

Z. KATIC

## BIOPLIN — MOGUĆNOST PROIZVODNJE I KORISTENJA

Metan — proizvod anaerobne razgradnje organskih materija — postaje danas značajan faktor energetske bilance stočarske proizvodnje. Poznat je kao najveća opasnost rudara već iz prvih dana kada je čovjek počeo kopati prirodna bogatstva zemlje. U muzeju rudnika soli u WIELICZKI kod Krakowa prikazani su tzv. »spaljivači« plina — rudari iz 17. stoljeća čija je dužnost bila da bakljama spaljuju nakupljeni metan u gornjim svodovima rudarskih jama.

Shirley 1667. izvještava o »barskom« plinu, ali vjerojatno je kao takav poznat i iz ranijih vremenâ.

Ozbiljnija proučavanja počinju vjerojatno 1808. kada je Humphrey proizveo metan u retorti iz prostirke ispod goveda.

Prva ozbiljnija upotreba metana bila je za rasvjetu naročito nakon pronalaska Aurove mrežice (1891).

1946. Njegovan<sup>(1)</sup> u knjizi »Osnovi kemije« piše: »Tako se za osvjetljenje jednog dijela naših željezničkih vagona upotrebljavao prirodni metan iz Bujavice.« (237 str.)

... »Metan je plin bez boje, okusa i mirisa, a pomiješan sa zrakom u određenom omjeru silno eksplozivna i tako može uzrokovati eksplozije u rudnicima« (207 str.) ...

Nadalje Njegovan piše: ... »kod nas se metan puni u čelične boce (bombe) i upotrebljava za osvjetljenje željezničkih vagona i za pogon automobila (umjesto benzina)! ... upotrebljava se za proizvodnju čađi u Kutini... gdje izlazi iz zemlje pod pritiskom od nekih 25 atmosfera« ...

Danas je upotreba prirodnog metana (zemnog plina) postala svakodnevica kako u domaćinstvima koja imaju sreću da su priključena na plinovode, tako i u industriji kao visokovrijedna sirovina ne samo za proizvodnju čađi.

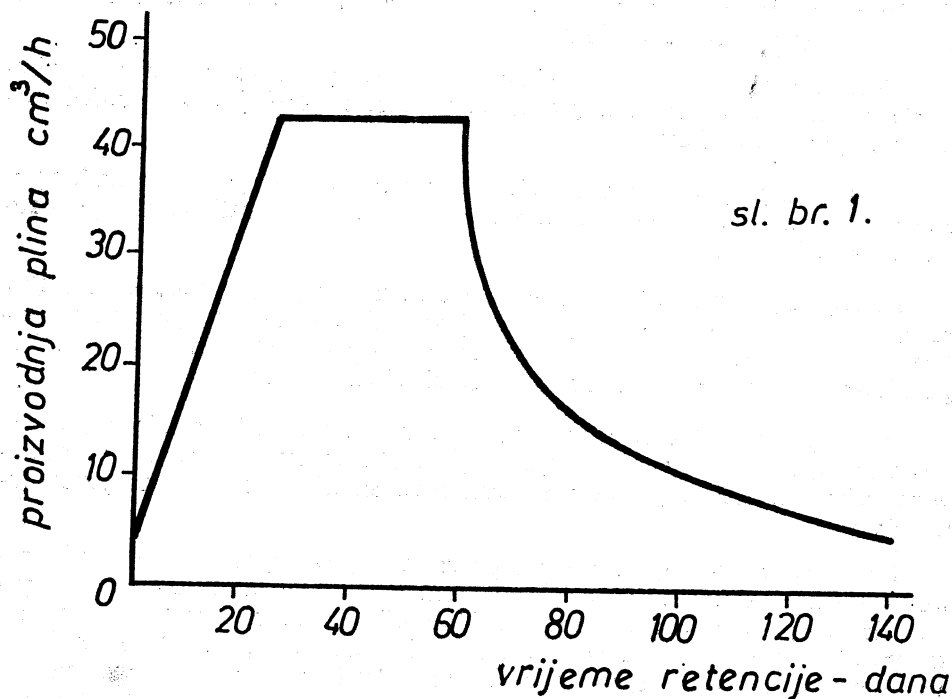
Na žalost o korištenju metana proizvedenog iz otpadnih organskih materija počinjemo tek sada ozbiljnije razmišljati. Istovremeno postoje podaci da se npr. u Saveznoj Republici Njemačkoj 1951. god. u 48 postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda gradskih kanalizacija proizvelo 16 miliona m<sup>3</sup> plina od kojega je 3,4% korišteno za vršenje rada u stacionarnim motorima, 16,7% je korišteno za zagrijavanje digestora koji proizvode plin, 28,5% je predano u postojeće plinovodne sisteme, a 51,4% je pretvoreno u gorivo za automobile. (2)

Prof. dr Z. KATIC  
Fakultet poljoprivrednih znanosti — ZAGREB

I zagađivanje okoline otpadnim tvarima postaje problem koji je često dominantan pri razmatranju izgradnje postrojenja za bioplin. Zagađivanje okoline, naročito vodâ, bio je razlog za izgradnju jedinstvenog postrojenja u Floridi. Od 1971. u St. Petersburgu radi bioplinsko postrojenje koje treba pročišćavati otpadne vode tako da se iste mogu koristiti za sve svrhe osim pića. Postrojenje je prema izvještajima energetski posve nezavisno, ako se u energetske bilancu uključi energija dobivena gnojenjem polja s razrađenom gnojnicom i muljem. Osušeni mulj sadrži 6% dušika (N) i 7,8% fosfora (kao  $P_2O_5$ ) i koristi se za gnojenje gradskih parkova i nasada.(3)

Koncentracija stoke na velikim stočarskim objektima s velikim količinama gnojovke i gnoja mora se razmatrati i s ekoloških aspekata.

