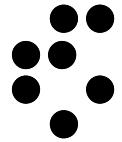
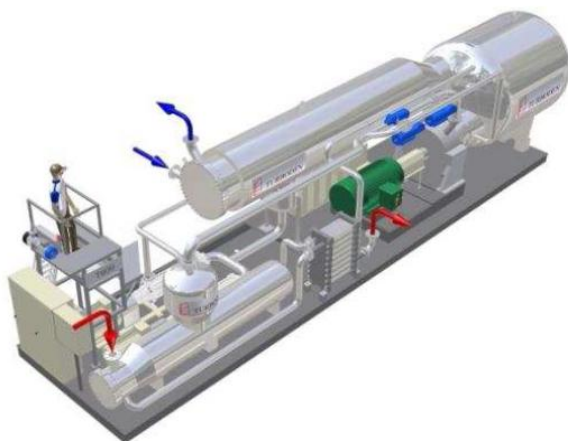


**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**

Center za energetska učinkovitost (CEU)

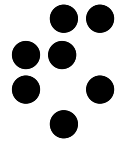


## **Proizvodnja toplote in električne energije iz kmetijskih rastlinskih ostankov**



**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija**

Center za energetska učinkovitost (CEU)



## **Proizvodnja toplote in električne energije iz kmetijskih rastlinskih ostankov**

Dr. Fouad Al-Mansour

Institut "Jožef Stefan" - Center za energetska učinkovitost

Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana

[fouad.al-mansour@ijs.si](mailto:fouad.al-mansour@ijs.si)

## 1 Uvod

Povečanje izkoriščanja obnovljivih virov energije (OVE) je postalo eden od glavnih ukrepov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (TGP) in zmanjšanje stopnje energetske odvisnosti v Sloveniji in Evropski uniji (EU). Sedanji cilj energetske politike je povečanje deleža OVE na 25% od celotne rabe končne energije in zmanjševanje emisij toplogrednih plinov za 20% do leta 2020 v primerjavi z letom 1990, skladno z Direktivo EU (2009/28/ES) o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov. V podporo spodbudi izkoriščanja OVE sta bili sprejeti dve uredbi o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije in v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom ter Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 - AN OVE.

## 2 Kmetijski rastlinski ostanki

Kmetijski rastlinski ostanki nastanejo pri predelavi kmetijskih pridelkov, vrtnin in lesnih ostankov vinogradov in sadovnjakov.

Za proizvodnjo energije se lahko uporablja različna kmetijska biomasa:

- žetveni ostanki po žetvi žit, koruze, oljne ogrščice, sončnice, graha itn. (se uvrščajo v rastlinske ostanke, ki se po lastnostih približno primerjajo z olesnelimi rastlinskimi ostanki),
- ostanki jesenskega in spomladanskega obrezovanja v sadovnjakih in vinogradih (po kakovosti se biomasa trajnih nasadov približuje gozdni biomasi).
- biomasa namensko gojenih drevesnih in grmovnih vrst,
- energetske trave,
- pokvarjena krma s travnikov in posušena trava iz manj kakovostnih travnikov.

Ostanke lahko uporabimo kot vir energije v različnih oblikah: slamnate bale, briketi in peleti.



<i>Povprečna energetska vrednost (kurilnost) rastlinskih ostankov v slovenskem kmetijstvu</i>	
<i>Poljščine</i>	<i>Kurilnost (GJ/t)</i>
<i>Pšenica in pira (C1120)</i>	16,490
<i>Rž (C1150)</i>	16,496
<i>Ječmen (C1160)</i>	18,830
<i>Oves (C1180)</i>	16,496
<i>Koruzza za zrnje (C1200)</i>	16,520
<i>Tritikala (C1212)</i>	16,496
<i>Druga žita – (Proso, Ajda)</i>	16,496
<i>Druga žita (soržica, sirek, mešanica žit brez soržice, drugo)</i>	14,320
<i>Krmni grah (C1320)</i>	16,496
<i>Fižol in bob (C1330)</i>	16,320
<i>Oljna ogrščica (C1430)</i>	16,496
<i>Sončnice (C1450)</i>	16,496
<i>Soja (C1470)</i>	16,496
<i>Hmelj (C1560)</i>	16,496
<i>(Vir: Kmetijski institut Slovenije – Oddelek za kmetijsko tehniko)</i>	

Za pridobivanje toplote lahko uporabimo kotle, ki so primerni za kurjenje biomase v vseh oblikah. Kotli so razpoložljivi v različnih oblikah in velikosti oziroma moči.

