

OŠ Gustava Šiliha Laporje
Laporje 31, 2318 Laporje



ENERGIJSKA VREDNOST KOMUNALNIH ODPADKOV

Področje: fizika
Raziskovalna naloga

Avtorja: Jurij Hojnik in Uroš Sobotič Verdnik, 8. a

Mentorja: Marijan Krajncan, prof. in Alenka Fidler, prof.

Lektorica: Božena Brence, prof.

Laporje, 2015

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujema mentorjema, gospodu Marijanu Krajnčanu in gospe Alenki Fidler, ki sta naju pri delu natančno usmerjala.

Prav tako se zahvaljujema gospe Boženi Brence za lektoriranje raziskovalne naloge, gospe Mateji Čuš za prevod povzetka in družini Sobotič Verdnik, ki nam je nudila prostor za izvajanje eksperimentalnega dela.

Še enkrat vsem iskrena hvala.

KAZALO

1	UVOD	4
2	TEORETIČNI DEL	6
2.1	Energija skozi čas	6
2.2	Viri energije	7
2.2.1	Neobnovljivi viri energije	8
2.2.2	Obnovljivi viri energije	8
2.2.3	Energetska pismenost	9
2.2.4	Uporaba različnih virov energije	10
2.3	Ogrevanje v Sloveniji	11
2.4	Organski odpadki kot gorivo	12
2.4.1	Biomasa	13
2.4.2	Tehnologije pridobivanja energije iz biomase	14
2.5	Oblike energije	15
2.5.1	Notranja energija	15
2.5.2	Specifična toplota	16
2.5.3	Specifična sežigna toplota	18
3	EKSPERIMENTALNI DEL	19
3.1	Namen raziskave	19
3.2	Cilji raziskave	19
3.3	Hipoteze	19
3.4	Metodologija	19
3.5	Postopki zbiranja podatkov	19
3.5.1	Gorilnik	19
3.5.2	Drugi pripomočki	20
3.5.3	Vzorci goriv	21
3.5.4	Postopek eksperimentiranja in izračunov	22
3.5.5	Izračuni	23
4	REZULTATI	25
4.1	Rezultati meritev	25
4.2	Primerjava izračunanih vrednosti z vrednostmi, zapisanimi v literaturi	26
5	RAZPRAVA	27
6	LITERATURA IN VIRI	30

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Specifične sežigne toplote in kurilna vrednost posameznih snovi	18
Tabela 2:	Rezultati meritev z izračuni	25
Tabela 3:	Lestvica goriv glede na energijsko vrednost od največje do najmanjše	26
Tabela 4:	Primerjava izračunanih vrednosti z vrednostmi, zapisanimi v literaturi	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Ogenj kot pomembno orodje pračloveka	6
Slika 2: Energijski časovni trak	7
Slika 3: Primarna raba energije na svetovni ravni med letoma 1800 in 2014	10
Slika 4: Primarni viri za oskrbo Slovenije z energijo po podatkih iz leta 2013	11
Slika 5: Končna poraba energije v gospodinjstvih v Sloveniji v letu 2009	11
Slika 6: Količine nastalih in zbranih organskih kuhinjskih odpadkov iz gospodinjstev in gostinstva v Sloveniji leta 2010	12
Slika 7: Načini ravnanja z organskimi kuhinjskimi odpadki v Sloveniji leta 2010	13
Slika 8: Prikaz toplotnega sevanja	16
Slika 9: Preglednica specifičnih toplot nekaterih snovi	17
Slika 10: Preglednica specifičnih talilnih in izparilnih toplot s podatki za tališče in vrelišče	17
Slika 11: Gorilnik iz aluminijaste pločevine	20
Slika 12: Pripomočki za eksperiment	20
Slika 13: Različni volumni biogoriv pri enaki masi	21
Slika 14: Različni volumni biogoriv pri enaki masi	21
Slika 15: Različni volumni goriv pri enaki masi	22
Slika 16: Potek eksperimentiranja	22

UPORABLJENI SIMBOLI

m_g	-	masa goriva
m_p	-	masa pepela
m_v	-	masa vode
T_1	-	začetna temperatura vode
T_2	-	temperature vode po sežigu goriva
ΔT	-	sprememba temperature vode
Q	-	toplota, ki jo je voda dobila od goriva
c	-	specifična toplota vode
c_s	-	sežigna toplota
η	-	izkoristek goriva

POVZETEK

V okviru raziskovalne naloge smo določali energijsko vrednost nekaterih komunalnih odpadkov, s primerjavo njihovih kaloričnih vrednosti pa ugotavljali smiselnost uporabe posameznih vrst odpadkov za pridobivanje energije.

Za eksperimentalno delo smo si pripravili različne vzorce komunalnih odpadkov (razne olupke sadja in zelenjave, različno plastiko, časopisni papir, les, suho travo, odpadno listje, parafinske kocke, mešanici olupkov mandarin in prozorne plastike ter olupkov banan in papirja). Vsi vzorci so imeli maso 10 gramov. Iz aluminijaste pločevine smo izdelali gorilnik za sežiganje vzorcev goriv.

S pomočjo merjenja spremembe temperature segrete vode pred sežiganjem posameznega goriva in po njem smo določili energijsko vrednost vzorcev goriv. Ugotovili smo, da ima najvišjo energijsko vrednost plastika, nekoliko manjšo različna biogoriva, najmanjšo pa časopisni papir. Dobljene rezultate smo primerjali z vrednostmi iz literature in ugotovili, da so bile naše izmerjene vrednosti precej nižje, lestvica goriv glede na energijsko vrednost pa je bila enaka kot v literaturi.

Na podlagi naših ugotovitev lahko trdimo, da bi s pomočjo sežiganja komunalnih odpadkov lahko pridobivali energijo, pri tem pa bi morali poskrbeti za izpuste.

Ključne besede: energijska vrednost, biogoriva, odpadki, sežiganje, pridobivanje energije

ABSTRACT

In our research we determined the energy value of some municipal solid waste and with the comparison of their calorific values we established the sanity of use of the individual groups of waste for the production of energy.

For the research, we prepared different samples of municipal solid waste (different fruit and vegetable peels, plastic, newspapers, wood, dried grass, leaves, paraffin wax cubes, mixture of tangerine and banana peels, transparent plastic, and paper). All samples weighed 10 grams. We made burner for combustion of fuel samples from the aluminium sheet.

We determined the energy value of fuel samples with the measurements of temperature changes of the water that was heated before combustion of the particular fuel and after it. We established that plastic has the highest energy value, which is followed by different bio fuel but the lowest energy value has a newspaper. We compared our results with the values from the books and we found out that our values were quite lower compared to those in books but according to the energy value the fuel scale was the same as in literature.

According to our findings we can affirm that we could produce energy with the help of municipal solid waste combustion but we should take care of the emission.

Key words: energy value, bio fuel, waste, combustion, production of energy

1 UVOD

S pojmom energija se srečujemo v vsakdanjem življenju v povezavi z električno energijo, ogrevanjem, pripravo hrane ipd.

Energijo lahko pridobivamo iz neobnovljivih virov (fosilna goriva in jedrska energija) in obnovljivih virov (biomasa, rečna energija, energija vetra, geotermalna energija, energija morske vode in energija sonca). V zadnjem času se predvsem zaradi manjših vplivov na okolje vedno bolj govori o obnovljivih virih energije, vendar le-ti še ne morejo nadomestiti fosilnih goriv.

Z raziskovalno nalogo želimo raziskati energijsko vrednost nekaterih komunalnih odpadkov, ki so v največji meri sestavljeni iz organskih materialov in plastike. S primerjavo kaloričnih vrednosti želimo ugotoviti smiselnost uporabe posameznih vrst odpadkov za pridobivanje energije. Ugotoviti želimo, kateri komunalni odpadek ima največjo in kateri najmanjšo energijsko vrednost, dobljene energijske vrednosti različnih komunalnih odpadkov pa želimo primerjati z energijskimi vrednostmi, objavljenimi v literaturi.

Zastavili smo si naslednje hipoteze:

- **Hipoteza A:** Predpostavljamo, da s sežiganjem bioodpadkov lahko pridobivamo energijo.
- **Hipoteza B:** Predpostavljamo, da bo imel les v primerjavi z ostalimi odpadki, zajetimi v vzorec, največjo energijsko vrednost.
- **Hipoteza C:** Predpostavljamo, da organske snovi oddajo pri gorenju več toplote kot umetne snovi.
- **Hipoteza D:** Predpostavljamo, da bi se za kurjavo lahko uporabljala tudi mešanica bioodpadkov skupaj z umetnimi snovmi.

V teoretičnem delu smo preučili različne vire energije in izpostavili njihove prednosti ter slabosti. Spregovorili smo o pomenu energetske pismenosti, ki omogoča bolj odgovorne in utemeljene odločitve na področju energije, omogoča zanesljivost oskrbe, spodbuja gospodarski razvoj, usmerja k trajnostni rabi energije, usmerjena je k zmanjševanju okoljskih tveganj in teži k zmanjševanju stroškov za porabo energije. S pomočjo literature smo preučili načine uporabe organskih odpadkov kot goriva. Spoznali smo biomaso, bioplinarne in postopek sežiganja. Seznanili smo se z več vrstami energije, natančneje pa smo si pogledali notranjo energijo.