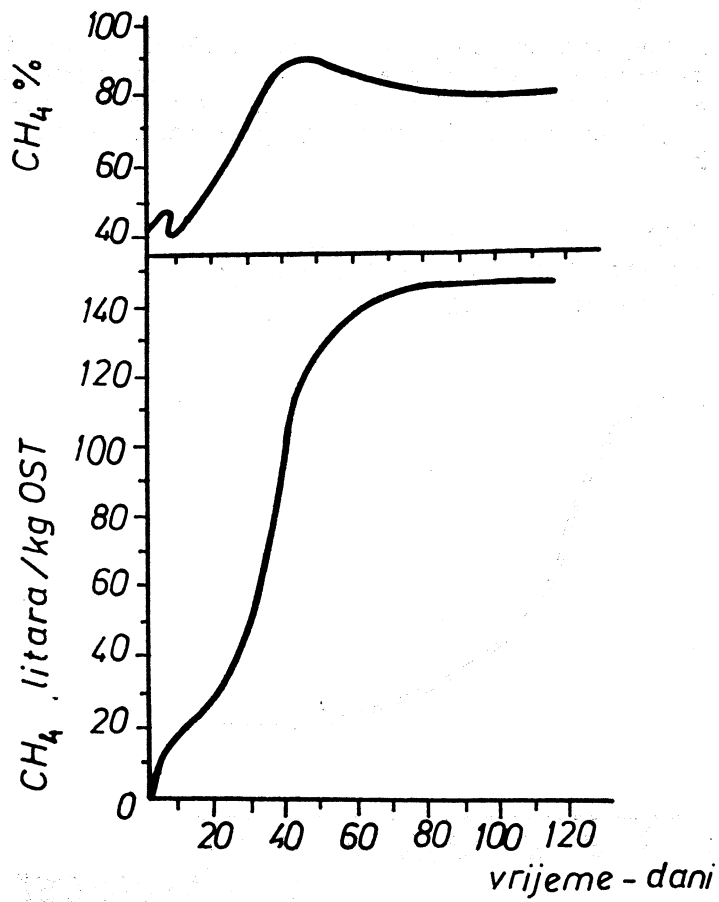
Začuduje činjenica da je vodoprivredna suglasnost za izgradnju takvih objekata ili površno izdana ili kod izgradnje mimoideana. Kada posljedice jakog zagađivanja okoline postanu očite, što je danas slučaj kod većine naših stočarskih objekata, pristupa se izgradnji uređaja za pročišćavanje otpadnih voda često opet bez dalekovidnijeg planiranja.



sl. br. 1.

Proizvodnja plina u digestoru  $0085 m^3$   
(prema WONG-CHONG-u)

sl. br. 2.



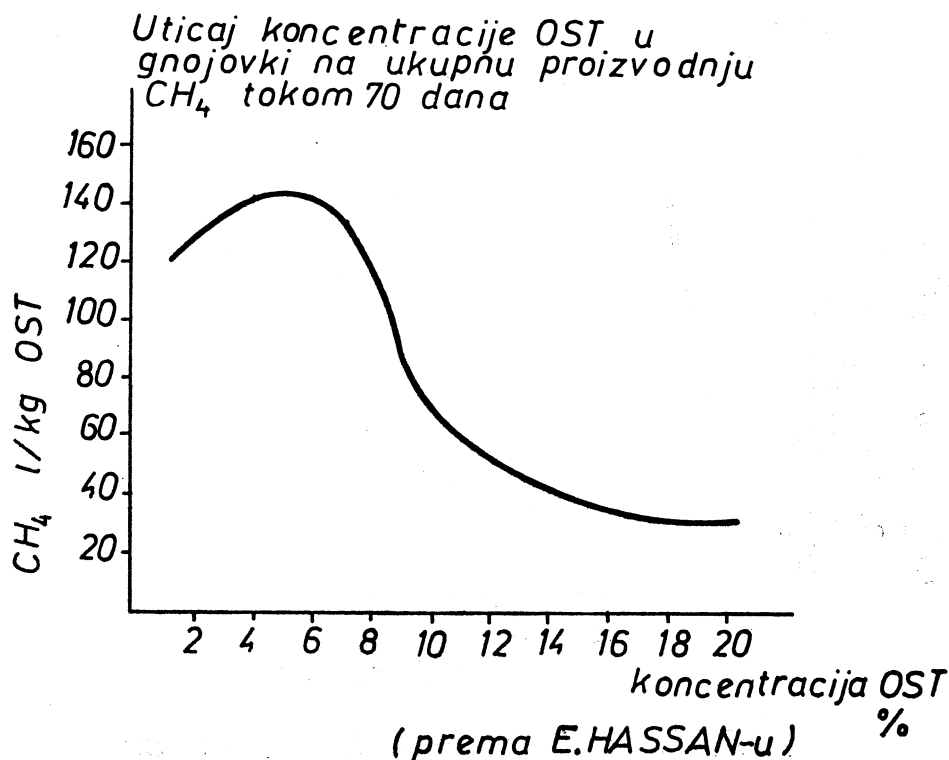
Proizvodnja metana iz priliva sa  
4,55% OST

(prema E.HASSON-u)

Da bi se stočarska proizvodnja racionalizirala potrebno je pri izgradnji uređaja za čišćenje otpadnih voda uzeti u obzir:

- mogućnost dobivanja vlastite energije koja se može koristiti za pročišćavanje otpadnih voda i za potrebe same farme.
- čuvanje svih nutritivnih sastojaka gnojnice koja se kasnije koristi za djelomičnu zamjenu umjetnog gnojiva u ratarskoj proizvodnji.
- dobivanje neagresivne nesmrđljive i toliko čiste gnojnice da je nje-no rasprskavanje moguće u svako doba i na zelene biljke i u bli-zini naseljenih mjesta.

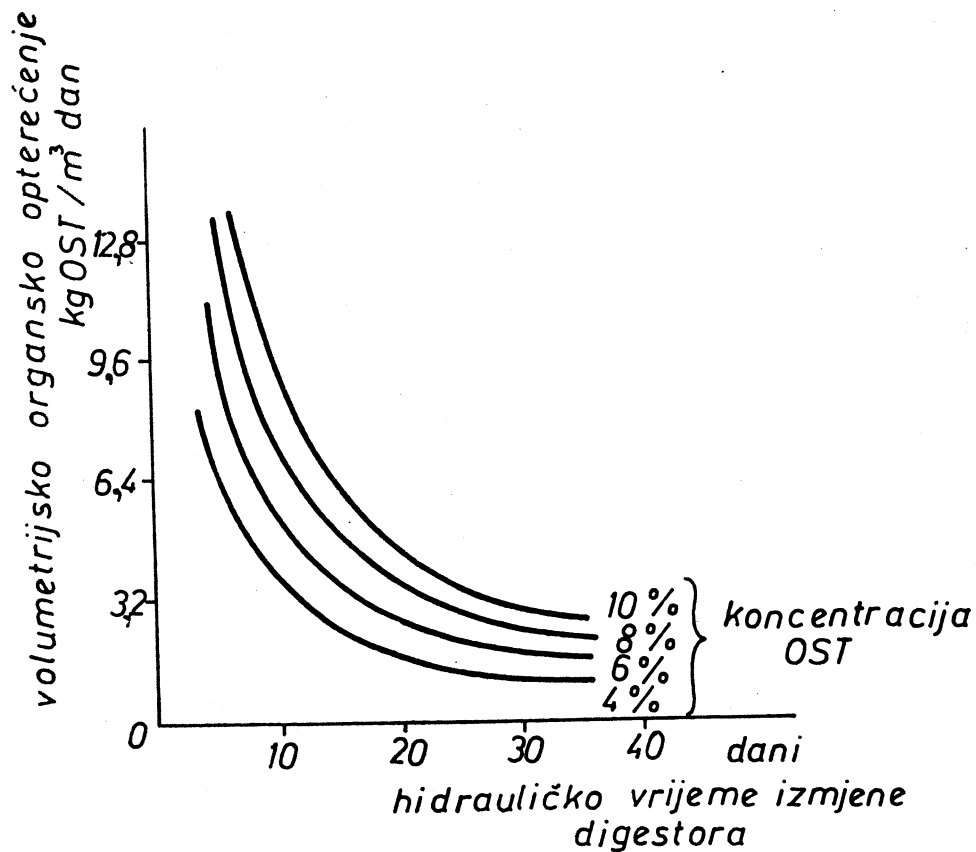
Jasno je da će takvo postrojenje za pročišćavanje biti skuplje u izgradnji od postrojenja za aerobno pročišćavanje otpadnih voda. Međutim ne treba izgubiti iz vida skuplji pogon aerobnih postrojenja radi stalne potrebe na energiji, kao i gubitak nutritivnih osobina gnojnice nakon pročišćavanja (naročito dušika).