Uporabljene tehnologije oziroma kotli na biomaso so razdeljeni predvsem glede na obliko in vrsto biomase.

Kotli za proizvodnjo toplote iz biomase so razpoložljivi za naslednje vrste/oblike biomase:

- kotli na slamo.
- kotli na polena in brikete,
- kotli na pelete.

## 2.1 Kotli na slamo

Izkoriščanje kmetijskih rastlinskih ostankov za proizvodnjo toplote v svojih naravnih oblikah brez oblikovanja (slame) v briketih ali peletih je možno v tako imenovanih kotlih na slamnate bale. Kurišča kotlov na slamo so prirejena za kurjenje različnih oblik slamnatih bal v kvadratnih ali okroglih (valjastih) oblikah. Kotli na slamnate bale imajo izkoristek do 88%.

Kotli na slamnate bale so namenjeni za kurjenje slame v različnih dimenzijah in oblikah:

- velike kvadratne slamnate bale,
- okrogle (valjaste) slamnate bale,
- mini kvadratne slamnate bale,
- majhne slamnate bale,
- les v večjih količinah.

Slika 1 prikazuje kotle na slamnate bale v različnih oblikah.



Slika 1: Kotli na različne oblike slamnatih bal

Kotel na slamnate bale z večjo močjo do 1MW toplotne moči je prikazan na sliki (Slika 2)



Slika 2: Kotel na slamnate bale z večjo močjo

## 2.2 Kotli na polena in brikete

Sodobni kotli na naravni vlek z zgorevanjem na rešetki so ekonomsko dostopni in imajo nekaj prednosti pred starimi kotli. Imajo večji zalogovnik za gorivo ter višji nazivni izkoristek (do 85%). Nazivne moči kotlov so večinoma med 20 in 100 kW. Omogočajo uporabo polen do 100 cm.

Moderni kotli s prisilnim vlekem in uplinjanjem omogočajo popolno zgorevanje lesa tudi pri nižjih obremenitvah (50-100% nazivne moči). Imajo velik zalogovnik za gorivo, ločen prostor za uplinjanje ter zgorevanje. V prvem poteka sušenje in uplinjanje lesa, v sekundarnem pa zgorevajo nastali lesni plini. Posledica tega so nižje emisije, višji izkoristki (od 85 do 93%) in minimalno število polnitev zalogovnika s poleni. Na trgu je več ponudnikov kotlov nazivnih moči med 15 in 150 kW. Kotli zahtevajo večinoma suha polena (vlažnosti do 20%) dolžine 50 do 100 cm.



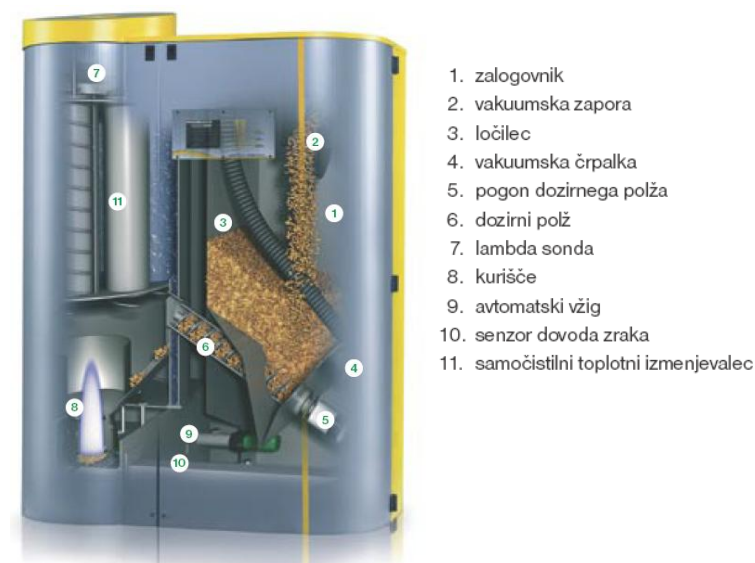
Slika 3: Prikaz različnih modernih kotlov na polena ali brikete s prisilnim vlekem in uplinjanjem

### 2.3 Kotli na lesene pelete

Sodobni kotli na lesene pelete so relativno nova a dovršena tehnologija. Glavne prednosti so visoki izkoristki (od 85 do 95%) in popolno avtomatsko delovanje. Avtomatsko odzemanje pelet iz zalogovnika, polnjenje kurišča, vžig, uravnavanje podpiha in avtomatska zaustavitev, ko je dosežena željena (nastavljeno) temperatura ogrevanega prostora.