Eksperimentalni del sloni na eksperimentu, med katerim smo sežigali razne vzorce goriv in iz spremembe temperature ogrevane vode izračunali energijske vrednosti posameznih goriv.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Energija skozi čas

V davni preteklosti so naši predniki tako kot druge živalske vrste poznali le dva vira energije, hrano in sončno energijo. Takrat je človek vsa dela opravljal s pomočjo svojih mišic, kasneje pa je zaradi potreb preživetja in lajšanja dela razvil različna preprosta orodja. Čas, ko se je človek pred približno 500.000 leti naučil vzdrževati in kasneje tudi zanetiti ogenj, velja za enega od ključnih trenutkov v človekovi zgodovini.



Slika 1: Ogenj kot pomembno orodje pračloveka
(Vir: Kovač, 2011)

Pred približno 6.000 leti so hrana, sonce in les predstavljali edine vire energije, druge vire so pričeli odkrivati približno 3.500 let pred našim štetjem. Stari Egipčani so izkoriščali veter za plutje ladij po reki Nil, prve vetrnice in vodna kolesa za mletje žit so izumili v Perziji in stari Grčiji, kasneje so pričeli uporabljati goreče olje za razsvetljava, odkrili pa so tudi nafto in premog (Demšar idr., 2009).

Ko so ugotovili, da lahko z ognjem talijo kovine in oblikujejo različne uporabne predmete, so potrebe po energiji narasle. V 17. stoletju so kot vir energije uporabljali predvsem les, zaradi česar je prišlo do pretiranega sekanja gozdov. Les kot vir energije je konec 17. stoletja zamenjal premog, zato se je povečalo število premogovnikov. V premogovnikih so uporabljali črpalke na paro, ki so jih segrevali s premogom, kasneje pa se je ta vir energije prenesel na druge stroje in prevozna sredstva. Parni stroj je zanetil industrijsko revolucijo, zaradi česar so se potrebe po energiji še povečale. V drugi polovici 19. stoletja se je premogu kot viru energije pridružila še nafta, ki se je uveljavila šele z izumom dizelskega in bencinskega motorja predvsem v prometu. S porastom avtomobilske industrije se je poraba nafte z leti povečevala. V 20. stoletju so iznašli električni generator in začeli graditi prve elektrarne. Elektrarne je lahko poganjala tudi voda, ki je s tem postala pomemben vir energije. Z uvedbo elektrike in plina v domove je energija postala lahko dostopna, ljudje pa so dobili občutek, da je energije na razpolago v neomejenih količinah. Šele v drugi polovici prejšnjega stoletja so se ljudje zavedli, da nekaterih virov energije ni v neomejenih količinah. Po jedrski nesreči v Černobilu leta 1986 se je pričelo iskanje čistejših virov energije, ki bi lahko nadomestili predvsem premog in nafto (Demšar idr., 2009).



Slika 2: Energijski časovni trak
(Vir: Demšar idr., 2009: 109)

2.2 Viri energije

Današnje znanje o energiji je plod sistematičnega dela znanstvenikov tako s področja naravoslovja kot družboslovja. Znanstveniki naravo opazujejo, postavljajo hipoteze ter jih eksperimentalno in teoretično preverjajo z modeli. Malo možnosti je, da bi se temeljna spoznanja o energiji spremenila, čeprav znanstveniki teorijo o naravi ves čas spreminjajo, saj z novimi eksperimenti odkrivajo neskladja z obstoječimi modeli in teorijami (Drevenšek idr., 2014).

»Energija omogoča opravljanje dela. Telesa lahko opravijo največ toliko dela, kot imajo razpoložljive energije. Ko opravljajo delo, se njihova energija manjša. Telo, ki nima energije, ne more opravljati dela oziroma povzročati sprememb« (Demšar idr., 2009: 72).

»Energija telesa se lahko pretvarja iz ene oblike v drugo. Pri tem se ohranja vsota kinetične, potencialne, prožnostne in notranje energije. Skupna energija telesa se ne spremeni. V takšnih primerih velja zakon o ohranitvi energije« (Beznec idr., 2010: 119).

Energijo pridobivamo iz najrazličnejših virov. Poznamo neobnovljive vire in obnovljive vire energije, ki v zadnjem času postajajo vse bolj zanimivi, vendar še ne morejo nadomestiti fosilnih goriv.

2.2.1 Neobnovljivi viri energije

Večino neobnovljivih virov energije predstavljajo fosilna goriva kot so premog (25 %), nafta (37 %) in plin (23 %). Premog, nafta, zemeljski plin in jedrsko gorivo so nastali v milijonih let iz živalskih in rastlinskih ostankov, kar pomeni, da izhajajo iz energije sonca. So vsestransko uporabni, saj jih lahko uporabljamo za proizvodnjo električne energije, pogon strojev, prevoznih sredstev in za ogrevanje prostorov. Uporaba fosilnih goriv ima dve ključni prednosti, poceni pridobivanje in transport, med slabostmi pa je treba izpostaviti izpuste pri gorenju, rudnike in črpališča, omejenost virov, predvsem pa posledice nesreč tankerjev. Fosilna goriva verjetno nastajajo še danes, vendar zelo počasi, mnogo počasneje, kot jih trenutno izrabljamo. Kljub temu da je količina teh virov omejena, naša preskrba z energijo v veliki meri temelji na njih (Demšar idr., 2009).

Jedrska energija predstavlja 6 % vseh virov pridobivanja energije, ki jih poznamo. Človek pridobiva jedrsko energijo z razcepom uranovih jeder. V jedrskih elektrarnah se kot gorivo uporablja obogateni uran. Pri pridobivanju jedrske energije ni izpustov, obratovanje jedrskih elektrarn je cenovno ugodno. Slabosti pridobivanja jedrske energije so številne nesreče, radioaktivni odpadki, zapletena tehnologija in draga izgradnja (Demšar idr., 2009).

2.2.2 Obnovljivi viri energije

Narava nam nudi nepredstavljive priložnosti za izkoriščanje energije, obnovljive vire energije.

Obnovljivi viri energije spadajo med najpomembnejše vire energije, ki jih poznamo. Ker ne izpuščajo strupenih plinov in ne puščajo umazanije ter odpadkov, so okolju prijazni. To, da so viri obnovljivi, pomeni, da je njihova uporaba skoraj neomejena (Modri Jan).

Poznamo različne možnosti pridobivanja obnovljivih virov energije kot so biomasa, rečna energija, energija vetra, geotermalna energija, energija morske vode in energija sonca.

V svetovnem merilu je rečne energije 3 %. Proizvajajo jo akumulacijske, pretočne, pretočno-akumulacijske in črpalno-akumulacijske hidroelektrarne. Najpomembnejši sestavni del hidroelektrarne je turbina, ki jo poganja generator, ki pretvarja hidroenergijo v električno energijo. Izkorišča torej kinetično energijo vode, pridobljeno s padcem. Med prednostmi rečne energije je treba izpostaviti dolgo življenjsko dobo hidroelektrarn, zanemarljive količine izpustov, nizke obratovalne stroške in visoke izkoristke, vendar pa postavitve hidroelektrarne predstavlja velik poseg v naravo, cena naložbe je visoka, proizvodnja električne energije pa niha glede na pretok reke. Ta vrsta električne energije je eden najpomembnejših obnovljivih virov energije v Sloveniji, saj s pomočjo hidroelektrarn proizvedemo kar 30 % vse proizvedene električne energije. Največ rečne energije se proizvede v hidroelektrarnah na rekah Dravi, Savi in Soči (Demšar idr., 2009; Mustafić, 2011).

Energija vetra daje zgolj 1 % pridobljene energije v svetovnem merilu. Energija vetra je obnovljiv in trajnosten vir energije. Ne proizvaja toplogrednih plinov, zato je okolju prijazna. Ključnega pomena pri izkoriščanju vetrne energije je lokacija vetrne elektrarne oziroma vetrnih turbin, saj mora biti vetrna elektrarna postavljena na mestu s primerno količino in močjo vetra. Vetrna elektrarna predstavlja prostor, v katerem se energija vetra pretvarja v električno energijo. Prav zaradi potrebne moči in količine vetra v Sloveniji ni mogoče postavljati vetrnih elektrarn po vsej Sloveniji, ampak so najprimernejše lokacije na Primorskem. V Evropi je največ vetrnih elektrarn v Španiji in Italiji (Demšar idr., 2009; Vepa, vetrni parki).

Geotermalna energija obstaja, odkar obstaja Zemlja. Geo pomeni zemlja, termal pomeni vročina/toplota. Geotermalna torej pomeni vročino Zemlje. Globlje kot gremo pod površino,

bolj je vroče. Temperatura se za vsakih 100 metrov globine dvigne za 3 stopinje Celzija. Geotermalno energijo uporabljamo za rastlinjake, za gretje vode v bazenih zdravilišč in za gretje stavb pozimi. Med prednostmi je potrebno izpostaviti majhen poseg v naravo, dober izkoristek in pridobivanje brez izpustov, med slabostmi pa, da daje majhne moči in da ni povsod na voljo (Demšar idr., 2009).

Energija morske vode se pridobiva z izkoriščanjem energije plimovanja, valovanja, morskih tokov in valov. Izkorišča se v zelo majhni meri, saj je izgradnja izredno draga (Demšar idr., 2009).