U postrojenje za čišćenje dotiče relativno malena količina priliva, koji ima veliku hranidbenu vrijednost za gnojenje ratarskih površina. Zato se ne može pravdati pročišćavanje priliva do te mjere da se odliv pušta u otvorene vodotoke. Time se postrojenje nepotrebno poskupljuje a gnojnica gubi za prihranu površina.

Mnoga ispitivanja odliva iz digestora u kojemu se gnojnica anaerobno razgrađivala potvrdila su da je ukupna količina u prilivu jednaka onoj u odlivu. Razlike nastaju ako se u prilivu već nalazi dušik u amonijačnom obliku što je moguće skoro izbjeći odgovarajućim sistemom manipulacije gnojnice (4).

*Odnosi između opterećenja i hidrauličke izmjene sadržaja digestora za razne koncentracije OST u gnojovki*



(prema SAWYER-u)

## 1) PROIZVODNJA PLINA

Iako se u dosada objavljivanim podacima o količinama proizvedenog plina, sadržaju ostataka u odlivu i energetskej bilanci postrojenja nailazi na različite podatke, moguće je sažeto dati sliku o mogućnostima i dostignućima tog postupka.

U jednom postrojenju su dobro izolirani digestori s mješalicama koje su kontinuirano radile pri temperaturi 35°C proizvodili manje plina (i adekvatno energije) od energije potrebne za zagrijavanje digestora kod okoline temperature 7°C i temperature priliva 0°C. Opterećenje digestora je bilo u tom pokusu 1,3 do 2,6 g OST (organske suhe tvari) po dm<sup>3</sup>. Vrijeme retencije 15 i 30 dana. (5).

Druga postrojenja su nakon dvogodišnjeg ispitivanja proizvodila između 1—1,5 m<sup>3</sup> plina po UG na dan u prosjeku tokom godine. Proizvodnja plina je za svinje izmjerena sa 1,48 m<sup>3</sup>/UG dan, a za goveda sa 1,26 m<sup>3</sup>/UG dan. Prosječno je dnevno dobivena energija od 7 do 10 kwh. (0,7 do 1 litra nafte) (6).

U svojoj studiji o ekonomičnosti bioplinskih postrojenja Abeles (7) 1975.) zaključuje da postoji sumnja o mogućnosti ekonomske upotrebe bio-plina za sve farmere i sve tipove farmi, ali da ne postoji sumnja u tehnološku i proizvodnu mogućnost bioplina na svim stočarskim objektima.

Svakako da su redovita poskupljenja energije od 1975. do 1981. prevagnule vrijednost ove studije i s ekonomske strane u korist bio-plina.

Proizvodnja plina uglavnom zavisi od količine OST u gnojnici, vreme retencije u digesatoru i od temperature na kojoj se proces odvija.

Količina proizvedenog gnoja po uvjetnom grlu (UG) je prema različitim izvorima podataka sabrana u tabeli 1.

Tabela 1 — Proizvedeni gnoj i bio-plin iz životinjskog otpada po UG (500 kg žive vage)

	Mliječne krave	Tovna goveda	Svinje	Kokoši
Proizvedeni otpad kg/dan	38	26	22	26
Ukupne ST kg/dan	4.8	3.4	3.3	7.9
Organske ST kg/dan	3.9	2.7	2.7	5.8
Efekat digestije OST %	35	50	55	65
* proizvedeni bio-plin m <sup>3</sup> /kg OST	0.29	0.42	0.43	0.54
netto m <sup>3</sup> /UG/dan	1.16	1.12	1.22	3.14
energija kwh/UG dan	8	7.73	8.42	21.67

\* Podaci bazirani na teoretskoj proizvodnji od 0,83 m<sup>3</sup>/kg OST i odnos CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub> = 60:40

Može se kao u praksi potvrđen podatak uzeti da iz 1 kg OST uz 50% efekta razgradnje i 40% gubitaka možemo proizvesti oko 5 MJ ili 1,4 kWh viška energije. To znači da ćemo iz plina od ekskremenata npr. jedne krave dnevno moći proizvesti oko 8 kWh viška energije.

Proizvodnja plina zavisi i o trajanju zadržavanja priliva u digestoru. Brzina proizvodnje plina raste u prvih 20 dana, zatim se ujednačuje do 60 dana a nakon toga postupno opada do 140 dana (sl. 1). Ukupno proizvedenu količinu plina i njegov sastav tokom 120 dana zadržavanja priliva sa 4,55% ST u digestoru pokazuje slika 2.

Koncentracija OST u prilivu također utječe na proizvodnju plina. Na sl. 3 je pokazana ukupna proizvodnja metana iz kg OST u zavisnosti s koncentracijom OST u prilivu, kada se isti zadržava u digestoru 70 dana. Vidljivo je da je kod koncentracije između 5 i 8% OST proizvedeno za 70 dana 140 litara metana/kg OST dok je kod veće koncentracije OST u prilivu proizvodnja plina u istom vremenskom razdoblju bila daleko manja (20 lit. kod 20% OST).

Zavisnost između zadržavanja u digestoru, koncentracije OST u prilivu i opterećenja digestora pokazana je na slici 4.

Iz slike je moguće odrediti veličinu digestora ako se zna vrijeme retencije priliva i njegova koncentracija. Osnova za sliku 4 je zavisnost proizvodnje plina od opterećenja digestora koja je prikazana na slici 5. Vidljivo je da proizvodnja plina raste do opterećenja digestora između 2,86 do 3,02 kg/m<sup>3</sup>. Maksimalna dnevna proizvodnja plina je tada oko 1,9 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> digestora. Fischer i suradnici (8) su predložili slijedeće jednadžbe za proračunavanje digestora za metan plin:

$$\text{proizvodnja plina } \left( \frac{\text{m}^3 \text{ plin}}{\text{m}^3 \text{ digestor}} \right) = 0,142 + 12,058 \text{ LR} - 7,949 (\text{LR})^2 - 30,576 (\text{LR})^3$$

$$\text{Alkalitet (ppm)} = 1453,7 + 31436,2 (\text{LR})$$

$$\text{OST (ppm)} = - 879,7 + 86287,6 (\text{LR})$$

$$\text{efekat proizvodnje } \left( \frac{\text{ft}^3 \text{ plina}}{\text{lb razgrađene OST}} \right) = 73,1 - 325,6 (\text{LR})$$

