

Agrovoc descriptors: plants, renewable energy, renewable resources, biogas, sorghum arundinaceum, phacelia, polygonum, crop yield

Agris category code: P06

COBISS koda 1.01

Rastlina kot obnovljivi vir energije (OVE)

Rajko BERNIK¹, Aleš ZVER²

Delo je prispelo 17. januarja 2006, sprejeto 11. avgusta 2006

Received January 17, 2006, accepted August 11, 2006

IZVLEČEK

Potrebe prebivalstva po energiji so vedno večje, na drugi strani kopnijo zaloge fosilnih goriv. Grozi nam pomanjkanje energije. Delna rešitev problema je izkoriščanje obnovljivih virov energije (OVE), med katere spada tudi pridobivanje bioplina iz biomase. V Evropi se v zadnjih desetletjih srečujemo s presežki hrane in z opuščanjem obdelave kmetijskih zemljišč. V raziskavo smo vključili sudansko travo kot testno rastlino ter facelijo in japonski dresnik kot alternativni rastlini za proizvodnjo bioplina. Na osnovi kemičnih analiz rastlin smo izračunali teoretično količino proizvedenega bioplina.

Ključne besede: energija, obnovljivi viri energije, bioplin, energetske rastline, sudanska trava, japonski dresnik, facelija

ABSTRACT

PLANT AS RENEWABLE ENERGY SOURCE (RES)

The population demand for energy is increasing day by day; fossil fuel supply, on the other hand, is on the verge of running out. Consequently, we could be facing a lack of energy. Partial solution to the problem is the exploitation of renewable energy sources (RES), including acquiring biogas from biomass. In Europe, we are confronted by food excess and abandonment of some cultivated land. In our research, we have analysed plants Sudan grass, Phacelia and Japanese knotweed as energy sources. On the basis of chemical analysis we have calculated teoretical production of biogas.

Key words: renewable energy, biogas, plants, animal nutrition, feed, Sudan grass, Phacelia, Japanese knotweed

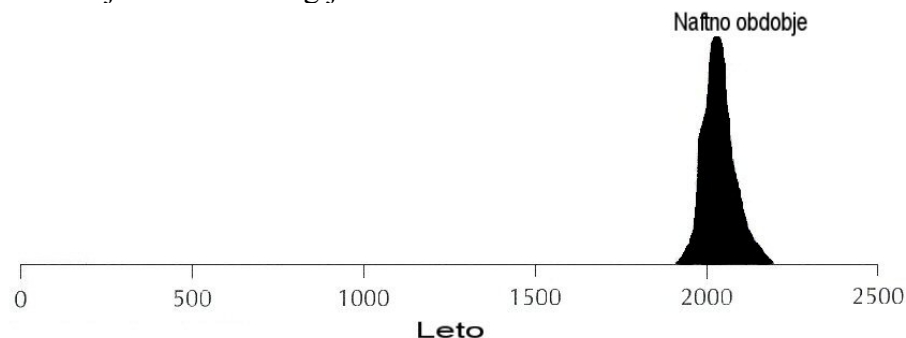
UVOD

Pri obstoječi porabi nafte in sedanjem stanju tehnike bodo zaloge nafte po 40 letih uporabe usahnile in po 60 letih bo porabljen ves zemeljski plin (Rempel, 2003). Slika 1. Tudi če bi zaloge nafte in zemeljskega plina obstajale še za daljše obdobje rabe, nastane pri uporabi teh nosilcev energije še večji problem kot poraba zalog. Pri

¹ Izr. prof. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1001 Ljubljana

² Univ. dipl. inž. zoot., Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, SI-1001 Ljubljana