Energija sonca predstavlja skoraj neizčrpen vir energije, izrabljamo pa jo lahko pasivno (npr. premišljena zasnova stavb) ali aktivno (npr. ogrevanje sanitarne vode s sončnimi zbiralniki). V današnjem času se ljudje vse premalo zavedamo neizčrpnosti te energije in jo posledično tudi premalo izkoriščamo. Spada med vrste energije, ki ne onesnažujejo okolja, so brezplačne in se obnavljajo. Energijo sonca pri nas uporabljajo predvsem za segrevanje vode s sončnimi kolektorji in kot solarne celice. Pomanjkljivost te energije je, da je trenutno še ne znamo shranjevati na zalogo, kar pomeni, da moramo pri uporabi te energije točno vedeti, za kaj jo uporabljamo, in da je razpoložljivost te energije odvisna od letnega časa in lokacije. Sonce pošlje na Zemljo v samo treh urah toliko energije, kot jo človeštvo porabi v enem letu (Demšar idr., 2009; Energap).

2.2.3 Energetska pismenost

Energetska pismenost pomeni razumevanje lastnosti in pomena energije v vesolju, na Zemlji ter v naših življenjih. Vključuje pa tudi zmožnost uporabe tega znanja. Energetska pismenost je pomembna, saj omogoča bolj odgovorne in utemeljene odločitve, omogoča zanesljivost oskrbe, spodbuja gospodarski razvoj, usmerja k trajnostni rabi energije, usmerjena je k zmanjševanju okoljskih tveganj in teži k zmanjševanju stroškov za porabo energije.

Energetsko pismeni smo, če (Drevenšek idr., 2014: 4):

- znamo slediti energijskim tokovom in o energiji razmišljati sistemsko;
- se zavedamo, koliko energije porabimo za izvajanje svojih dejavnosti in od kod to energijo dobimo;
- znamo ovrednotiti verodostojnost informacij o energiji;
- razumno komuniciramo o energiji in njeni rabi;
- naše odločitve o izbiri in izkoriščanju virov energije temeljijo na dejstvih in znanju ter razumevanju posledic naših odločitev;
- nenehno nadgrajujemo svoje znanje o energiji in oskrbi z njo.

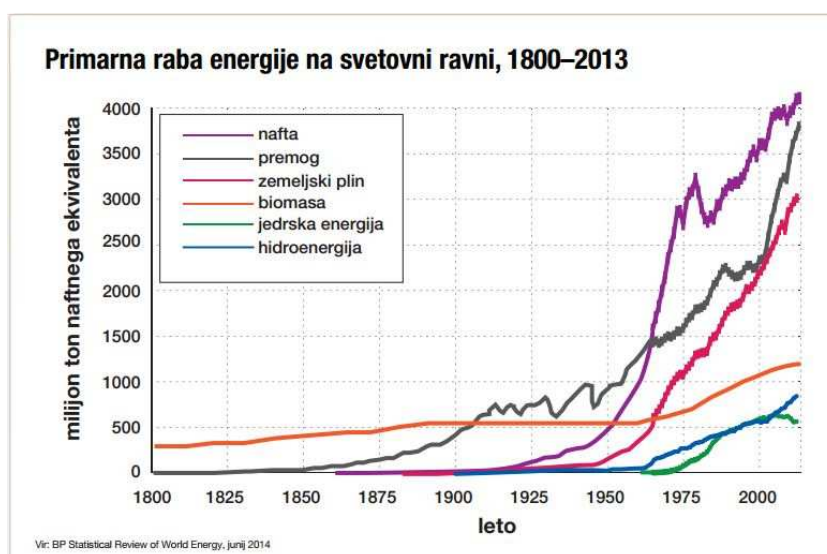
Energetsko pismenost usmerja sedem temeljnih usmeritev, in sicer (Drevenšek idr., 2014):

- Energija je fizikalna količina, za katero veljajo natančni, dobro znani naravni zakoni.
- Fizikalne procese na Zemlji poganjajo tokovi energije, ki tečejo skozi celoten sistem planeta Zemlja.
- Biološki procesi so del procesov na Zemlji, ki jih poganjajo energijski tokovi.
- Za svoje aktivnosti potrebujemo energijo, ki jo moramo učinkovito prenesti od vira do uporabnika.

- Na odločitve o izbiri in izkoriščanju virov energije vplivajo na eni strani ekonomski, politični in družbeni dejavniki, kot so posamezniki, politiki in naravovarstveniki, na drugi strani pa je okoljski vidik. O izkoriščanju virov energije se odločamo na individualni ravni, na ravni skupnosti, na nacionalni in mednarodni ravni. Današnja energetska infrastruktura je posledica in rezultat odločitev v preteklosti, spreminjanje le-te pa je težko, saj je bilo vanjo vložena veliko denarja, časa in tehnologij. K odločanju o izbiri in izkoriščanju virov energije je potrebno pristopiti sistemsko.
- Količina energije, ki jo porabimo v družbi, je odvisna od številnih dejavnikov. Potreba po energiji zaradi naraščanja svetovnega prebivalstva, industrializacije in družbeno-ekonomskega razvoja narašča, viri energije na Zemlji pa so omejeni. Varčevanje z energijo izpostavlja učinkovito rabo energije za določen namen, premišljeno izbiro virov energije in zmanjševanje porabe energije na splošno.
- Odločitve o izbiri in rabi virov energije vplivajo na kakovost življenja posameznika in družbe ter imajo ekonomske posledice, saj se odražajo v stroških oskrbe z energijo ter v stabilnosti cen in dobave energije.

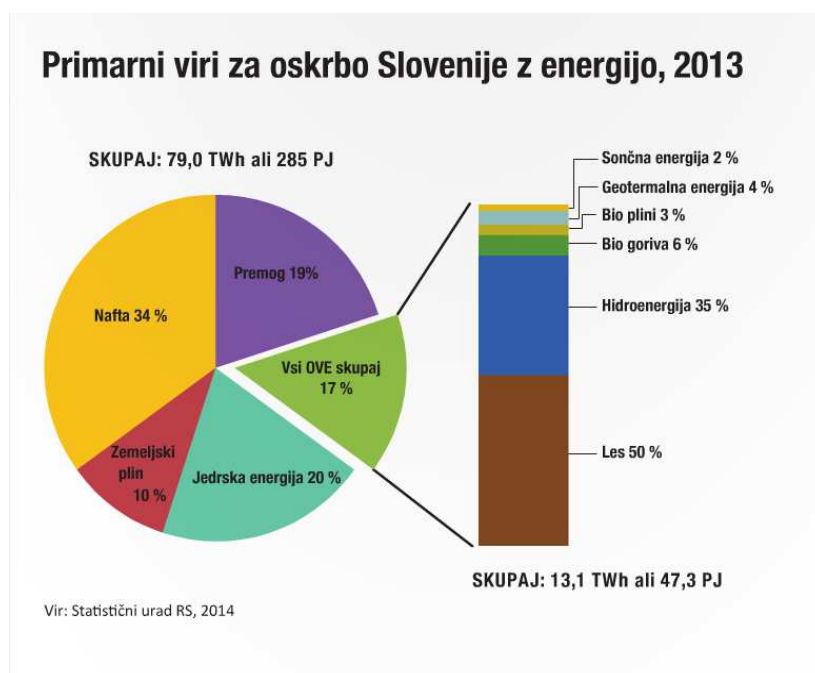
V letu 2013 se je 52 % vseh porabnikov v Sloveniji oskrbovalo z energijo, pridelano v Sloveniji, ostalih 48 % pa z energijo, pridelano v tujini. Pri domačih surovinah si podoben del delijo premog, obnovljivi viri energije in jedrska energija. Pri tujih proizvodih prevladujejo naftni proizvodi, manjši delež pa prispevata tudi premog in zemeljski plin.

2.2.4 Uporaba različnih virov energije



Slika 3: Primarna raba energije na svetovni ravni med letoma 1800 in 2014
(Vir: Drevenšek idr., 2014: 7)

S slike 3 je razvidno, da raba energije ves čas narašča, zadnja leta nekoliko upada zgolj poraba jedrske energije. V svetovnem merilu vse od leta 1925 najbolj narašča primarna raba nafte. Poraba biomase je rahlo naraščala do leta 1960, kasneje nekoliko bolj. Primarna raba jedrske energije ne predstavlja velikega deleža, najbolj pa je narasla med letoma 1975 in 2002. Primarna raba zemeljskega plina se povečuje od leta 1945, primarna raba premoga se je postopoma povečevala med letoma 1850 in 2013.



Slika 4: Primarni viri za oskrbo Slovenije z energijo po podatkih iz leta 2013
(Vir: Drevenšek idr., 2014: 12)

S slike 4 je razvidno, da glavni primarni vir energije v Sloveniji leta 2013 predstavlja nafta (34 %), nekoliko manj se porabljata jedrska energija (20 %) in premog (19 %), najmanj pa zemeljski plin (10 %). Obnovljivi viri energije v Sloveniji leta 2013 predstavljajo zgolj 17 % delež. Med njimi porabimo največ energije, pridobljene iz biomase (50 %), in hidroenergije (35 %), vsi ostali obnovljivi viri energije so zanemarljivi.