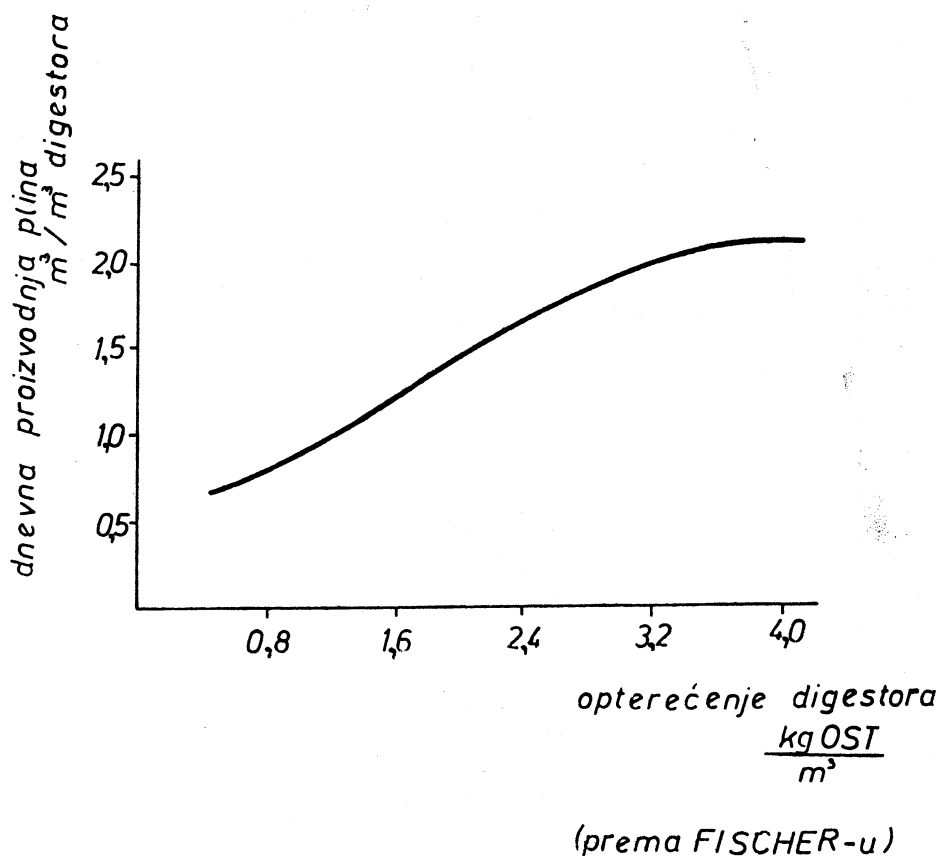
$$\text{LR} = \text{opterećenje digestora } \left( \frac{\text{lb}_3 \text{ OST}}{\text{ft digestora}} \right) =$$

$$\left( 1 \frac{\text{lb}_3}{\text{ft}^3} = 16,02 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Isti autori su zaključili da je maksimalno opterećenje digestora za svinjsku gnojnicu između 2,38 i 2,86 kg OST/m<sup>3</sup>. Temperatura u digestoru je 35°C a od ukupno proizvedenog plina treba između 30 i 35 % za zagrijavanje samog digestora koji je dobro izoliran. Umjesto gnojnice, za proizvodnju bio-plina mogu se koristiti i druge organske materije. Na sl. 6 pokazana

je proizvodnja plina kod 300C iz taloga u kanalima, trave, govedeg gnoja, ražene slame i telećeg fecesa u vremenu od 90 dana. Na svim krivuljama je optimalna proizvodnja dostignuta između 10 (trava) i 30 dana (talog). Produženo zadržavanje u digestoru ne povećava znatno proizvodnju plina. Uočljivo je također da je najmanja proizvodnja plina iz telećeg fecesa. Međutim treba točno diferencirati supstrat koji se koristi kao prilik u digestor.

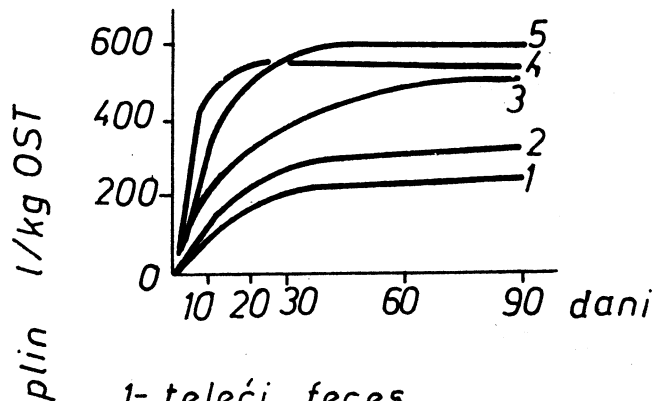
*Proizvodnja plina u zavisnosti sa opterećenjem digestora*



Na slici 7 pokazan je uticaj dodavanja slame u prilik na proizvodnju plina. Kada je odnos teleći feces : urin : slama bio 6,7 : 1 : 21 proizvedeno je za 20 dana kod 350C 229 l plina/kg OST, dok je u isto vrijeme kod odnosa 6,7 : 1 : 2,1 (10 puta manje slame) proizvedeno samo 126 l plina/kg OST. Nada-



## Proizvodnja plina iz različitih organskih materija kod 30°C



- 1- teleći feces
- 2- ražena slama
- 3- gnojnica od preživara
- 4- trava
- 5- kanalizacioni talog

(prema C. TIETJEN-u)