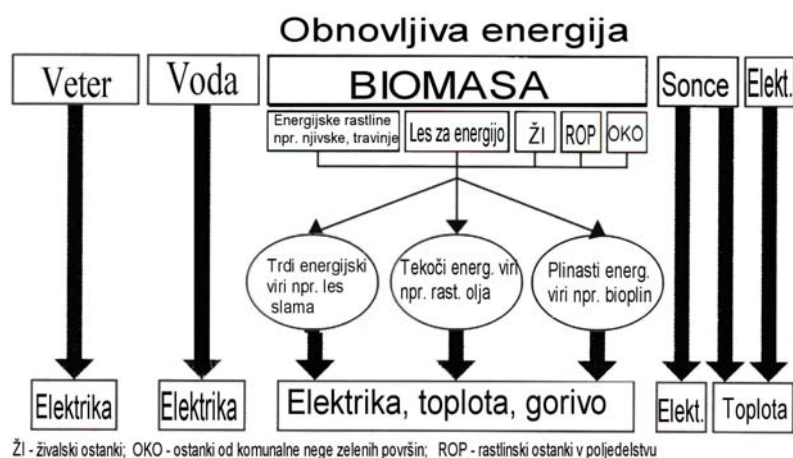
zgorevanju fosilnih energentov nastajajo toplogredni plini, med katerimi je tudi ogljikov dioksid. Njegova vrednost se je v zadnjih 100 letih v atmosferi povečala za tretjino. S sočasnimi raziskavami je bilo ugotovljeno, da se je globalna temperatura ozračja povečala za 0,6 °C glede na čas pred industrijskim obdobjem. Predpostavlja se, da bo ob koncu stoletja globalna temperatura ozračja za 2 do 6 °C večja glede na današnji čas (IPCC, 2001). Zmanjševanje vrednosti CO₂ v ozračju je svetovni cilj (UNFCCC, 1997). Države, vključene v EU, imajo jasno navodilo, da do leta 2010 nadomestijo obstoječo fosilno energijo iz obnovljivih virov do vrednosti 12 % porabljene bruto energije. To pa pomeni trikratno povečanje pridobivanja energije iz obstoječih obnovljivih virov energije v EU.



Slika 1: Poraba proizvodov iz nafte v obdobju dveh stoletij (Rempel, 2003)

Figure 1: Consumption of oil products in the period of two centuries (Rempel, 2003)

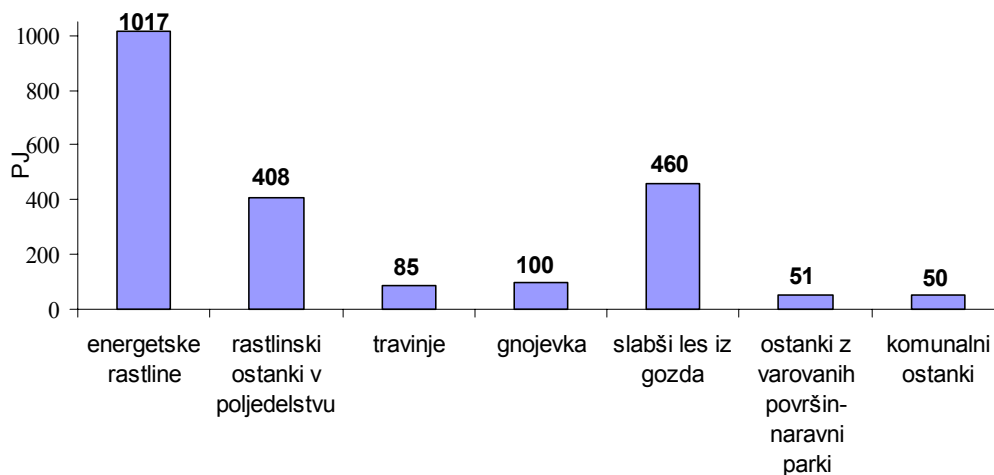
Novi izviri energij so nujno potrebni za oskrbo človeštva z energijo. Poleg varčevanja z obstoječimi izviri je dolgoročna možnost oskrbe smiselna samo iz obnovljivih virov energij. Pomembni vendar ne obremenjujoči nosilci energij so viri, v katerih je shranjeno globalno sončno obsevanje, kot so voda, veter, električne sončne celice in biomasa. Biomasa lahko pojmuje kot univerzalni vir energije v kmetijskem prostoru. Njen energetski potencial je spremenljiv v električno, toplotno ali mehansko energijo, neodvisno od časa dneva ali letnega časa. Biomasa se nahaja v kmetijskem prostoru, kot so energetske rastline v poljedelstvu, slabši les v gozdarstvu, gnojevka v živinoreji, rastlinski ostanki ob spravilu žita ali okopavin ter organska masa od nege in oskrbe zelenih obcestnih površin (Slika 2).