Hišni kotel na pelete omogoča popoln komfort, ki je primerljiv z uporabo kotlov na kurilno olje. Slabost je visoka začetna investicija in dražje gorivo. Nazivne moči kurilnih naprav so večinoma med 3 in 300 kW.

Na sliki (Slika 4) je prikazan moderen kotel na pelete z avtomatskim doziranjem in vžigom.



Slika 4: Primer kotla na lesne pelete z avtomatskim doziranjem

Tudi za kotle na pelete in sekance manjših moči se priporoča uporaba zalogovnikov toplote (cca 50 l/kW).

### **3 Sproizvodnja toplote in električne energije**

Energetski zakon določa, da bodo morali kvalificirani proizvajalci z napravami za proizvodnjo električne energije na biomaso ali kombinirane kvalificirane elektrarne na obnovljive vire energije, ki uporabljajo biomaso, na podlagi veljavnih pogodb do leta 2011 za zagotovljen odkup ali prejemanje premij, dosegati celotni izkoristek pretvorbe energije, dovedene z biomaso v električno energijo in koristno toploto, najmanj 70%.

Sproizvodnja toplote in električne energije (SPTE) oziroma kogeneracija je najbolj učinkovita za pretvarjanje primarne energije (goriva) v koristno toploto in električno energijo.

Trenutno so na voljo naslednje tehnologije za sproizvodnjo toplote in električne energije (SPTE) z manjšimi kapacitetami:

- motorji z notranjim izgorevanjem,
- plinske turbine,
- motorji z zunanjim izgorevanjem - Stirlingovi motorji,
- turbine z organskim rankinovim procesom (ORC).

Motorji z notranjim izgorevanjem (dizelski motorji) in plinske turbine so primerni za uporabo tekočega in plinastega biogoriva (biodizel in bioplin). Dizelski motorji lahko uporabljajo pirolizna olja iz biomase, pri plinskih motorjih pa lahko uporabimo bioplin in pline, ki nastanejo pri uplinjanju biomase.

Za kmetijstvo so zelo primerni majhni in mikro sistemi za sproizvodnjo toplote in električne energije (kogeneracijo).

Za uporabo trdne biomase iz kmetijstva pa so primerni motorji z zunanjim izgorevanjem (Stirlingovi motorji) in turbine z organskim rankinovim procesom (ORC).

#### **1.1 Sproizvodnja toplote in električne energije na osnovi motorjev z zunanjim izgorevanjem - Stirlingovi motorji**

Ta tehnologija je na voljo šele v zadnjem času. Na trgu so predvsem manjše naprave nazivne električne moči od 1,5 do 30 kW. Prednost je predvsem možnost uporabe vseh vrst biomase.

Delovanje Stirlingovega motorja temelji na zaprtem krožnem procesu, kjer se delovni plin izmenično stiska v hladnem valju in razteza v vročem valju. Z vključitvijo regenerativnega prenosnika toplote se izkoristek motorja bistveno poveča. Posebnost tega sistema je zunanji dovod toplote vročemu valju, kar omogoča možnost uporabe vseh vrst biomase kot gorivo. Temperatura v vročem delu je okoli 950°C in je omejena z lastnostmi materiala na vročem delu. Vodik je najprimernejši delovni medij, vendar se zaradi težav s tesnjenjem večinoma uporablja zrak ali pa inertni plin, kot sta helij ali dušik.