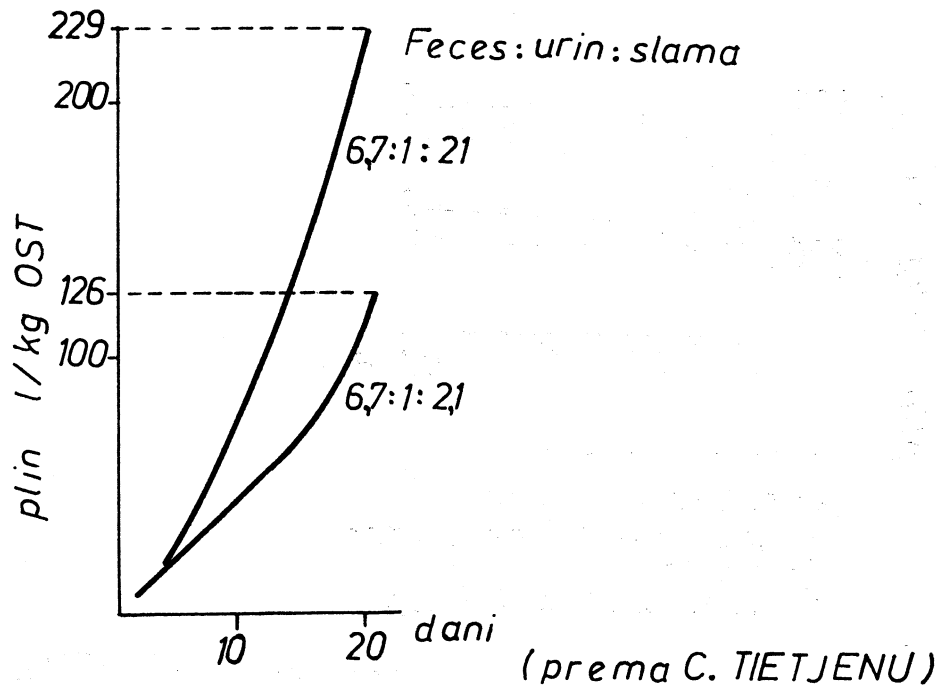
Ije je potrebno uočiti da se i sastav proizvedenog plina mijenja trajanjem razgradnje kako je uočljivo iz slike 8. Plin se na početku razgradnje sastoji pretežno iz  $\text{CO}_2$  da bi nakon 20 dana njegov sastav bio oko 70 %  $\text{CH}_4$  i 30 %  $\text{CO}_2$ . To isto je uočljivo i iz slike 2 iz koje se vidi da je sastav plina najpovoljniji nakon 40 do 50 dana zadržavanja priliva u digestoru (do 85 %  $\text{CH}_4$ ).

### 2) VRIJEDNOST ODLIVA IZ DIGESTORA

Koja je nutritivna vrijednost odliva iz digestora za gnojenje zemljišta? Ranije je napomenuto da se mineralni sastav odliva uglavnom ne mijenja u odnosu na priliv. U pogledu sastava priliva ne može se dati generalni pregled jer sastav jako zavisi od sistema ishrane, hrane, životinje, manipulacije gnojnicom i mnogih drugih faktora. Dušik je glavni sastavni dio odliva dok je fosfor u relativnom deficitu prema potrebama gnojidbe.

Prema nekim studijama (9) za američke uvjete iz 23710<sup>6</sup> tona suhog stajskog gnoja moglo bi se namiriti oko 42 % potreba na dušiku, 29 % na fosforu i 57 % na kaliju za gnojenje i prihranu ratarskih kultura. Za ame-

Uticaj dodatka slame u teleći  
feces na proizvodnju plina kod 35°C



ričke uvjete industrija umjetnih gnojiva troši 2,4 % prirodnog plina, 0,1 % lož ulja i 0,3 % električne struje od ukupne nacionalne potrošnje. Međutim vrijednost korištenog goriva u bazičnoj industriji umjetnih gnojiva iznosila je 1973. godine 2,280 miliona US \$.

Prosječni podaci o sastavu gnojnice za zatvoreno držanje životinja su dani u tabeli 2.

Tabela 2 — Prosječni sastav i količina gnojnice za zatvoreni uzgoj

	dnevna količina l	prosječni sastav kg/10 m <sup>3</sup>		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
krava 540 kg	40	35 (31)	11 (10)	58 (52)
svinja 45 kg	4,5 (7)	42 (38)	11 (10)	23 (21)
1000 nesilica = 2180 kg	130	118 (106)	82 (73)	82 (73)

Godišnje (360 dana u staji) od jedne krave se može računati s 36 kg N, 13 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 72 kg K<sub>2</sub>O u odlivu iz digestora.

Kada bi se ukupna potreba na mineralima željela namiriti samo putem odliva iz digestora teoretski potreban broj grla na 1 ha bi bio kod proizvodnje:

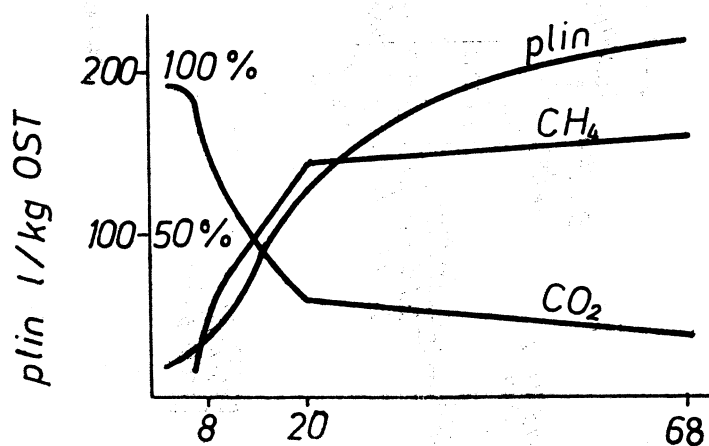
	krava	svinja	kokoši
košene trave	11,2	80	1160
žitarica	2,3	17	300
silažni kukuruz	6	30	450

Jasno je da su to teoretski podaci, ali isti daju uvide u mogućnosti koje se pružaju i na tom području.

Energetski se nutritivna vrijednost odliva može izračunati na temelju potrebne energije za proizvodnju umjetnog gnojiva istih karakteristika. Dušična gnojiva trebaju u proizvodnji najviše energije i to između 14 i 20 kWh za 1 kg. Za proizvodnju  $K_2O_5$  se troši računajući i proizvodnju sirovina između 1,8 do 2,6 kWh/kg. Za proizvodnju  $P_2O_5$  uključujući proizvodnju fosforne baze i sumpora treba za 1 kg gnojiva 3,7 do 5,6 kWh. Kod proizvodnje miješanog NPK gnojiva se računa sa oko 21,7 kWh/kg gnojiva. (10) (11)