Slika 2: Nosilci obnovljivih virov energij

Figure 2: Holders of renewable energy sources

Pri uporabi poljedelskih, gozdnih, živinorejskih in komunalnih odpadkov – ostankov ter pridelavi energetskih rastlin na 2 milijonih kmetijskih površin, pri uporabi celotne pridelane rastline, naj bi se pridobilo 20 % obnovljive energije glede na današnjo porabo (Karpenstein-Machan, 2005), slika 3.



Slika 3: Obnovljivi viri energij v kmetijskem prostoru. (1 P = 1 bilijarda Joula = 10^{15} J)

Figure 3: Renewable energy sources in agricultural environment (1 P = 1 bilijon Joula = 10^{15} J)

MATERIALI IN METODE

Poskus smo zastavili na poskusnem polju (slika 4) na Biotehniški fakulteti v Ljubljani. Japonski dresnik smo nabrali na obrežju potoka Glinščica v bližini Biotehniške fakultete (slika 5).



Slika 4: Polje s facelijo in sudansko travo

Figure 4: Field with Phacelia and Sudan grass



Slika 5: Japonski dresnik

Figure 5: Japanese knotweed



Slika 5: Japonski dresnik

Figure 5: Japanese knotweed

Priprava zemlje za setev

Na parceli, na kateri je bil v letu 2004 predposevek krompir, smo z rastlinami izvedli primerjalni poskus. V jeseni je bilo opravljeno jesensko globoko oranje do globine približno 30 cm. Zemljišče smo neposredno pred setvijo obdelali s predsetvenikom do drobnogrudičaste strukture, primerne za setev, da smo tako zagotovili čim bolj enakomerne razmere za kalitev. Zemlja je bila za vse rastline obdelana enako. Določili smo velikosti parcel 20 m², saj nam takšna površina omogoča zadovoljivo vzorčenje.

Analiza tal je bila opravljena po AL-metodi. Dobljene vrednosti hranil so izražene v mg/100 g tal in jih uvrstimo v skupine, ki jih označimo s črkami A, B, C, D in E. To so stopnje ali ravni preskrbljenosti tal s hranili. Tal, na katerih je rasel japonski dresnik, nismo analizirali.

Če primerjamo rezultate naše analize, imamo tla s fosforjem dobro založena, s kalijem pa srednje preskrbljena. Fosforja je 14,1 mg/100 g tal, kar jih uvršča v razred C; kalija pa je 13,1 mg/100 g tal, kar pomeni razred B. Rastišča japonskega dresnika nismo gnojili.

Tal pred setvijo in takoj po njej nismo gnojili, saj so analize pokazale, da so tla primerno preskrbljena. Rastline so bile med vegetacijo v sredini junija (tik pred dežjem) dognojene z mineralnim gnojilom KAN (27 % N), količina dognojevanja pa je bila 67,5 kg N/ha. Dognojevali smo ročno. Japonskega dresnika nismo dognojevali.

Vremenske razmere

Temperaturo zraka in tal ter količino padavin smo merili na meteorološki postaji, ki stoji na poskusnem polju Biotehniške fakultete. Iz preglednice 1 so razvidni hidrometeorološki podatki za mesece maj, junij in julij leta 2005.

