrdili da uzgajaju po 10 krava.

Napominjemo da smo analize isplativosti izgradnje PBG vršili sa tekućim, tržišnim, cenama energije u Srbiji.

## **7. Zaključna razmatranja**

Srbija ima kapacitete za implementaciju ovakvih sistema PBG, ali je neophodno edukovati poljoprivrednike, predočiti im prednosti i benefite i obezbediti širu podršku lokalnih samouprava i same države.

Smatramo da ćemo sa kompletnom realizacijom ovog projekta stvoriti efikasan alat za višestruke energetske uštede, ali i pomoći napore društva za očuvanje kvaliteta životne sredine.

## **8. Literatura**

**Prilog 1. Tabela za unos podataka za proracun PBG**

Microsoft Excel window: prezentacija [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Home | Insert | Page Layout | Formulas | Data | Review | View

Clipboard | Font | Alignment | Number | Styles | Cells | Editing

Formulas: Explanatory..., Followed..., Hyperlink, Input

AutoSum, Fill, Clear, Sort & Filter, Find & Select

|    | A  | B                | C         | D   | E                               | F  | G | H | I | J | K |
|----|--|------------------|-----------|-----|---------------------------------|----|---|---|---|---|---|
| 1  | <b><u>Unesite broj i prosečnu težinu životinja</u></b> |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 2  |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 3  |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 4  |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 5  |  | <b>Zivotinje</b> | <b>Br</b> |     | <b>Prosečna težina</b>          |    |   |   |   |   |   |
| 6  |  | Krave            | 10        | kom | 450                             | kg |   |   |   |   |   |
| 7  |  | Svinje           | 20        | kom | 60                              | kg |   |   |   |   |   |
| 8  |  | Konji            | 1         | kom | 450                             | kg |   |   |   |   |   |
| 9  |  | Zivina           | 50        | kom | 3                               | kg |   |   |   |   |   |
| 10 |  | Ovce             | 10        | kom | 80                              | kg |   |   |   |   |   |
| 11 |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 12 |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 13 |  |                  |           |     | <a href="#">Prikaz podataka</a> |    |   |   |   |   |   |
| 14 |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 15 |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |
| 16 |  |                  |           |     |                                 |    |   |   |   |   |   |

Unos podataka | Podaci | Digestor | Gas

Ready | 226%



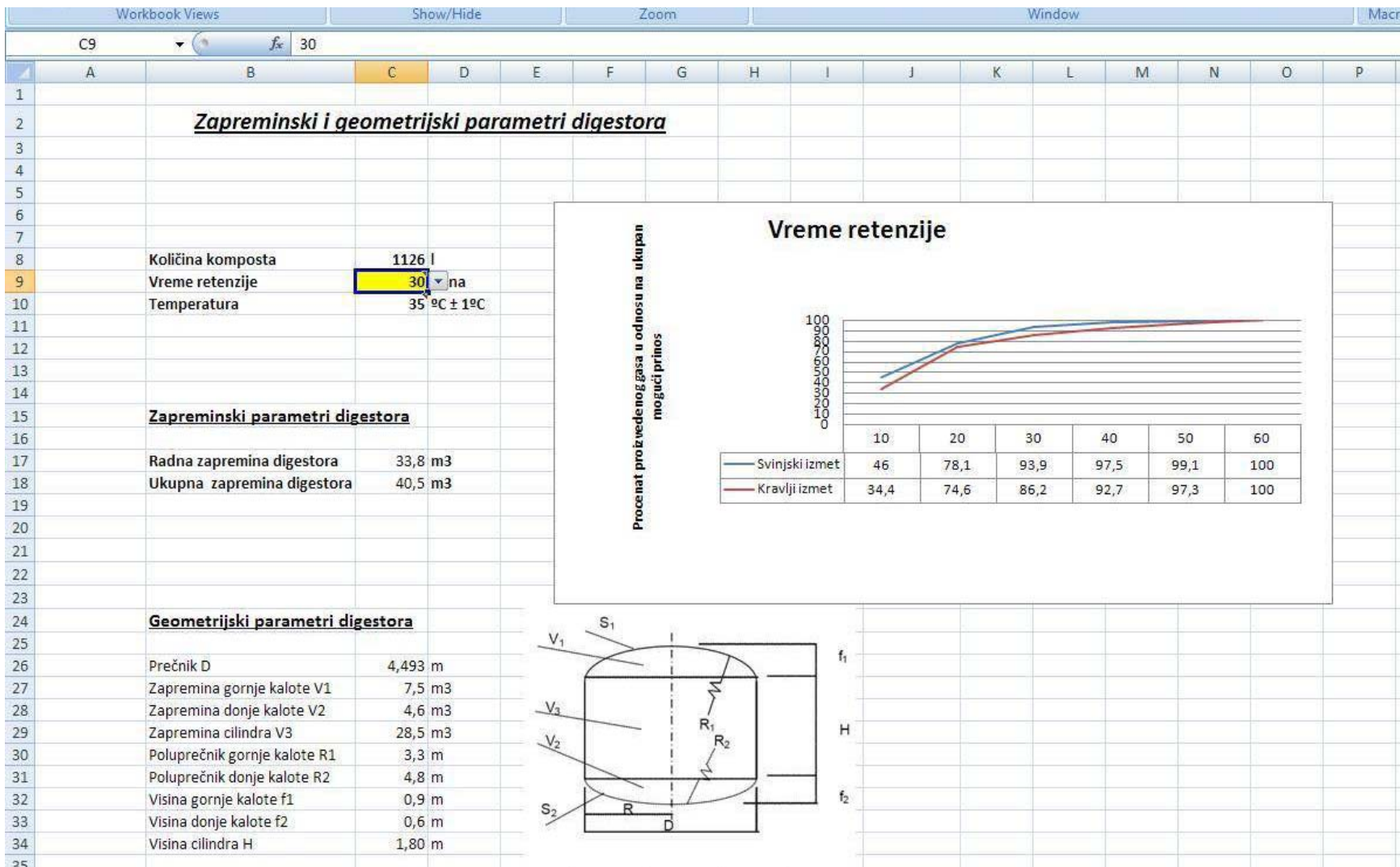
**Prilog 2. Izlazna tabela o proračunatim količinama dnevnih količina raspoloživog komposta**