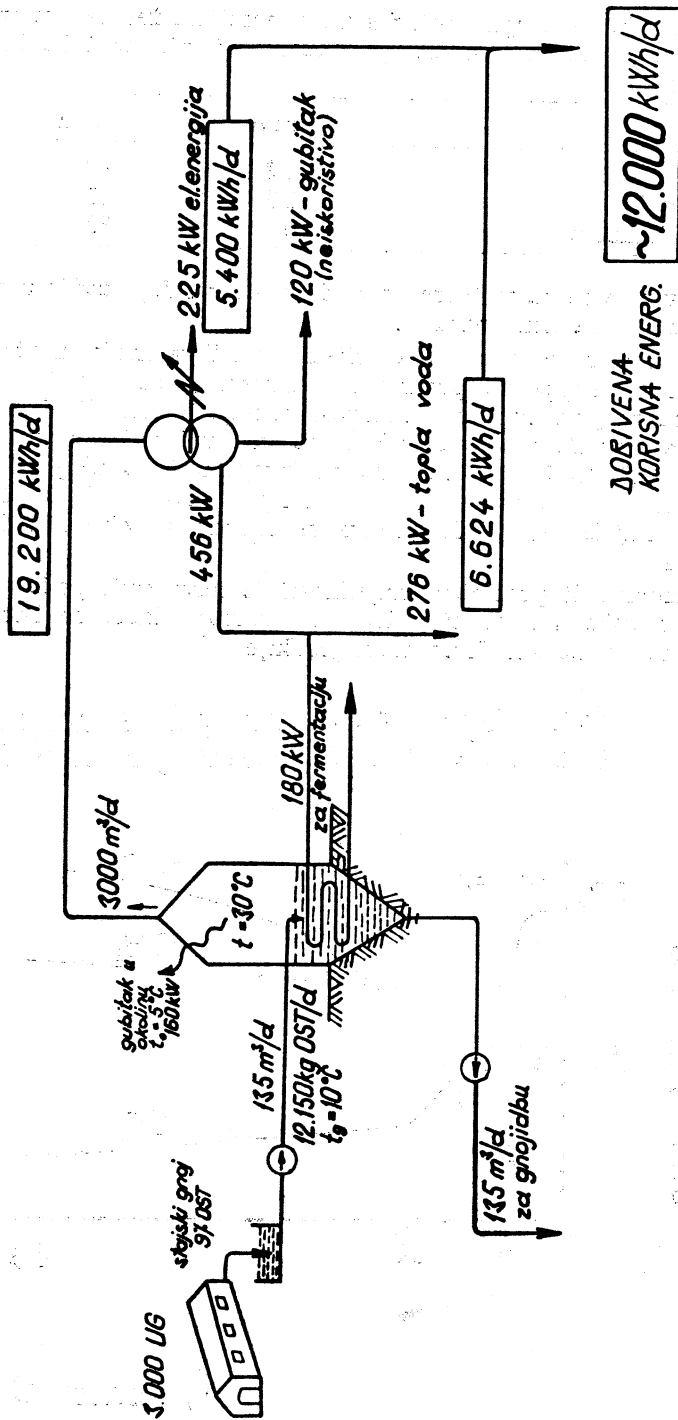
Uzmemo li prosječne vrijednosti iz navedenih podataka, proizlazi da je energetska vrijednost odliva iz digestora, kada se koristi za gnojenje površina oko 2200 kWh po kravi godišnje.

### *Promjena sastava plina iz slame trajanjem fermentacije kod 35°C*



(prema C. TIETJENU)

**ENERGETSKA BILANCA STAJSKOG BIOPлина (za farmu sa 3.000 UG)**



### 3) ENERGETSKA BILANCA

Upotreba proizvedenog metana je prvenstveno potrebna za zagrijavanje digestora. Oko 30 % proizvedenog plina trošimo za zagrijavanje digestora u zimskim mjesecima, tako da se prosječno uzima kao proizvedeni višak energije po 1 UG kod goveda 450 m<sup>3</sup> a kod svinja 530 m<sup>3</sup> plina godišnje. Energetska vrijednost plina koji ima 60 % CH<sub>4</sub> i 40 % CO<sub>2</sub> je oko 6,9 kWh/m<sup>3</sup> što bi značilo da je energija koja nam tokom godine dana stoji na raspolaganju iz jednog UG kod krava 3100 kWh a kod svinja 3660 kWh.

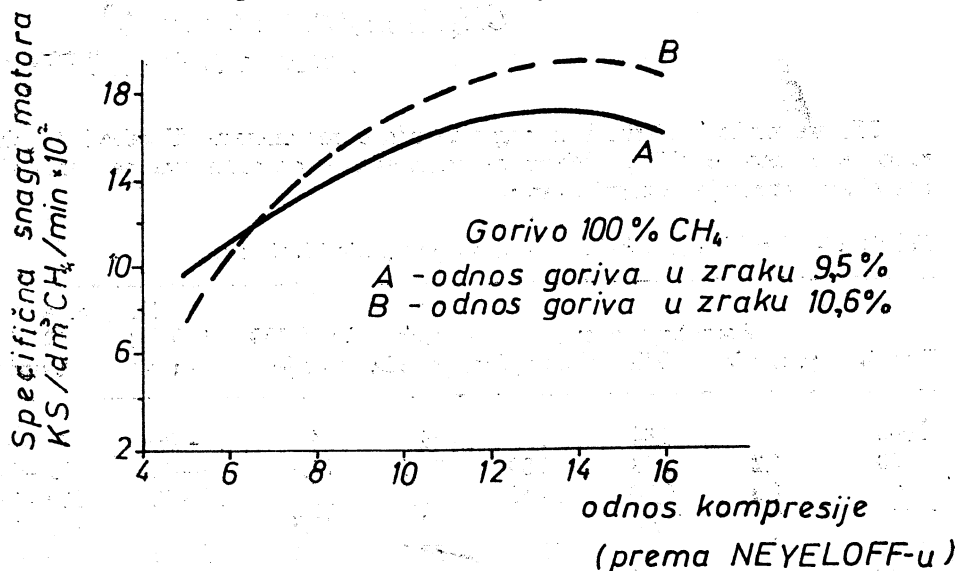
Uz ranije izračunatu energetska vrijednost odliva iz digestora, dobivamo ukupno proizvedenu energiju po UG između 5300 i 5800 kWh godišnje.

Dijagram na slici 9 pokazuje energetska bilancu proizvodnje bioplina u jednom tovu goveda sa 3000 UG. Vidljivo je da se — ukoliko se uključiti generator za struju, iz dobivenog plina može proizvesti korisne energije oko 12.000 kWh dnevno.

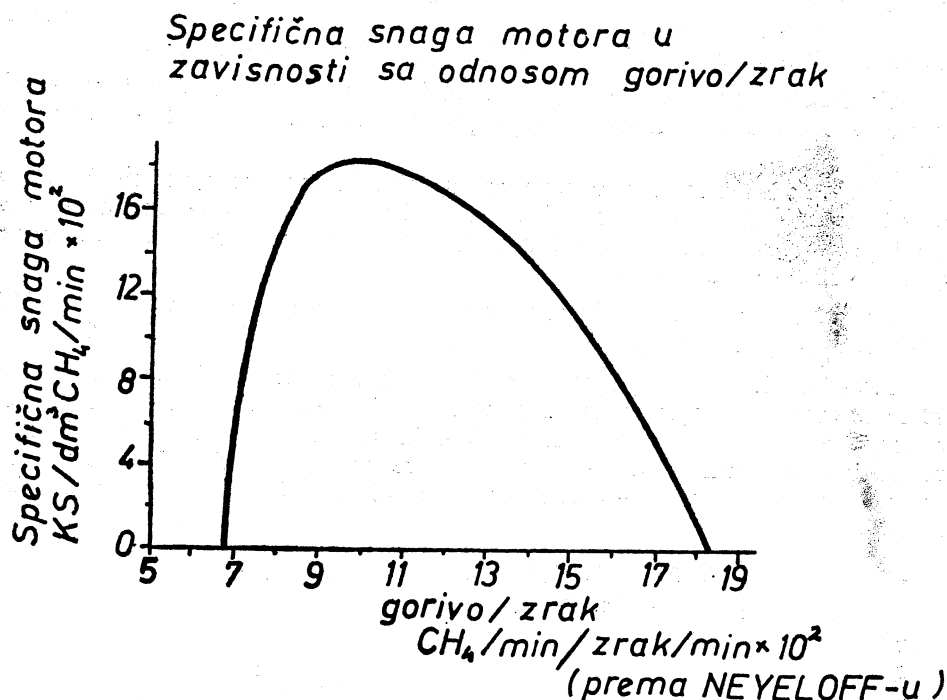
Prema dijagramu je ukupna dnevna proizvodnja energije oko 19.200 kWh, a od toga se za zagrijavanje digestora treba oko 180—200 kWh.