Preglednica 1: Hidrometeorološki podatki, izmerjeni na meteorološki postaji BF (Žust, 2003)
Table1: Hydrometeorological data measured at BF hydrometeorological station (Žust, 2003)

Dekada leta 2005	Maks. temp.	Min. temp.	Povp. temp.	∑ sonč. ur	∑ padavin
I maj	20,3	6,5	13,45	67,9	39,8
II maj	17,7	10,8	14,23	73,8	56,4
III maj	24,9	17,9	21,13	128,6	0,6
I jun	21	11,5	16,16	76,6	25,7
II jun	22,8	15,6	18,97	74,2	31,8
III jun	25,9	21,4	23,05	102,1	9,9
I jul	21,6	14,2	18,26	56,6	129,7
II jul	25,3	17,4	21,34	89,8	20,2
½ III jul, (le 5 dni)	21,7	18,5	19,82	32,1	9

Setev

Setev sudanske trave v poskusu smo opravili 4. maja 2005. Sejali smo ročno počez in seme zadelali v zemljo z grabljami. Zaradi predhodne obdelave z predsetvenikom, ki je imel zadnji strojni element valj, so na parcelah ostali jarki globine 2 cm. Ob zadelavi semena v zemljo se je večina prej enakomerno potrošenega semena ujela prav v te jarke, zato je posevek ob vzniku izgledal, kot da bi bil posejan v vrste. Meteorologi so napovedovali zelo sušno leto, zato smo se odločili in zasejali posevke gosteje, kot jih priporoča literatura. Japonskega dresnika na parcelah nismo sejali, saj ga je v okolju dovolj.

Uporabljene rastline

Pri načrtovanju poskusa smo se odločili, da bomo v poskus vključili sudansko travo (*Sorghum sudanense*), sorto "Zora", kot testno rastlino, ki jo v literaturi zasledimo kot rastlino primerno za proizvodnjo bioplina in poznamo izplene bioplina iz te rastline. Vključili smo tudi rastlini, ki v literaturi nista omenjeni kot potencialni za pridobivanje bioplina, in sicer facelijo (*Phacelia tanacetifolia*) in japonski dresnik (*Reynoutria japonica*).

Spravilo

Na vsaki parceli smo naključno izbrali 2 m². Pridelek smo pokosili z ročno koso, ga spravili v vreče iz jute in ga stehali. Vreče so bile predhodno stehane in označene.

Od vsakega pridelka smo odtehtali še 2000 g svežega vzorca in ga dali v vreče iz jute. Označene vzorce smo 14 dni sušili v komori. Posušene vzorce smo stehali, nato smo jih zmleli z mlinom, ki je imel vstavljen sito z mero okenca 2 mm. Zmlete vzorce smo shranili v plastične vreče. Vse vzorce smo shranili za morebitne nadaljnje analize. Nekaj vzorca smo uporabili za natančno določitev suhe snovi (SS), ki smo jo določili tako, da smo stehani vzorec sušili na 105 °C, dokler nismo dobili konstantne mase.

Določitev C, N, S in weendska analiza

Kemično analizo za določitev C, N in S smo opravili na Gozdarskem inštitutu Slovenije na Oddelku za gozdno ekologijo. V vseh primerih določitev je šlo za sežig pri 1350 °C in analizo sežignih plinov – elementna analiza.

Weendsko analizo za facelijo in japonski dresnik so opravil na kemijskem laboratoriju na Oddelku za zootehniko Biotehniške fakultete. Weendsko analizo za sudansko travo so opravili v Centralnem laboratoriju Kmetijskega inštituta Slovenije.