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "prezentacija [Compatibility Mode] - Microsoft Excel". The spreadsheet contains a table with the following data:

| Životinje | Ukupno žive mase | Dnevna količina izmeta po životinji | Ukupna količina izmeta | Isparljive čvrste materije VS | Suva materija TS | Dodatak vode | Kompost |         |
|-----------|------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------|--------------|---------|---------|
| Krave     | 4500 kg          | 38,7 kg                             | 387 kg                 | 45,00 kg                      | 58,1 kg          | 339 l        | 726 kg  |         |
| Svinje    | 1200 kg          | 5,04 kg                             | 100,8 kg               | 10,20 kg                      | 13,1 kg          | 63 l         | 164 kg  |         |
| Konji     | 450 kg           | 22,95 kg                            | 22,95 kg               | 4,50 kg                       | 6,7 kg           | 60 l         | 83 kg   |         |
| Živina    | 150 kg           | 0,255 kg                            | 12,75 kg               | 2,55 kg                       | 3,3 kg           | 29 l         | 41 kg   |         |
| Ovce      | 800 kg           | 3,2 kg                              | 32 kg                  | 7,36 kg                       | 9,0 kg           | 80 l         | 112 kg  |         |
|           |                  |                                     |                        | 555,5 kg                      | 69,61 kg         | 90,1 kg      | 571 l   | 1126 kg |

Below the table, there are two links: [Unos podataka](#) and [Digestor](#).

**Prilog 3. Proračunati zapreminski i geometrijski parametri digestora PBG**



**Prilog 4. Izlazna tabela o proračunatim prinosima biogasa i ukupnim godišnjim uštedama**

|    | A | B  | C | D                    | E | F                         | G | H    | I | J | K |
|----|---|--|---|----------------------|---|---------------------------|---|------|---|---|---|
| 1  |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 2  |   | <b><u>Prinos gasa i ukupna godišnja ušteda</u></b> |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 3  |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 4  |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 5  |   | <b><u>Gas</u></b>                                  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 6  |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 7  |   | CH4 po kg VS                                       |   | 0,5 Nm3 po m3 VS     |   |                           |   |      |   |   |   |
| 8  |   | CH4  |   | 15,4 Nm3 dnevno      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 9  |   | procenat metana                                    |   | 70 %                 |   |                           |   |      |   |   |   |
| 10 |   | CO2  |   | 6,6 m3               |   |                           |   |      |   |   |   |
| 11 |   | <b>Biogas</b>                                      |   | 22,0 Nm3 dnevno      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 12 |   |  |   | 672,1 Nm3 mesечно    |   |                           |   |      |   |   |   |
| 13 |   |  |   | 8043,01 Nm3 godišnje |   |                           |   |      |   |   |   |
| 14 |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 15 |   | <b><u>Energija</u></b>                             |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 16 |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |
| 17 |   | Kalorijska vrednost metana                         |   | 39 MJ po Nm3         |   |                           |   |      |   |   |   |
| 18 |   | Energija   |   | 602 MJ dnevno        |   |                           |   |      |   |   |   |
| 19 |   | Snaga  |   | 7,0 kW               |   |                           |   |      |   |   |   |
| 20 |   | Električna energija                                |   | 1,4 kW               |   | Efikasnost transformacije |   | 20 % |   |   |   |
| 21 |   | Cena električne energije po kWh                    |   | 4,51 din             |   |                           |   |      |   |   |   |
| 22 |   | <b>Godišnja ušteda el. energije</b>                |   | 55016 din            |   |                           |   |      |   |   |   |
| 23 |   |  |   |                      |   |                           |   |      |   |   |   |