2.3 Ogrevanje v Sloveniji

	NAMEN PORABE				
	SKUPAJ ¹⁾	Ogrevanje prostorov	Ogrevanje sanitarne vode	Kuhanje	Drugo
ENERGETSKI VIR	TJ				
SKUPAJ¹⁾	49.367	32.436	7.839	1.787	7.305
Ekstra lahko kurilno olje	10.826	8.858	1.969	-	-
Zemeljski plin	4.442	3.474	730	237	-
Lesna goriva	16.730	14.541	1.892	297	-
Utekočinjeni naftni plin	1.583	705	148	731	-
Električna energija	11.293	1.266	2.200	522	7.305
Premog	31	27	4	-	-
Daljinska toplota	4.022	3.260	762	-	-
Sončna energija	185	88	97	-	-
Geotermalna energija	255	218	36	-	-

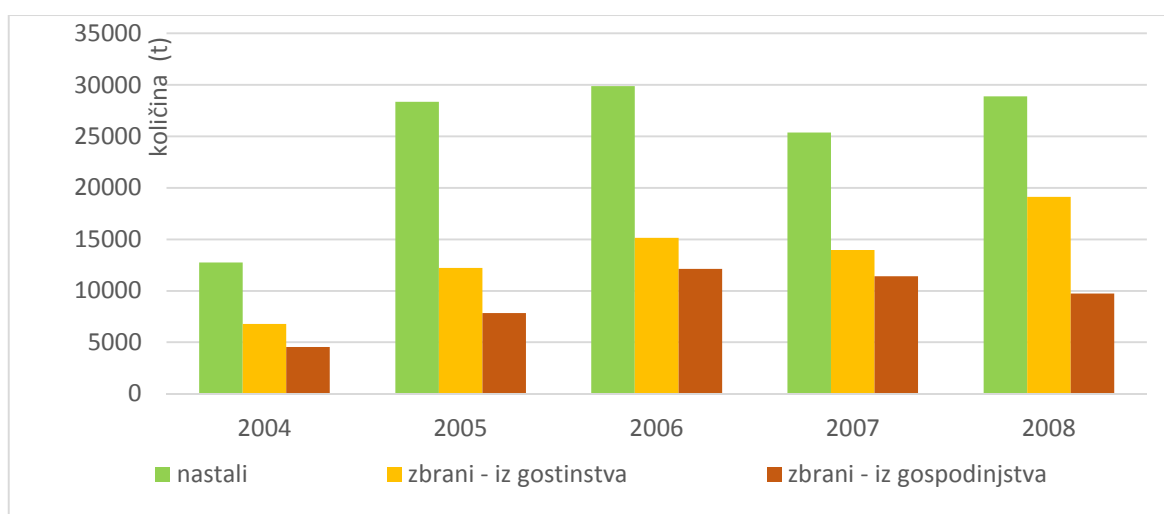
Slika 5: Končna poraba energije v gospodinjstvih v Sloveniji v letu 2009
(Vir: Statistični urad RS, 2011)

Slika 5 prikazuje, da se v Sloveniji gospodinjstva odločajo za različne vrste ogrevanja. Prevladuje ogrevanje z lesnimi gorivi (polena, lesni ostanki, sekanci, peleti in briketi) s skoraj 34 %, sledijo električna energija z nekaj več kot 23 %, ekstra lahko kurilno olje s skoraj 22 %, zemeljski plin z 9 % in daljinska toplota z 8 %.

2.4 Organski odpadki kot gorivo

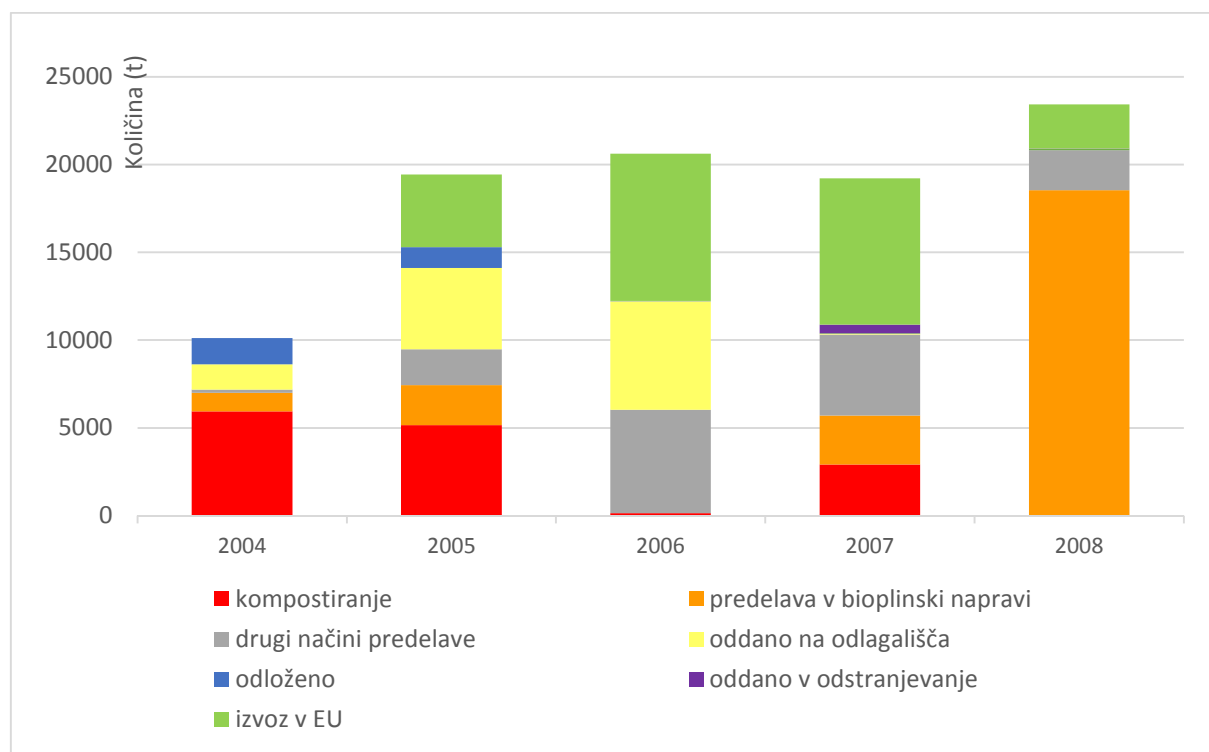
Organski odpadki so odpadki naravnega izvora. Nastajajo v gospodinjstvih, kmetijstvu, gozdarstvu in nekaterih proizvodnih dejavnostih. Ločimo biološke odpadke, ki nastanejo pri pripravi oziroma predelavi hrane (poljščine, zelenjava, odpadki v gospodinjstvu, odpadki iz živilskopredelovalne industrije ipd.), in zelene odpadke, kamor štejejo ostanke z vrtov, iz nasadov, grmovnic, okrasnih rastlin ipd.

V skladu s slovensko zakonodajo se morajo organski odpadki iz gospodinjstev zbirati ločeno.



Slika 6: Količine nastalih in zbranih organskih kuhinjskih odpadkov iz gospodinjstev in gostinstva v Sloveniji leta 2010
(Vir: ARSO, 2010)

S slike 6 je razvidno, da se zbrani organski odpadki iz gostinstva povečujejo, zbrane količine organskih odpadkov iz gospodinjstev pa se zmanjšujejo. Vzrok je nova slovenska zakonodaja, ki predvideva ločeno zbiranje odpadkov, zaradi česar se je povečala razširjenost hišnih kompostnikov.



Slika 7: Načini ravnanja z organskimi kuhinjskimi odpadki v Sloveniji leta 2010
(Vir: ARSO, 2010)

Slika 7 prikazuje, da se količina pridelanih organskih odpadkov ves čas povečuje. Do leta 2005 je prevladovalo kompostiranje, do leta 2006 je bilo pogosto tudi odlaganje na odlagališčih, kasneje pa so pričeli organske odpadke uporabljati za pridelavo energije s pomočjo bioplinarn, kar je svoj vrhunec doseglo leta 2008. Do leta 2005 organskih kuhinjskih odpadkov nismo izvažali v Evropsko Unijo, leta 2005 se je v Evropo izvozilo okoli 4000 ton, v prihodnjih letih pa čedalje več organskih odpadkov, največ leta 2007.

2.4.1 Biomasa

Iz biomase pridobimo 4 % energije, ki jo lahko uporabljamo za pridobivanje toplote za ogrevanje ali proizvodnjo električne energije. Rastline s pomočjo sončne energije ustvarjajo organske snovi kot so les, rastlinska olja ipd. Z zažiganjem biomase v posebnih pečeh pridobimo toploto, ki jo nato pretvorimo v mehansko in električno energijo. Energijo, ki je pridobljena iz biomase, imenujemo bioenergija. Tehnologija za pridobivanje bioenergije stremi k doseganju čim večjih izkoristkov in k čim manjši količini izpustov v okolje.

Ločimo trda, tekoča in plinasta biogoriva.

Najbolj znana oblika biomase je lesna biomasa, ki spada med trda biogoriva. Vire lesne biomase predstavljajo les iz gozdov, parkov, nasadov hitro rastočih drevesnih in grmovnih vrst ter drugih nasadov, stranski proizvodi, ostanki iz lesnopredelovalne industrije in odsluženi les. Najpogosteje se uporabljajo peči na polena, pelete in peči za kurjenje sekancev (Mustafić, 2011; Aure).

V Sloveniji okrog 7–10 % osnovnih energetskih potreb zadostimo z lesno biomaso. Med prednostmi je treba izpostaviti zmanjševanje količine odpadkov in poceni obratovanje, med slabostmi pa izpuste pri izgorevanju in omejene letne količine. Da ne pride do degradacije okolja, je potrebno racionalno gospodarjenje z gozdom (Demšar idr., 2009).