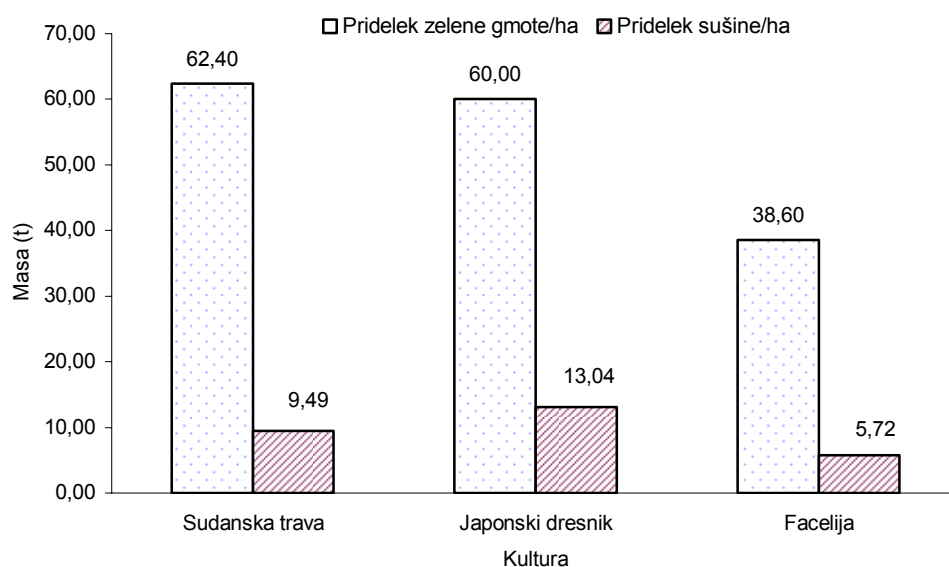
Metode za določitev: **C:** ISO 10694

N: ISO 13878

S: ISO 15178

REZULTATI IN RAZPRAVA

Slika 6 prikazuje dosežene pridelke na poskusnem polju in na brežini potoka Glinščice. Kot vidimo sta dober pridelek dosegla sudanska trava in japonski dresnik. S facelijo smo pridelali najmanj zelene gmote z največjo vsebnostjo vode.



Slika 6: Doseženi pridelki rastlinja

Figure 6: Produced plant yield

Preglednica 2 prikazuje deleže posameznih elementov v izbranih kulturah. Kot temelj za maksimalno proizvodnjo bioplina smo upoštevali razmerje C : N, ki je med 25 – 30 : 1, navaja Polprasert (1986). Kot lahko vidimo, nobena kultura ni dosegla optimalnega razmerja med elementoma, najbolj pa se je temu približal japonski dresnik. Vzrok za tako razmerje je dejstvo, da so bile rastline še mlade. Žveplo je moteč faktor v bioplinski tehnologiji, saj na strojne elemente deluje korozivno (Đulbić, 1986). Največ žvepla je bilo pri faceliji, nato pri japonskem dresniku, najmanj pa pri sudanski travi. Ob ozkem razmerju C : N pa lahko sklepamo na večji delež beljakovin ali nebeljakovinskega dušika v rastlinah.

Preglednica 2: Rezultati kemične analize rastlin z weendsko analizo in s sežigom

Table 2: The results of chemical analysis of plants with Weends analysis and burning

	Facelija		Japonski dresnik		Sudanska trava	
	vzorec	suh vz.	vzorec	suh vz.	vzorec	suh vz.
Suha snov (g/kg)	906,4	1000	918,1	1000	177	1000
Surova vlaknina (g/kg)	240,5	265,3	307,2	334,6	70	398
Surovi pepel (g/kg)	158,2	174,5	68,9	75	11	62
Surove maščobe (g/kg)	18,3	20,1	15,8	17,2	3*	15*
Surove beljak. (g/kg)	156,1	172,2	110,7	120,6	13	73
BDI (g/kg)	333,4	367,8	415,6	452,7	/	/
NDF (g/kg)	364,7	402,4	432,5	471	/	/
Delež C (%)	39,9		45,9		35,3	
Delež N (%)	2,9		2		2,3	
Delež S (%)	0,2		0,2		0,2	

* Maščobe brez hidrolize (g/kg), * BDI brez dušični izvleček, * NDF netopna detergentska vlakna

Pretvorba rastlinske suhe snovi v bioplin

Cilj naše raziskave je določitev količine proizvedenega bioplina iz posameznih vrst rastlin. Različni avtorji navajajo različne količine proizvedenega bioplina iz istih rastlinskih vrst. Našim rastlinam smo izračunali delež SS in jih analizirali na vsebnost C, N in S. Opravili smo še weendsko analizo. Tako smo pridobili dovolj podatkov, da smo lahko primerjali rastline iz naše raziskave in rastline drugih raziskovalcev, ki so iz rastlin pridobili bioplin. Na osnovi teh primerjav smo našim rastlinam določili faktor pretvorbe rastlinske suhe snovi v bioplin (preglednica 3).