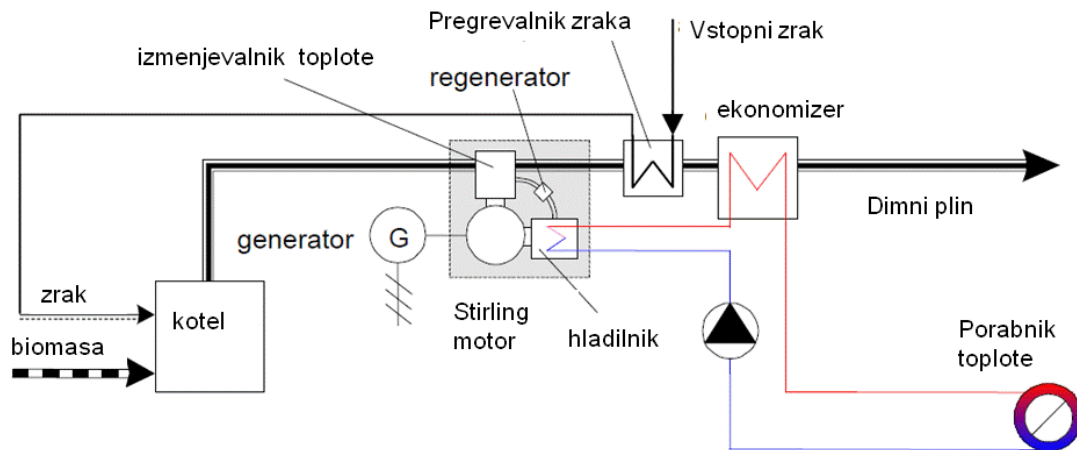
Teoretične osnove delovanje tega sistema so že dolgo znane, vendar pa je zaradi tehnološke zahtevnosti ta tehnologija za široko uporabo na voljo šele v zadnjih letih. Na trgu so predvsem manjše naprave nazivne električne moči od 1,5 do 35 kW. Nazivni električni izkoristki so





navadno okoli 12% (po trditvah nekaterih proizvajalcev celo do okoli 25%) ter skupni izkoristek do 90%.

Shema sistema za sproizvodnjo toplote in električne energije na osnovi Stirlingovega motorja je prikazana na sliki (Slika 5).



Slika 5: Shematičen prikaz SPTE na osnovi Stirlingovega motorja

Primer uporabe Stirlingovega motorja na lesne pelete je prikazan na sliki (Slika 6).



Slika 6: Primer kinematskega motorja na pelete

## Prednosti in slabosti Stirlingovega motorja

**Prednosti** Stirlingovega motorja so:

- možnost uporabe vseh vrst bio-goriv,
- malo gibljivih delov (v primerjavi z motorji z notranjim izgoranjem),
- tiho delovanje,



- dolgotrajno in zanesljivo obratovanje z malo vzdrževanja,
- nizki vzdrževalni stroški.

Med **slabosti** lahko štejemo predvsem:

- so novi in še nepreizkušeni sistemi,
- težave s tesnjenjem delovnega medija (kinematične izpeljanke motorjev),
- trenutna visoka cena (še ni množične proizvodnje),
- omejitve temperature na vročem delu (visoka termična obremenitev materiala),
- nekoliko večje zunanje mere glede na moč sistema,
- slabša prožnost in odziv sistema pri dinamičnih zahtevah (predvsem kinematični motorji).

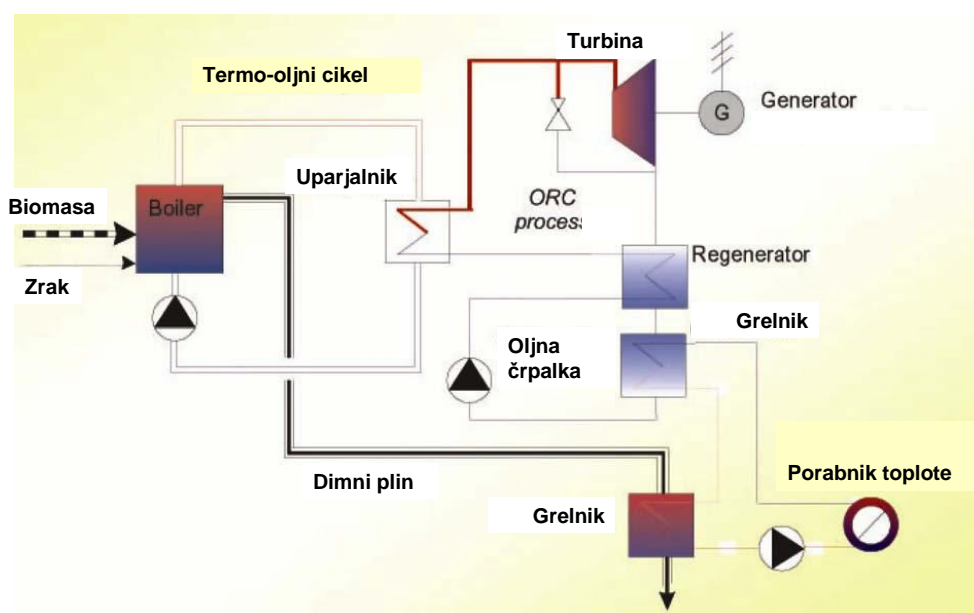
## 1.2 Soproizvodnja toplote in električne energije na osnovi organskega rankinovega krožnega procesa (ORC)