Iz poljščin, bogatih s sladkorjem (sladkorna pesa, sladkorni trs ...) in škrobom (koruza ...) se pridobiva tekoče bioalkohole, iz rastlin z veliko količino rastlinskega olja, pa biodizel.

Bioplin je plinasto biogorivo, ki je produkt presnove metanskih bakterij. Nastaja z vrenjem ali gnitjem organskih snovi brez kisika.

2.4.2 Tehnologije pridobivanja energije iz biomase

Poznamo tri tehnologije za predelavo biomase v goriva: sežiganje, biološka pretvorba in toplotno-kemična pretvorba.

2.4.2.1 Pridobivanje energije s sežiganjem organskih odpadkov

Sežiganje je postopek, pri katerem gorljive snovi v biomasi oksidirajo v ogljikov dioksid in vodno paro, pri tem pa oddajajo toploto. Pomembno je, da ima biomasa, namenjena sežigu, nizko vrednost vlage.

»Sežiganje je tehnologija obdelave odpadkov, ki vključuje sežiganje komercialnih, komunalnih in nevarnih odpadkov. Sežiganje transformira odvržene materiale vključno s papirjem, plastiko, kovinami in ostanki hrane v pepel na gorišču, elektrofiltrski pepel, dimne pline po izgorevanju, onesnažila zraka, odpadno vodo, blato iz čistilnih naprav za vodo in toploto« (Eko krog, 2013).

S sežiganjem odpadkov se lahko pridobiva elektriko in toploto, pri čemer se zmanjša količina odpadkov, ki končajo na odlagališčih. Za sežig so primerni tisti odpadki, ki jih ni mogoče reciklirati (medicinski odpadki, pesticidi, nevarne kemikalije ...). Z napredkom tehnologije so se izpusti nevarnih plinov zmanjšali.

Naravovarstveniki so proti sežigalnicam, saj menijo, da se s sežiganjem odpadkov za namene izkoriščanja energije zmanjšuje težnja po zmanjševanju količine odpadkov. Gradnja sežigalnic zahteva številne filtre in čistilne naprave, vendar naravovarstveniki kljub vsemu menijo, da sežigalnice onesnažujejo zrak, tla in vodo. Pri sežiganju odpadkov nastajajo po njihovem mnenju strupeni rakotvorni izpusti (Eko krog, 2013).

Danska in Švedska sta bili več kot sto let vodilni na področju uporabe energije, pridobljene s pomočjo sežigalnic. Energijo so uporabljali za oskrbovanje bližnje okolice s toplotno energijo. Leta 2005 so sežigalnice ustvarile 4,8 % elektrike in 13,7 % toplotne energije na Danskem. Luksemburg, Nizozemska, Nemčija, Francija in Avstrija so le nekatere evropske države, ki se zanašajo na sežigalnice za obvladovanje odpadkov.

Pri nas trenutno nimamo sežigalnic, jih pa v bližnji prihodnosti želijo zgraditi, vendar se pričakuje veliko nasprotovanje naravovarstvenikov.

2.4.2.2 Pridobivanje energije z biološko pretvorbo biomase

Pri biološki pretvorbi biomase sodelujejo bakterije, kvasovke ali encimi. Gre za naravne postopke, kot so anaerobno vrenje, kompostiranje in fermentacija, ki potekajo pri različnih temperaturah in oksidacijskih pogojih (Medved, Novak, 2000).

2.4.2.3 Pridobivanje energije s toplotno-kemično pretvorbo

Bistvo pridobivanja energije s toplotno-kemično pretvorbo so procesi nepopolnega zgorevanja. Goriva, ki jih pridobimo s toplotno-kemično pretvorbo, so lahko trdna biomasa, plini iz biomase ali tekoča goriva iz biomase (Medved, Novak, 2000).

Bioplin velja za enega najbolj učinkovitih in okolju prijaznih energentov. Pri njegovem izgorevanju nastane manj toplogrednih plinov kot pri fotosintezi rastlin. V Evropski Uniji je proizvodnja bioplina najbolj razvita na Danskem, v Nemčiji in Švici. V teh državah te naprave hkrati pridobivajo tudi toplotno energijo (Mustafić, 2011).

Leta 2013 smo v Sloveniji imeli 25 bioplinarn, ki so proizvedle od 3 do 4 % električne energije. Lastniki bioplinarn ugotavljajo, da surovin za rastlinsko biomaso zmanjkuje predvsem zaradi propadanja kmetij in podnebnih nevšečnosti, kot sta suša in poplave (Karba, 2013).

Da je možno iz zmletih biološko razgradljivih odpadkov s pomočjo bakterij iz čistilnih naprav pridobiti zmes vodika in ogljikovega dioksida, le-to pa nadalje uporabiti za pridobivanje električne energije, sta dokazala dijaka Aleš Zupančič in Jaka Šikonja, ki sta na Olimpijadi mladih raziskovalcev Genius 2014 v New Yorku prejela zlato odličje (Oprčkal, 2014).

2.5 Oblike energije

Za opravljanje dela potrebujemo energijo, ki se nam pri tem zmanjša za toliko, kolikor dela opravimo. Telesu, ki odda delo, se energija zmanjša, telesu, ki delo prejme, se energija poveča.

Glede na izvor energije poznamo različne vrste energije (Bez nec idr., 2010):

- Vsako telo, ki se giblje, ima kinetično energijo. Če se telesu poveča hitrost, se mu kinetična energija poveča, če se telesu hitrost zmanjša, se mu kinetična energija zmanjša.
- Potencialno energijo ima telo zaradi svoje lege. Ko se telo dvigne, se potencialna energija poveča, ko se telo spušča, se potencialna energija zmanjša.
- Prožnostna energija nastane pri raztezanju, stiskanju, upogibanju ali zvijanju prožnostnih teles.

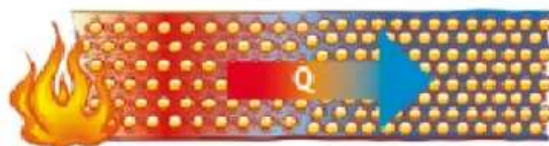
2.5.1 Notranja energija

Molekule ali atomi neke snovi se v plinu in kapljevinah neprestano gibljejo po prostoru, ki ga zavzemajo, v trdnih snoveh pa se gibljejo okoli svojih ravnovesnih leg. Govorimo o notranji energiji snovi, ki predstavlja skupno energijo vseh gradnikov v snovi in je sestavljena iz energije neurejenega gibanja gradnikov in energije vezi med gradniki (Bez nec idr., 2010; Demšar idr., 2009).

Vsako telo ima notranjo energijo, ki je odvisna od temperature in količine snovi. Če telo segrevamo oziroma mu dovajamo toploto, se mu notranja energija večja, z večanjem notranje energije se viša tudi temperatura. Notranjo energijo prav tako kot druge oblike energije merimo v joulih (J).

Toplota lahko prehaja s telesa na telo na tri načine (Demšar idr., 2009):

- Prehajanje toplote iz telesa na telo s prevajanjem: Ob stiku dveh teles z različno temperaturo se temperatura slej kot prej izenači. Toplota prehaja s telesa z višjo temperaturo na telo z nižjo temperaturo s prevajanjem. Proces poteka tako dolgo, dokler se temperatura prvega telesa ne izenači s temperaturo drugega telesa.
- Prehajanje toplote iz telesa na telo z mešanjem snovi ali konvekcijo: Gradniki v kapljevinah in plinih so drugače povezani kot gradniki trdnih snovi, zato se kapljevine in plini ne segrevajo s prevajanjem, temveč s kroženjem in mešanjem. Zrak se nad vročim radiatorjem segreje in s tem se mu zmanjša gostota. Redkejši topel zrak se zaradi vzgona prične dvigati, na njegovo mesto pa priteka hladni zrak iz okolice. Zrak kroži in se meša. Takšen prenos energije imenujemo konvekcija.
- Prehajanje toplote iz telesa na telo s sevanjem: Toplota lahko prehaja tudi skozi prazen prostor. Dokaz za to je energija s Sonca, ki prihaja na Zemljo skupaj s svetlobo skozi 150 milijonov kilometrov praznega prostora. Segreta telesa oddajajo toploto v obliki infrardeče svetlobe, ki jo imenujemo toplotno sevanje. Drugi dokaz je občutek toplote ognja že na daljavo.



Slika 8: Prikaz toplotnega sevanja
(Vir: Demšar idr., 2009: 100)

Slika 8 prikazuje, kako se zaradi toplote ognja pričnejo sprva gibati gradniki v bližini ognja, nato pa se gibljejo vedno bolj oddaljeni gradniki, njihovi sosedi, nato sosedi sosedov ...

Snovi se razlikujejo glede na to, kako prevajajo toploto. Toplotni prevodniki dobro prevajajo toploto. Sem štejemo vse kovine. Toplotni izolatorji slabo prevajajo toploto. Snovi, v katerih je ujet zrak, les in stiropor, so dobri toplotni izolatorji.

2.5.2 Specifična toplota

Če snov prejme toploto, se ji poveča temperatura; tudi notranja energija se ji poveča. Če snov odda toploto, se ji temperatura zmanjša; tudi notranja energija se ji zmanjša.