Preglednica 3: Količina proizvedenega bioplina iz kg suhe snovi (SS) po različnih avtorjih in uporabljen faktor za preračun z naših rastlin

Table 3: The amount of biogas produced from 1 kg of dry weight according to different authors and the conversion factor used for

Surovina	Količina bioplina/kg SS	
	Doseženi izpleni bioplina po drugih avtorjih (m ³ /kgSS)	Upoštevan izplen bioplina (m ³ /kgSS)
Koruza	0,3 – 0,4 Medved in Novak (2000), 0,41 Beck (1997), Dulbić (1986)	
Ljuljka	0,28 – 0,55 Medved (2000), 0,41 Beck (1997)	
Lucerna		
Sudanska trava		0,45
Facelija		0,4
Črna detelja	0,43 – 0,52 Đulbić (1986)	
Japonski dresnik		0,35

Količino bioplina smo izračunali po enačbah:

$$V_{\text{bioplina}} / \text{kg SS} = \text{masa SS} \times \text{faktor pretvorbe} [\text{m}^3] \quad \dots(1)$$

$$V_{\text{bioplina}} / \text{ha} = Q_{\text{bioplina/kgSS}} \times \text{masa SS/ha} [\text{m}^3] \quad \dots(2)$$

Pretvorba bioplina v električno in toplotno energijo

Kot modelni motor za izkoriščanje (kurjenje) bioplina smo izbrali Otto motor z notranjim zgorevanjem (Fiat Totem Standard, 15 kW), ki je generator z visokim skupnim in še zlasti toplotnim izkoristkom. Za zagon in regulacijo uporablja električni tok iz omrežja. Pogonski motor je 900 cm³ Fiat 100 GL, ki je opremljen z asinhronim trifaznim generatorjem. V zaprtem primarnem hidravličnem tokokrogu kroži 2 – 3 m³/h hladilne tekočine (glikolne), ki izmenjuje toploto v štirih izmenjevalcih toplote. Fiat Totem je najbolj zanesljiv in najbolj preizkušen med majhnimi motorji za proizvodnjo električne energije in toplote, kar potrjuje dejstvo, da nekateri v praksi delujejo več kot 30000 ur (Piccinini in sod., cit. po Herceg, 2004).



Slika 7: Bioplinski gorilnik (H. Rempel, 2003)

Figure 7: Biogas burner (H. Rempel, 2003)

V izračunih nismo upoštevali izgub pri prenosu in akumuliranju zajete odpadne toplote motorja. Izkoristki, upoštevani v enačbah, so izračunani na osnovi podatkov o vstopni moči v motor in proizvedeni električni ter toplotni moči. Bioplin smo teoretično spreminjali v električno in toplotno energijo z motorjem Fiat Totem.

$$Q_V = H_i \times V_B \times \eta_t \quad [\text{kWh/ha}] \quad [\text{zajeta toplota hladilne tekočine motorja}] \quad \dots(3)$$

$$Q_e = H_i \times V_B \times \eta_e \quad [\text{kWh/ha}] \quad [\text{proizvedena električna energija}] \quad \dots(4)$$

$$H_i = 22,1 \dots \text{MJ} / \text{m}^3 \quad \text{za bioplin s 65 \% vsebnostjo CH}_4 \text{ (Mrhar in sod., 1990).}$$