Organski rankinov krožni proces (organski rankinov cikel – ORC) je klasični Rankinov krožni proces s to razliko, da uporablja organsko delovno sredstvo z nižjo točko vrelišča namesto vode. Kot vir toplote v ORC je uporabljeno vroče olje.

Toplotni vir organskega rankinovega krožnega procesa (ORC) za uparjanje organskega delovnega sredstva (medija) je vroče olje, ki je pregreto v kotlu na biomaso. Izparjen organski medij ekspanzira v turbino (turbogenerator), ki poganja generator električne energije. Ekspanzirana para kondenzira v kondenzatorju in se vrne v uparjalnik s pomočjo črpalke.

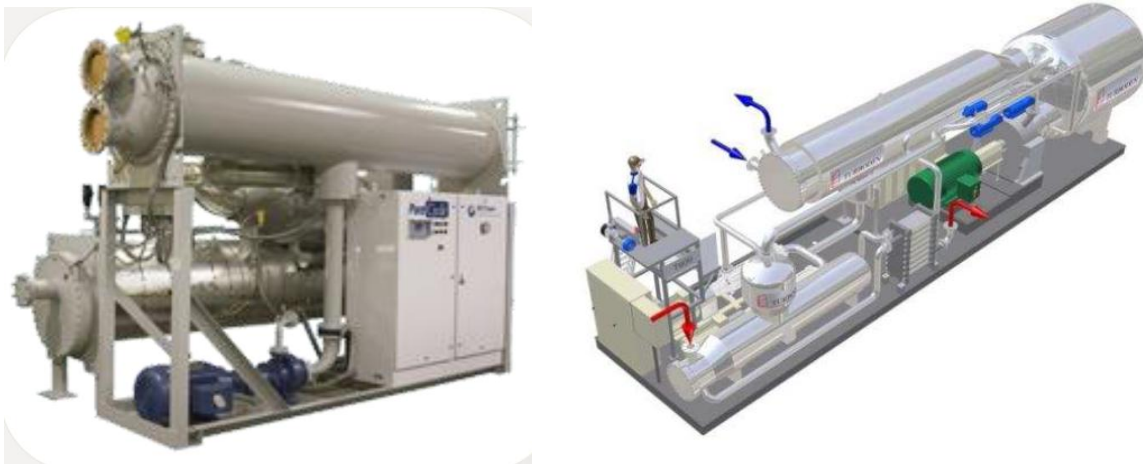
Namesto vodne pare, sistem ORC upari organske tekočine, ki jih označujejo molekulska masa večja od vode, kar vodi v počasnejše vrtenje turbine in nižji pritisk in erozijo kovinskih delov in rezila.

Osnovna shema sistema za soproizvodnjo toplote in električne na osnovi organskega rankinovega krožnega procesa (ORC) je prikazana na sliki (Slika 7).