Specifična toplota ali toplotna kapaciteta je toplota, ki je potrebna, da 1kg snovi segrejemo za en Kelvin. Znak za specifično toploto je c .

Snov	Specifična toplota $\left[\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right]$
zrak	1000
alkohol	2430
voda	4200
živo srebro	140
aluminij	880
baker	390
led	2100
medenina	380
svinec	130
zlato	130
železo	460

Slika 9: Preglednica specifičnih toplot nekaterih snovi
(Vir: Beznec idr., 2010: 115)

S slike 9 je razvidno, da če želimo segreti 1 kg vode za 1 K, potrebujemo 4200 J energije. Če želimo segreti 1 kg aluminija za 1 K, potrebujemo le 880 J energije.

2.5.2.1 Specifična talilna in specifična izparilna toplota

Ob segrevanju lahko poleg temperaturnih sprememb pride do spremembe agregatnega stanja. Ločimo:

- taljenje ali prehod iz trdnega v tekoče agregatno stanje;
- zmrzovanje ali prehod iz tekočega v trdno agregatno stanje;
- izparevanje ali prehod iz tekočega v plinasto agregatno stanje, pri temperaturi vrelišča;
- utekočinjanje (kondenzacija) ali prehod iz plinastega v tekoče agregatno stanje.

Specifična talilna toplota snovi je tista energija, ki je potrebna, da se pri konstantni temperaturi stali 1 kg snovi. Enota je J/kg. Specifična izparilna toplota snovi je tista energija, ki je potrebna, da pri konstantni temperaturi izpari 1 kg snovi. Enota je J/kg (Johnson, 1996).

Snov	specifična talilna toplota $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$	tališče $[\text{° C}]$	specifična izparilna toplota $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right]$	vrelišče $[\text{° C}]$
voda	335	0	2260	100
železo	293	1530	3050	6300
aluminij	400	659	9220	2300
alkohol	105	-114	846	78
živo srebro	12	-38,9	285	357

Slika 10: Preglednica specifičnih talilnih in izparilnih toplot s podatki za tališče in vrelišče
(Vir: Beznec idr., 2010: 125)

S slike 10 je razvidno, da je specifična talilna toplota vode 335 kJ/kg, njeno tališče je pri 0°C, njena specifična izparilna toplota je 2260 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$, njeno vrelišče pa je 100°C.

2.5.3 Specifična sežigna toplota

»Specifična sežigna toplota pomeni, koliko joulov toplote odda snov, ki popolnoma zgori in se ohladi na temperaturo okolice« (OpenProf.com).

Sežigna toplota je najpogostejši vir toplote toplotnih strojev, kot so toplotni motorji (bencinski in dizelski motor, parni stroj idr.), hladilni stroji (hladilnik, klimatska naprava idr.) in toplotne črpalke. Toplotni stroji spreminjajo toploto v mehansko delo. Izvor toplote toplotnih motorjev je najpogosteje organsko gorivo (npr. nafta, plin, les, premog ...). Med gorenjem oddajajo toploto, ki je sorazmerna njihovi masi. Faktor sorazmernosti imenujemo specifična sežigna toplota (OpenProf.com).

Specifična sežigna toplota je toplota, ki jo pri sežigu v danih okoliščinah odda 1 kg goriva.

Tabela 1: Specifične sežigne toplote in kurilna vrednost posameznih snovi

Snov	Specifična sežigna toplota $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$	Kurilna vrednost $\left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}\right]$
etilni alkohol	29,9	27
vodik	142	120
črni premog	33,5	31,4
les (zračno suh)	16,7	14,6
bencin	46,5	43,1
šota	16,3	14,6

(Vir: Koškin, Širkevič, 1967: 83)

Iz tabele 1 je razvidno, da se sežigna toplota in kurilna vrednost snovi razlikujeta. V sežigni toploti je všteta tudi izparilna toplota pri gorenju nastale vode. Pri kurjenju se ta del toplote izgubi.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

3.1 Namen raziskave

Namen naše raziskave je raziskati energijsko vrednost nekaterih komunalnih odpadkov. S primerjavo njihovih kaloričnih vrednosti želimo ugotoviti smiselnost uporabe posameznih vrst odpadkov za pridobivanje energije.

3.2 Cilji raziskave

Zastavili smo si naslednje cilje:

- Ugotoviti, kateri komunalni odpadek ima največjo in kateri najmanjšo energijsko vrednost.
- Primerjati dobljene energijske vrednosti različnih komunalnih odpadkov z energijskimi vrednostmi, objavljenimi v literaturi.

3.3 Hipoteze

Zastavili smo si naslednje hipoteze:

- **Hipoteza A:** Predpostavljamo, da s sežiganjem bioodpadkov lahko pridobivamo energijo.
- **Hipoteza B:** Predpostavljamo, da bo imel les v primerjavi z ostalimi odpadki, zajetimi v vzorec, največjo energijsko vrednost.
- **Hipoteza C:** Predpostavljamo, da organske snovi oddajo pri gorenju več toplote kot umetne snovi.
- **Hipoteza D:** Predpostavljamo, da bi se za kurjavo lahko uporabljala tudi mešanica bioodpadkov skupaj z umetnimi snovmi.

3.4 Metodologija

V raziskovalni nalogi smo uporabili eksperimentalno metodo.

3.5 Postopki zbiranja podatkov

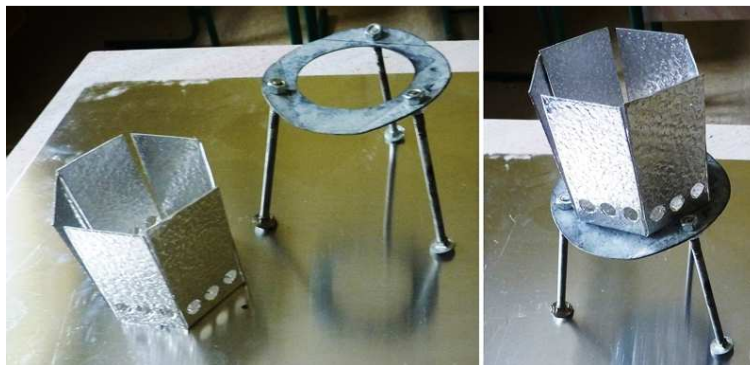
Podatke smo zbirali z eksperimentiranjem. Dobljene rezultate smo primerjali s podatki iz literature.

Pred pričetkom eksperimentiranja smo si morali pripraviti gorilnik in druge pripomočke ter vzorce različnih goriv.

3.5.1 Gorilnik

Prvi gorilnik smo izdelali iz konzerve volumna 400 ml in premera 60 mm. Konzervo smo odrezali na polovici. Dno in steno smo v razdalji 12 mm navrtali z 9 mm debelim svedrom.

Prvi gorilnik je bil premajhen glede na posamezne volumne vzorcev goriv. Izdelali smo drugi, večji gorilnik iz aluminijaste pločevine z dnom v obliki šesterokotnika.



Slika 11: Gorilnik iz aluminijaste pločevine
(Avtor: Jurij Hojnik)

Na sliki 11 je prikazan gorilnik iz tanke aluminijaste pločevine, ki je postavljen na trinožnik iz pocinkane pločevine. Stene šesterkotnega gorilnika so visoke 70 mm. Dno in spodnji del stranic smo navrtali z 9 mm debelim svedrom in s tem omogočili dostop zraka.

3.5.2 Drugi pripomočki

Uporabili smo naslednje pripomočke:

- elektronsko tehtnico,
- alkoholni termometer,
- posodo iz tanke pločevine volumna približno 300 ml za gretje vode,
- zaščitno kovinsko podlogo velikosti 500mm x 700mm,
- vžigalice,
- čaše,
- merilni valj,
- stekleno palčko,
- vodo.



Slika 12: Pripomočki za eksperiment
(Avtor: Jurij Hojnik)

3.5.3 Vzorci goriv

Za eksperiment smo uporabili naslednje:

- razne organske gospodinjske odpadke (olupke krompirja, pomaranč, mandarin, banan in kivija smo sušili 3 do 5 dni na radiatorju; posušene olupke sadja in krompirja smo narezali na koščke velikosti približno 30mm x 15 mm);
- časopisni papir (Večer);
- lesno biomaso (smrekove letvice debeline približno 2 mm-5 mm, dolžine 25 mm-30 mm);
- suho travo, ki smo jo še dodatno sušili 1 dan ob radiatorju;
- suho odpadlo listje iz gozda, ki smo ga 2 dni sušili ob radiatorju;
- belo plastiko jogurta Actimel narezano na koščke velikosti približno 25 mm x 25 mm;
- prozorno plastiko platenke vode narezano na koščke velikosti približno 25 mm x 25 mm;
- parafinske kocke za prižig Forest velikosti približno 20 mm x 20 mm.

V čaše smo pripravili vzorce goriv, narezane na koške:

- 10 g olupkov pomaranč,
- 10 g olupkov mandarin,
- 10 g olupkov banan,
- 10 g olupkov jabolk,
- 10 g olupkov kivija,
- 10 g olupkov krompirja,
- 10 g časopisnega papirja,
- 10 g smrekovih letvic,
- 10 g suhe trave,
- 10 g suhega listja,
- 10 g prozorne plastike,
- 10 g bele plastike,
- 10 g mešanice olupkov banan (5 g) in časopisnega papirja (5 g),
- 10 g mešanice olupkov mandarin (5 g) in prozorne plastike (5 g),
- 10 g parafinskih kock za prižig.