Metan se koristi za pogon motora SUI i tako proizvede 5400 kWh električne energije. Topla voda iz sistema za hlađenje motora se koristi za grijanje objekata. To je daljnjih 6.600 kWh. Korišćenje ove tople vode nije problematično zimi. Ljeti se jedan dio ove energije može iskoristiti, a za drugi bi trebalo naći adekvatnu upotrebu, ili ju isključiti iz energetske bilance.

Odnosi kompresije i specifične snage motora



Dijagram je načinjen samo kao primjer. Postoje i drugi vidovi i mogućnosti korištenja dobivenog plina. Ukoliko postoji spremnik za plin, moguće je plin koristiti i s većim intenzitetom u kraćem vremenskom razdoblju tokom dana. To znači da je moguće pokriti proizvodnjom struje svaku potrebu jedne farme na električnoj energiji i na toplini za zagrijavanje staja.

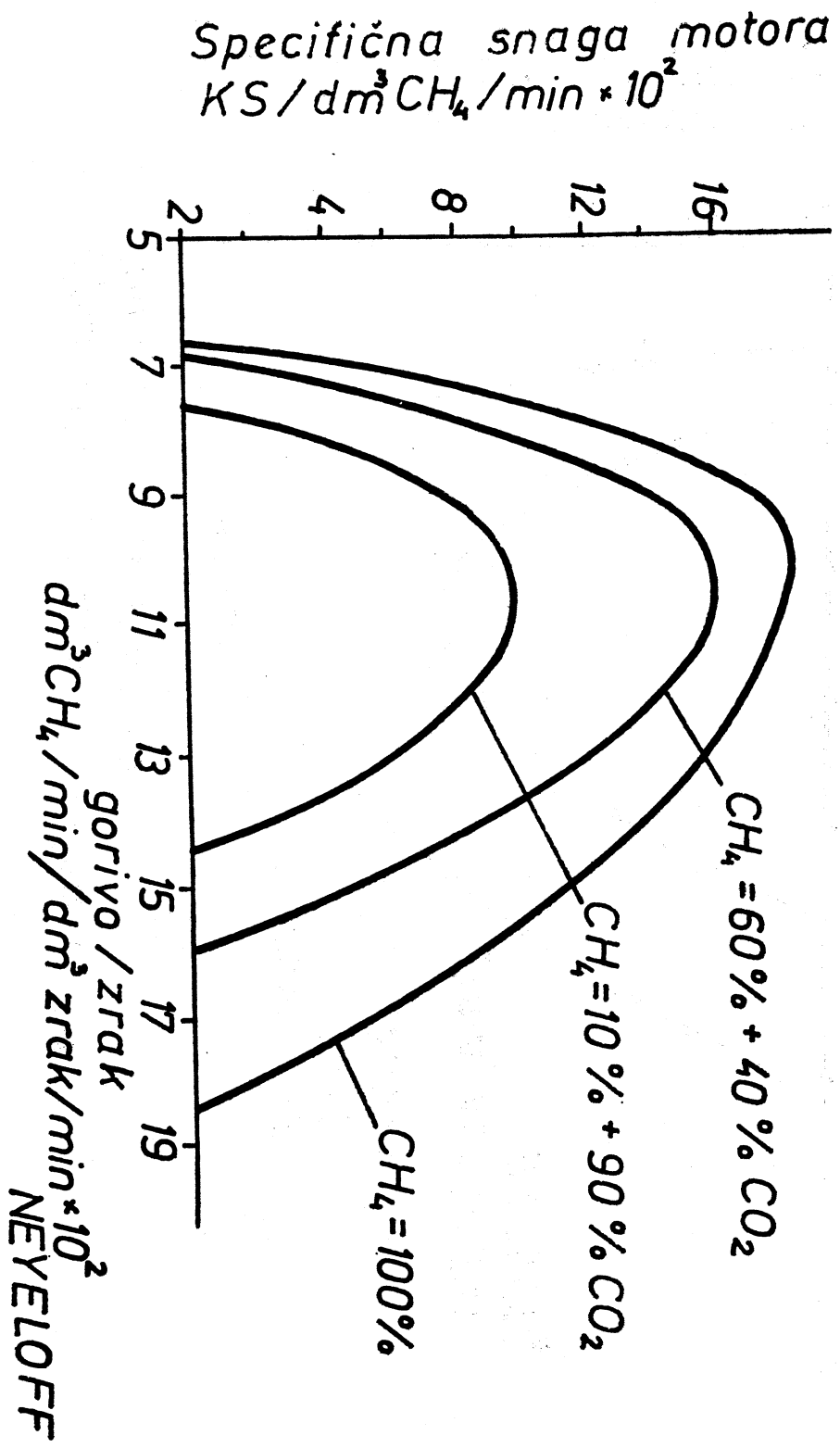


Plin se može koristiti i za zagrijavanje domaćinstava. U tabeli 3 pokazano je koliko je UG potrebno za zagrijavanje domaćinstava sa različitim potrebama energije za zagrijavanje.