Slika 7: Shematičen prikaz delovanja biomasnega sistema SPTE na osnovi ORC

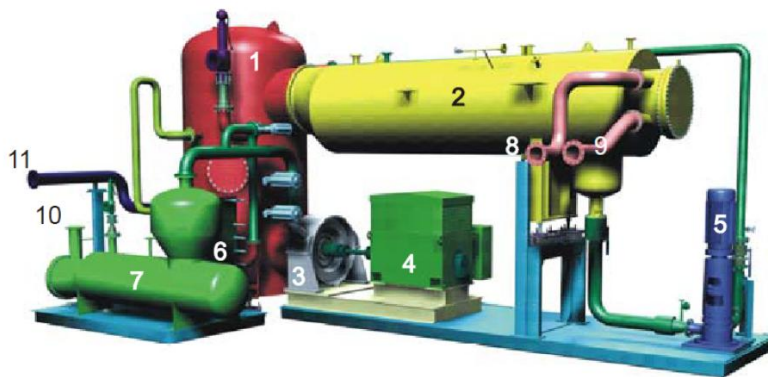
Proizvajalci sistema za soproizvodnjo toplote in električne energije na osnovi ORC navajajo, da je električni izkoristek sistema med 20 in 25 % vhodne energije v sistemu oziroma vhodne toplotne moči pregretega oljna v kotlu na biomaso. Tehnologija ORC sistemov (Slika 8) pri delovni temperaturi okoli 300 °C je dobro razvita in se z uporabo lesne biomase v energetske namene povečuje (Avstrija, Nemčija, Italija...).



Vir: Turboden, Italija

Slika 8: Prikaz dveh primerov izvedbe organskega rankinovega krožnega procesa ORC

Slika 9 prikazuje shemo instaliranega modula ORC v Avstriji (Lienz).



(1- Regenerator, 2- Kondenzator, 3- Turbina, 4- Generator električne energije, 5-Krožna črpalka, 6- Pregrevalnik, 7- Uparjalnik, 8- Vstop tople vode, 9- Izstop tople vode, 10- Vstop vročega olja, 11- Izstop vročega olja)

Slika 9: Osnovna shema instaliranega primera ORC (Lienz, Avstrija)

Razvit je tudi sistem ORC za izkoriščanje nizko-temperaturne (okoli 120°C) toplote (odvečna toplota iz SPTE v bio-plinarnah in SPTE na lesno biomaso.....), kot je to prikazano na sliki (Slika 10). Primer takšnega sistema je že izveden v Sloveniji.



Slika 10: Primer nizko-temperaturnega organskega rankinovega cikla (ORC)

V primerjavi s konkurenčnimi tehnologijami so glavne prednosti, pridobljene s tehnologijo ORC, sledeče:

- visok izkoristek turbine (do 90%) zaradi bolj učinkovitega termodinamičnega krožnega procesa,
- nizke mehanske obremenitve za turbine, zaradi nizkih obodnih hitrosti,
- nizka rotacijska hitrost turbine, ki omogoča direkten pogon električnega generatorja brez zmanjševanja prestav,
- dolga življenjska doba zaradi značilnosti delovne tekočino, ki za razliko od pare ne spodkopava in ne razjeda sedežev ventilov in cevi turbinskih lopatic;
- sistem za čiščenje vode ni potreben.

### 1.3 Podpora proizvodnji električne energije iz biomase

V veljavi sta dve uredbi o podporah električne energije, proizvedene iz obnovljivih virov energije:

- Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (Uredba OVE),
- Uredba o podporah električne energije, proizvedene v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom (Uredba SPTE).

Prva uredba se nanaša na električno energijo, proizvedeno izključno iz obnovljivih virov energije in druga na električno energijo, proizvedeno iz obnovljivih in neobnovljivih virov energije v soproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom.

Podpora proizvodnji električne energije iz biomase je določena v obeh uredbah v obliki cene zagotovljenega odkupa za naprave do 5 MW električne moči in/ali obratovalne podpore.

**Cene zagotovljenega odkupa** so določene na osnovi referenčnih stroškov proizvodnje električne energije, obratovalnih ur in velikostnega razreda proizvodne naprave oziroma SPTE ter se letno ali pogosteje usklajujejo glede na objavo referenčnih cen goriv.

Cene zagotavljenega odkupa za električno energijo iz proizvodnih naprav OVE na lesno biomaso, pri katerih lesna biomasa pomeni več kot 90 % dovedene primarne energije goriva v obeh uredbah, so prikazane v tabeli (Tabela 1).