10 g vzorca različnih goriv ima različen volumen.



Slika 13: Različni volumni biogoriv pri enaki masi
(Avtor: Uroš Sobotič Verdnik)



Slika 14: Različni volumni biogoriv pri enaki masi
(Avtor: Uroš Sobotič Verdnik)



Slika 15: Različni volumni goriv pri enaki masi
(Avtor: Uroš Sobotič Verdnik)

Na slikah 13, 14 in 15 je jasno vidna razlika v volumnu različnih goriv pri enaki masi. Največji volumen pri 10 g goriva ima suho listje, nekoliko manjšega suha trava in časopisni papir, najmanjšega pa bela plastika.

3.5.4 Postopek eksperimentiranja in izračunov

Postopek eksperimentiranja je potekal po naslednjem vrstnem redu.

1. Aluminijasti gorilnik smo postavili na trinožnik.
2. Z elektronsko tehtnico smo izmerili 10 g vzorca goriva.
3. Vzorec goriva smo dali v gorilnik.
4. V posodo za vodo smo nalili 150 ml vode.
5. Z alkoholnim termometrom smo izmerili temperaturo vode v posodi (T_1).
6. Z vžgalico smo prižgali gorivo.
7. Ko je gorivo vzplamenelo, smo nad gorilnik postavili posodo z vodo.
8. Ko je plamen ugasnil, smo vodo pomešali s stekleno palčko in z alkoholnim termometrom izmerili temperaturo vode (T_2).
9. Stehali smo ostanek pepela (m_p).
10. Izračunali smo izkoristek goriva (η).
11. Izračunali smo spremembo temperature vode (ΔT).
12. Izračunali smo toploto, ki jo je voda dobila od goriva (Q).
13. Izračunali smo specifično sežigno toploto (c_s).

Postopek eksperimenta smo ponovili za vse vzorce goriva.



Slika 16: Potek eksperimentiranja
(Avtor: Uroš Sobotič Verdnik)

Nekaj sežigov smo opravili v razredu. Ker se je zaradi slabega zgorevanja (dim) zelo kadilo in se je še nekaj časa širil po šoli neprijeten vonj, smo eksperimentiranje opravili v naravi.

3.5.5 Izračuni

V tabeli rezultatov so poleg z eksperimentom dobljenih vrednosti vpisani tudi naslednji rezultati posameznih izračunov.

Izkoristek goriva

Maso pepela smo odšteli od mase goriva.

$$\eta = \frac{m_g [\text{g}] - m_p [\text{g}]}{m_g [\text{g}]}$$

Sprememba temperature vode (ΔT)

Spremembo temperature vode izračunamo z razliko izmerjenih temperatur vode na koncu eksperimenta in pred njim.

$$\Delta T [\text{K}] = T_2 [^\circ\text{C}] - T_1 [^\circ\text{C}]$$

Toplota, ki jo je voda dobila od goriva Q

Specifično toploto vode pomnožimo z maso segrevane vode in s spremembo temperature.

$$Q [\text{J}] = c_v \left[\frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right] \cdot m_v [\text{kg}] \cdot \Delta T [\text{K}]$$

Specifična toplota vode (c)

$$c_v = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

Specifična sežigna toplota (c_s)

$$c_s \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \frac{Q[\text{J}]}{m_g [\text{kg}] - m_p [\text{kg}]}$$

Iz spremembe notranje energije vode lahko izračunamo sežigne toplote različnih goriv. Predpostavimo, da se je vsa toplota, pridobljena pri sežigu, porabila za segrevanje vode. Energije vžigalic ne upoštevamo, ker v času prižiganja ne segrevamo vode.

3.5.5.1 Izračun za en vzorec (smrekove letvice)

V model pečice smo naložili 10 g smrekovih letvic. V posodo smo nalili 150 ml vode in ji izmerili temperaturo. Prižgali smo les in na model pečice postavili posodo z vodo. Ko je les zgorel, smo premešali vodo s stekleno palčko in ponovno izmerili temperaturo. Razliko temperatur smo uporabili za izračun toplote, ki jo je voda dobila pri zgorevanju lesa. Stehtali smo količino ostalega pepela in izračunali izkoristek goriva.

Izračun:

$$m_v = 0,15 \text{ kg}$$

$$m_g = 0,01 \text{ kg}$$

$$m_p = 0,001 \text{ kg}$$

$$c_v = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$\Delta T = 33 \text{ K}$$

$$Q = c_v \cdot m_v \cdot \Delta T$$

$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 0,15 \text{ kg} \cdot 33 \text{ K}$$

$$Q = 20790 \text{ J}$$

$$c_s = \frac{Q}{m_g - m_p}$$

$$c_s = \frac{20790 \text{ J}}{0,009 \text{ kg}}$$

$$c_s = 2310000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 2,31 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Specifična sežigna toplota oziroma energijska vrednost smrekovih letvic je $2,31 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$.

4 REZULTATI

4.1 Rezultati meritev

Tabela 2: Rezultati meritev z izračuni

Gorivo	m_g [g]	m_v [ml]	T_1 [° C]	T_2 [° C]	ΔT [K]	Q [J]	$c_s \frac{MJ}{kg}$	m_p [g]	η
Olupki pomaranč	10	150	15	52	37	23310	2,59	1	0,9
Olupki mandarin	10	150	16	64	48	30240	3,78	2	0,8
Olupki banan	10	150	15	54	39	24570	2,73	1	0,9
Olupki jabolok	10	150	15	40	25	15750	2,25	3	0,7
Olupki kivija	10	150	15	54	39	24570	3,07	2	0,8
Olupki krompirja	10	150	14	32	18	11340	1,42	2	0,8
Časopisni papir	10	150	14	29	15	9450	1,05	1	0,9
Smrekove letvice	10	150	15	48	33	20790	2,31	1	0,9
Suha trava	10	150	14	37	23	14490	1,61	1	0,9
Prozorna plastika	10	150	14	56	42	26460	5,29	5	0,5
Bela plastika	10	150	14	73	59	37170	7,43	5	0,5
Olupki banan in časopisni papir	10	150	14	43	29	18270	2,28	2	0,8
Olupki mandarin in prozorna plastika	10	150	13	86	73	45990	5,11	1	0,9
Parafinske kocke za prižig	10	150	14	61	47	29610	2,96	0	1

Legenda:

m_g : masa goriva

m_p : masa pepela

m_v : masa vode

T_1 : začetna temperatura vode

T_2 : temperature vode po sežiganju goriva

ΔT : sprememba temperature vode

Q: toplota, ki jo je voda dobila od goriva

c_v : specifična toplota vode

c_s : sežigna toplota

η : izkoristek goriva

Iz tabele 2 lahko razberemo, da smo največjo spremembo temperature med našimi vzorci zaznali pri beli plastiki, nekoliko manjšo pri prozorni plastiki, še manjšo pri mešanici olupkov mandarin s prozorno plastiko, sledijo olupki mandarin, olupki kivija, parafinske kocke za prižig, nato olupki banan, smrekove letvice, mešanica olupkov banan in časopisnega papirja, olupki krompirja, najnižjo energijsko vrednost pa smo izračunali pri časopisnem papirju. Na podlagi spremembe temperature smo izračunali energijske vrednosti.

Vzorca suhega odpadnega listja nismo mogli sežgati. 10 g suhega odpadnega listja ima izredno velik volumen, zaradi česar smo 10 g listja s težavo spravili v naš gorilnik. Ko smo ga poskusili prižgati, je listje vzplamenelo, ko pa smo na gorilnik postavili posodo z vodo, je ogenj ugasnil. Poskus smo ponovili večkrat, vendar brez uspeha, zato suhega listja v eksperiment nismo vključili.

Naše rezultate lahko zapišemo v obliki lestvice goriv glede na energijsko vrednost, ki jo imajo.

Tabela 3: Lestvica goriv glede na energijsko vrednost od največje do najmanjše

Gorivo	$C_s \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]$
Bela plastika	7,43
Prozorna plastika	5,29
Olupki mandarin in prozorna plastika	5,11
Olupki mandarin	3,78
Olupki kivija	3,07
Parafinske kocke za prižig	2,96
Olupki banan	2,73
Olupki pomaranč	2,59
Smrekove letvice	2,31
Olupki banan in časopisni papir	2,28
Olupki jabolok	2,25
Suha trava	1,61
Olupki krompirja	1,42
Časopisni papir	1,05

Iz tabele 3 lahko razberemo, da ima bela plastika največjo energijsko vrednost, nekoliko manjšo ima prozorna plastika, sledi mešanica biogoriv s prozorno plastiko, sledijo različna biogoriva, in sicer: največjo energijsko vrednost imajo olupki mandarin, sledijo olupki kivija, banan, pomaranč, smrekove letvice, olupki jabolok, suha trava, olupki krompirja, najmanjšo energijsko vrednost pa ima časopisni papir.

4.2 Primerjava izračunanih vrednosti z vrednostmi, zapisanimi v literaturi

Tabela 4: Primerjava izračunanih vrednosti z vrednostmi, zapisanimi v literaturi

Gorivo	Energijska vrednost $Q \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right]$	
	Vrednost v literaturi	Izračunana vrednost
Les	16,7	2,31
Plastika	30,5	7,43
Papir in karton	13	1,05

(Vir podatkov: Forum, 2013)

Iz tabele 4 je razvidno, da se rezultati, dobljeni z eksperimentom, precej razlikujejo od rezultatov, objavljenih v literaturi. Če primerjamo zgolj vrstni red, torej goriva z največjo in goriva z najmanjšo energijsko vrednostjo, kar je bil cilj naše naloge, pa lahko ugotovimo, da ima tako v literaturi kot pri našem eksperimentu najvišjo energijsko vrednost plastika, nekoliko manjšo les, najmanjšo pa papir ali karton.