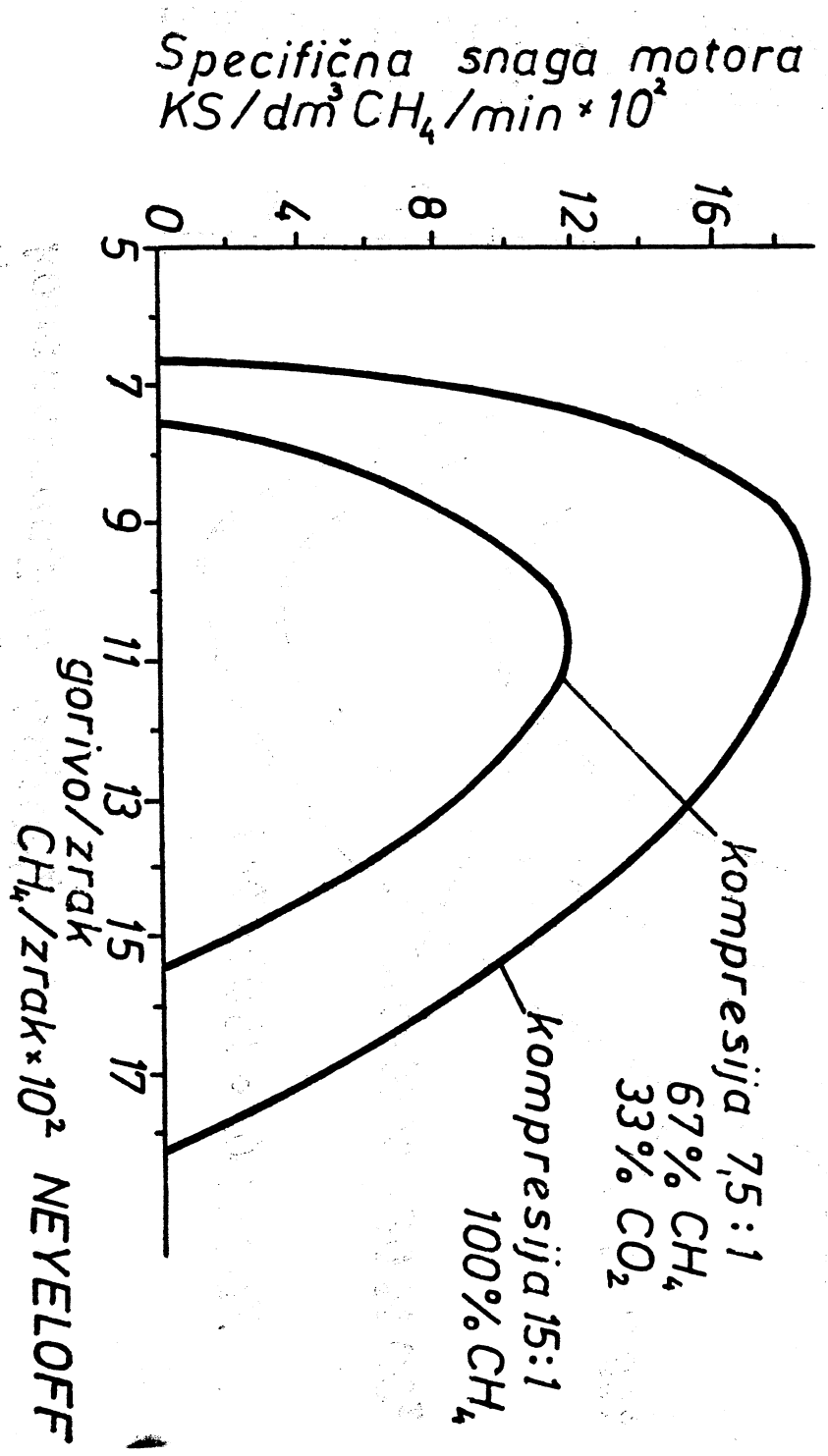
*Tabela 3 — Broj UG (500 kg) za zagrijavanje zgrade bioplinom*

Kcal/h	Potrošnja energije		Potreban broj UG			Broj grla	
	plin m <sup>3</sup> /h	kWh	plin m <sup>3</sup> /dan	goveda	svinje	500 kg krave	120 kg svinje
5000	1	5,84	24	19	16,2	19—20	70—80
6000	1,2	6,98	28,80	22,9	19,5	23—24	85—90
7000	1,6	9,30	38,40	30,5	26	31—32	110—120
10000	2	11,63	48	38	32,5	38	140—150
15000	3	17,45	72	57,2	48,6	57—58	210—220
20000	4	23,26	96	76,2	65	76—77	280—300

Specifična snaga u odnosu sa koncentracijom  $\text{CO}_2:\text{CH}_4$



Specifična snaga u odnosu sa kompresijom motora





#### 4) BIOPLIN ZA POGON MOTORA SUI

Prilikom korištenja bio-plina za pogon motora SUI iskorištenje smjese metana i  $\text{CO}_2$  zavisi od omjera mješavine. Prema tom omjeru određuje se omjer smjese plin : zrak za pogon motora.

Specifična snaga motora zavisi od stupnja kompresije. Najbolje iskorištenje je kod omjera kompresije 1 : 14 do 1 : 16 i iznosi oko 11 kWh/litru  $\text{CH}_4/\text{min}^{102}$ . Slika 10 pokazuje odnos kompresije i specifične snage motora za metan sa različitim omjerima zrak — metan.

Na slici 11 pokazana je specifična snaga u zavisnosti s promjenom odnosa zrak — metan a na slici 12 isti odnosi ali za različito razrijeđeni metan sa  $\text{CO}_2$ .

Tabela 4 daje uvid u moguće iskorištenje metana za pogon motora SUI pod različitim uvjetima rada (12).

Tabela 4 — Iskorištenje  $\text{CH}_4$  kao goriva za motore SUI

kompresija	odnos $\text{CO}_2/\text{CH}_4 \cdot 100$	max. kW/dm <sup>3</sup> $\text{CH}_4/\text{min}$	faktor
15 : 1	0 %	13,5	100
15 : 1	50 %	10,6	79
7,5 : 1	0 %	9,8	73
7,5 : 1	50 %	8,1	60

Grafički je gornja tabela prikazana na slici 13.

Iskorištenje metana za pogon motora s unutarnjim izgaranjem a koji rade na principu dizel-procesa, izgleda da je našlo rješenje u kombiniranom pogonu. Nafta se kod toga pogona koristi samo kao inicijator paljenja. Motor radi gotovo u praznom hodu a umjesto čistog zraka usisava smjesu metana i zraka. Tako se postiže da je metan glavno pogonsko gorivo a nafta se dodaje u minimalnim količinama koje još osiguravaju paljenje smjese.

#### LITERATURA

- 1) V. N. Njegovan — Osnovi kemije — »Prosvjeta« Zagreb 1946.
- 2) H. Libman — Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm—München 1956.
- 3) L. A. Dove — Total Wastewater Recycling and Zero Discharge in St. Petersburg—Florida. Waste Manag. Conf. 1975. Proc. 13. Arbor SCN Pbl.
- 4) A. E. Hassan i dr. — Energy Recovery and Feed Production from Poultry Wastes—Waste. Manag. Conf. 1975. Proc. 21.
- 5) E. J. Kroeker i dr. — Cold Weather Energy Recovery from Anaerobic Digestion of Swine Manure. Waste Manag. Conf. 75 Proc. 24.
- 6) . . . SW. Lnd. Techn. 79/832 str.

- 7) **T. P. Abeles** — Energy and Economic Analysis of Anaerobic Digesters — Wast. Manag. Conf. 1975. Proc. 25.
- 8) **J. R. Fischer i dr.** — Anaerobic Digestion in Swine Wastes — Wast. Manag. Conf. 1975. Proc. 22.
- 9) **D. A. Lauer** — Limitation of Animal Waste Replacement for Inorganic Fertilisers. Wast. Manag. Conf. 1975. Proc. 29.
- 10) **J. L. Sherif** — Energy Use and Economics in the Manufacture of Fertilisers Wast. Manag. Conf. 1975. Proc. 30.
- 11) **D. Pimentel i dr.** — Food production and the energy crisis. Science 182: 443 str. 1972.
- 12) **S. Neyeloff — W. W. Guikel** — Methane—Carbon Dioxide mixture in internal Combustion Engine. Wast. Manag.—Conf. Proc. 28.