[kurilnost bioplina]

$$\eta_t = 0,70 \quad (\text{Piccinini in sod., 1996 cit. po Herceg, 2004}) \quad [\text{toplotni izkoristek motorja Fiat Totem}]$$

$$\eta_e = 0,27 \quad (\text{Piccinini in sod., 1996 cit. po Herceg, 2004}) \quad [\text{električni izkoristek motorja Fiat Totem}]$$

V_{bioplina} = teoretična količina bioplina pridobljena iz poskusnih rastlin na enem hektarju [m^3]

ZAKLJUČEK

Na poskusni parceli smo s sudansko travo dosegli dober pridelek 9,5 t suhe snovi na hektar. Od nekrmnih rastlin smo dosegli dober pridelek z japonskim dresnikom. Facelija se po količini pridelka ni izkazala kot potencialna energetska rastlina. Japonski dresnik se je izkazal kot zelo dobra rastlina za proizvodnjo bioplina.

S kemično analizo rastlin na vsebnost C, N in S smo ugotavljali njihovo kemijsko sestavo. Rezultati analiz so pokazali, da rastline, razen japonskega dresnika, v tej zrelosti same niso primerne za proizvodnjo bioplina, saj nimajo primerne razmerja C : N. Dobre bi bile kot dodatek k brozgam za proizvodnjo bioplina, z vidika razmerja C : N in vsebnosti žvepla. Vsebnost žvepla pri nobeni od rastlin ni bila previsoka.

Energetske rastline za uporabo v bioplinskih napravah postavljajo nove zahteve v pridelavi kmetijskih rastlin. Prvi pogoj je visok masni pridelek – kg/ha izbrane vrste rastline, sorte, ob tem pa še stroški gnojenja in zaščite rastline, ter možne tehnologije spravila pridelka.

VIRI

- Beck, J. 1997. Anaerobic treatment. V: Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture. Burton C.H. (ed.). Bia, Silsoe Research Institute: 79–88.
- DLG 1997. DLG – Futterwerttabellen Wiederkauer, Frankfurt am Main, DLG: 212 str.
- Dulbić, M. 1986. Biogas: dobijanje korišćenje i gradnja uređaja. Beograd, Tehnička knjiga: 171 str.
- Herceg, N. 2004. Možnosti in potencial za pridelavo bioplina iz živinorejskih odpadkov v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Odd. za agronomijo: 83 str.
- IPCC. 2001. International Panel for Climate Change. Briefings at the Conference of the Parties to the UNFCCC, Sixth Session, part two. July 2001: Climate Change, Impacts, Adaptation and Vulnerability. www.ipcc.ch/present/presentations.htm.
- Karpenstein-Machan, M. 2005. Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber; DLG Verlag, 2005, ISBN 3-7690-0651-8, Frankfurt am Main.
- Medved, S., Novak, P. 2000. Biomasa. V: Varstvo okolja in obnovljivi viri energije. Ljubljana, Fakulteta za strojništvo: 231 str.
- Nemac, F. 2005. Obnovljivi viri energije. Razvojne možnosti, njihov vpliv na okolje in vloge lokalnih skupnosti. Javna predstavitev mnenj. Ljubljana, Državni zbor Republike slovenije: 31-41.
- Odkupne cene za živino. 2005. Kmečki glas, 62, 36: 31.
- Polprasert, C. 1996. Organic waste recycling. Technology and management. 2nd edition. West Sussex, John Wiley & Sons: 412 str.

- Rempel, H. 2003. Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2003. – XXVIII. 426 S., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), ISBN 3-510-95900-0, Stuttgart.
- UNFCCC. 1997. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC/CP 1997/7Add.1,4.
- Zver, A. 2005. Obnovljivi viri energije, rastlina kot energija in rastlina kot hrana. Diplomsko delo. Ljubljana. Biotehniška fakulteta, Odd. za zootehniko: 67 str.
- Žust, A. 2003. "Klimatološki podatki za obdobje 1991-2000 za meteorološko postajo Ljubljana-Bežigrad". Ljubljana, ARSO, Urad za meteorologijo, Odd. za agrometeorologijo. (osebni vir, 1. avg. 2005).