Tabela 1: Cene zagotavljenega odkupa za električno energijo iz proizvodnih naprav OVE na lesno biomaso			
Velikostni razred proizvodne naprave	Uredba OVE	Uredba SPTE	
	[EUR/MWh]	<4000 ur [EUR/MWh]	> 4000 ur [EUR/MWh]
mikro (< 50 kW)	1	1	1
mala (< 1 MW)	224,35	326,70	220,05
srednja (do 5 MW)	167,43	252,73	172,27

<sup>1</sup> Določí se za vsak posamezen primer posebej, enako kot za naprave iz zadnjega odstavka 3. člena te uredbe.

**Obratovalna podpora** je razlika med referenčnimi stroški proizvodnje električne energije v posameznih proizvodnih napravah OVE in referenčno tržno ceno električne energije. Obratovalne podpore za električno energijo iz proizvodnih naprav OVE na lesno biomaso, pri katerih lesna biomasa pomeni več kot 90 % dovedene primarne energije goriva, so prikazane v tabeli (Tabela 2).

Tabela 2: Obratovalne podpore za električno energijo iz proizvodnih naprav na lesno biomaso			
Velikostni razred proizvodne naprave	Uredba OVE	Uredba SPTE	
	[EUR/MWh]	<4000 ur [EUR/MWh]	> 4000 ur [EUR/MWh]
mikro (< 50 kW)	1	1	1
mala (< 1 MW)	165,20	269,5	160,25
srednja (do 5 MW)	107,63	192,28	111,17

<sup>1</sup> Določí se za vsak posamezen primer posebej, enako kot za naprave iz zadnjega odstavka 3. člena te uredbe.

## 4 Koristne naslove

- Javna agencija Republike Slovenije za energijo: <http://www.agen-rs.si/sl/>
- Eko sklad, Slovenski okoljski javni sklad: <http://www.ekosklad.si/>
- Center za podpore (Borzen - Organizator trga z elektrono energijo): <http://www.borzen.si/slo/centerzapodpore/ocentruzapodpore>
- Ministrstvo za gospodarstvo - Direktorat za energijo, Sektor za aktivnosti učinkovite rabe in obnovljivih virov energije: [http://www.mg.gov.si/si/delovna\\_podrocja/energetika/sektor\\_za\\_aktivnosti\\_ucinkovite\\_rabe\\_in\\_obnovljivih\\_virov\\_energije/](http://www.mg.gov.si/si/delovna_podrocja/energetika/sektor_za_aktivnosti_ucinkovite_rabe_in_obnovljivih_virov_energije/)
- Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO): <http://www.arso.gov.si/>
- Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije: <http://www.mkgp.gov.si/si/>

## 5 Reference

- [1] Uredbe o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije (Ur.l. RS, št. 37/2009, 53/2009, 68/2009, 76/2009).
- [2] Uredba o podporah električne energije, proizvedene v sproizvodnji toplote in električne energije z visokim izkoristkom, Uradni list RS št. 37/2009
- [3] Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE): [http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN\\_OVE\\_2010-2020\\_final.pdf](http://www.mg.gov.si/fileadmin/mg.gov.si/pageuploads/Energetika/Porocila/AN_OVE_2010-2020_final.pdf)
- [4] DIREKTIVA 2009/28/ES EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA z dne 23. aprila 2009 o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES
- [5] wvterm d.o.o., Slovenija: Ogrevalna tehnika-Katalog, <http://www.wvterm.si/datoteke/Ceniki/prospekt.pdf>
- [6] BIOS Bioenergiesystems: Biomasse-Verstromung mittels Stirlingmotor - Grundlagen und praktische Erfahrungen, publikacija 2004, <http://www.bios-bioenergy.at/en/electricity-from-biomass/stirling-engine.html>
- [7] I. Obernberger in ostali: State-of-the-art and future developments regarding small-scale biomass CHP systems with a special focus on ORC and Stirling engine technologies, International Nordic Bioenergy 2003 conference
- [8] I. Obernberger in G. Thek: Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe – state-of-the-art and relevant future developments, t 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (keynote lecture), April 2008, Vilamoura, Portugal
- [9] Turboden, Italija: <http://www.turboden.eu/en/home/index.php>
- [10] Calnetix Power Solutions, ZDA: <http://www.calnetixps.com/waste-heat-generation-technology/>
- [11] Turboden: Company Presentation 2010, Brošura
- [12] Calnetix Power Solutions: Calnetix Clean Cycle, Brošura