5 RAZPRAVA

Naši rezultati so pokazali, da podobno, kot smo ugotovili že s pomočjo literature, s komunalnimi odpadki lahko pridobivamo energijo, ki bi jo lahko uporabili za ogrevanje ali za proizvodnjo električne energije.

Prvi cilj naloge je bil ugotoviti, kateri komunalni odpadek ima največjo in kateri najmanjšo energijsko vrednost. Izkazalo se je, da imajo med izbranimi vzorci goriv najvišjo energijsko vrednost olupki mandarin, najmanjšo pa časopisni papir. Za pridobivanje energije bi bilo tako najbolje, če bi sežigali olupke mandarin. Ker pa vemo, da teh olupkov ni veliko, še posebej ne v krajih, kjer agrumi ne rastejo, o takšnem gorivu ne moremo razmišljati.

Sprva smo imeli velike težave pri pripravi primerne gorilnika; prvi je bil premajhen, vzorcev pa nismo mogli zmanjšati, saj bi težje izmerili spremembo temperature. Novi gorilnik je bil za naše vzorce primeren.

Hipoteza A: Predpostavljamo, da s sežiganjem bioodpadkov lahko pridobivamo energijo.

S sežiganjem vseh vzorcev goriv iz odpadkov lahko pridobivamo energijo, saj imajo vsi odpadki svojo energijsko vrednost, ki smo jo v okviru raziskovalne naloge izračunali. Nekateri odpadki so imeli višjo energijsko vrednost (npr. olupki mandarin) kot drugi (npr. časopisni papir).

Hipotezo A smo potrdili.

Hipoteza B: Predpostavljamo, da bo imel les v primerjavi z ostalimi odpadki, zajetimi v vzorec, največjo energijsko vrednost.

Z eksperimentom smo ugotovili, da imajo nekateri bioodpadki (olupki mandarin, kivija ...), še posebej plastične mase višjo energijsko vrednost kot les. Rezultati so nas presenetili, saj les skozi vso zgodovino uporabljamo za ogrevanje, bioodpadke pa običajno le kot gnojilo. Tudi pri plastiki nismo pričakovali tako velikih energijskih vrednosti, saj nismo pomislili na to, da je v plastiki tudi nafta.

Hipoteze B nismo potrdili.

Hipoteza C: Predpostavljamo, da organske snovi oddajo pri gorenju več toplote kot umetne snovi.

Z eksperimentom smo ugotovili, da umetne snovi pri zgorevanju oddajo precej več energije kot organske snovi. Rezultati kažejo, da bi bilo z vidika pridobivanja energije najbolje, če bi sežigali samo plastiko, ki je imamo v naših komunalnih odpadkih ogromno. Pri sežiganju plastike je nastal izredno neprijeten vonj. Dobro bi bilo, če bi vso odpadno plastiko lahko sežigali in s tem pridobivali energijo, tehnologija pa bi morala preprečiti izpuste v okolje. Še bolje pa bi bilo, da bi vso plastiko zamenjali z naravnimi, nepredelanimi snovmi, ki bi se v okolju same reciklirale.

Hipoteze C nismo potrdili.

Hipoteza D: Predpostavljamo, da bi se za kurjavo lahko uporabljala tudi mešanica bioodpadkov skupaj z umetnimi snovmi.

Naši rezultati so pokazali, da se je energijska vrednost vzorcev, pri katerih smo uporabili mešanico bioodpadkov in umetnih snovi, precej povečala zaradi visoke energijske vrednosti plastike. Še posebej nas je presenetil rezultat mešanice prozorne plastike z mandarininimi olupki, saj je bil skoraj enak rezultatu pri sežigu samo prozorne plastike. Rezultati si razlagamo s tem, da so se zaradi dodatka bioodpadkov izgube pri sežiganju plastike zmanjšale. Sama plastična masa je namreč zgorevala z dokaj visokim plamenom in se je precej energije izgubilo. Za pridobivanje energije bi se lahko uporabljala mešanica bioodpadkov skupaj z umetnimi snovmi, pri čemer moramo preprečiti izpuste v okolje.

Hipotezo D smo potrdili.

Med eksperimentom smo ugotovili, da so se izmed vseh vzorcev parafinske kocke najlažje prižgale, je pa bil čas izgorevanja precej daljši kot pri ostalih gorivih. Presenečeni smo, kako nizko energijsko vrednost imajo parafinske kocke v primerjavi z drugimi vzorci. Glede na to, da se uporabljajo kot pripomoček za lažji prižig ognja, so naši rezultati v prid njihovi uporabi, saj se parafinske kocke uporabljajo zgolj za prižig ognja, energijsko vrednost pa pridobimo z uporabo drugih goriv.

Večjo energijsko vrednost smo pričakovali tudi pri časopisnem papirju, saj ga izdelujejo iz lesne biomase. Časopisni papir se podobno kot parafinske kocke zelo hitro prižge, hitro nastane velik ogenj, zelo hitro pa tudi ugasne. Energijska vrednost papirja je veliko manjša od ostalih biogoriv. Časopisni papir je v skladu s tem primeren za prižiganje ognja, za kar se tudi uporablja v vsakdanjem življenju.

Vzorca suhega listja nismo mogli prižgati, saj se je kljub temu da smo suho listje predhodno sušili ob radiatorju, ves čas samo kadilo. Predvidevamo, da suho listje nima dovolj velike energijske vrednosti in zato ni primerno za sežig.

Veliko dima je nastalo pri sežiganju olupkov banan. Sklepamo, da je vzorec vseboval večji odstotek vlage kot drugi vzorci.

Ker smo želeli preveriti, ali smo z eksperimentalnim delom dobili zanesljive rezultate, smo naše rezultate primerjali z rezultati, zapisanimi v literaturi. V literaturi smo našli zgolj energijske vrednosti za les, plastiko, papir in karton. Naši rezultati so se precej razlikovali od rezultatov, objavljenih v literaturi. Vzroke lahko iščemo pri uporabi različnih vrst vzorcev (različne vrste lesa, plastike in papirja), prav tako našega eksperimenta nismo izvajali v laboratorijskih okoliščinah, zato smo imeli velike izgube. Če pa primerjamo zgolj zaporedje, torej goriva z največjo in goriva z najmanjšo energijsko vrednostjo, pa lahko ugotovimo, da ima tako v literaturi kot pri našem eksperimentu najvišjo energijsko vrednost plastika, nekoliko manjšo les, najmanjšo pa papir ali karton.

Rezultati naših eksperimentov bi bili boljši, če bi sežiganje izvajali v laboratoriju, kjer bi lahko natančneje merili vse spremembe in kontrolirali okoljske vplive. Bolj zanesljive rezultate bi dobili tudi, če bi eksperiment večkrat ponovili in pri izračunih upoštevali srednje vrednosti.

Menimo, da je naše eksperimentalno delo dalo zanesljive rezultate.

ZAKLJUČEK

V okviru raziskovalne naloge smo:

- spoznali različne vrste energije, podrobneje notranjo energijo;
- eksperimentalno ugotovili, da imajo bioodpadki veliko energijsko vrednost in da bi jih lahko v večji meri kot doslej uporabljali za proizvodnjo energije;
- bioodpadke razvrstili v lestvico glede na njihovo energijsko vrednost;
- ugotovili, da ima les, kljub temu da se vsakodnevno uporablja za pridobivanje energije (največ za toplotno ogrevanje), manjšo energijsko vrednost kot večina drugih biogoriv;
- eksperimentalno dokazali, da organske snovi oddajo pri gorenju manj toplote kot umetne snovi;
- eksperimentalno dokazali, da bi se za kurjavo lahko uporabljala tudi mešanica bioodpadkov skupaj z umetnimi snovmi, pri čemer bi morali preprečiti izpuste v okolje;
- sklepali, da suho listje nima dovolj velike energijske vrednosti, zaradi česar ni primerno za kurjavo;
- eksperimentalno ugotovili, da so parafinske kocke in časopisni papir primerni samo za uporabo v fazi prižiganja ognja, saj imajo nizko energijsko vrednost;
- predvidevali, da je količina nastalega dima pri sežiganju bioodpadkov odvisna od odstotka vlage v vzorcu;
- ugotovili, da je pri eksperimentalnem delu potrebno upoštevati različne dejavnike, ki vplivajo na potek in rezultate eksperimenta, zato je najbolje eksperimente izvajati v laboratorijih, kjer se lahko natančneje sledi spremembam.

Za nadaljnje raziskave predlagamo, da bi preverili energijsko vrednost različnih, dobro posušenih vrst lesa, saj je prav les tisti, ki se danes izmed vseh biogoriv za kurjavo uporablja v največji meri. Zanimivo bi bilo primerjati tudi energijske vrednosti peletov, briketov, lesnih sekancev ipd. različnih proizvajalcev.

6 LITERATURA IN VIRI

- Arso. *Organski kuhinjski odpadki*. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Agencija RS za okolje, 2010. Dostop: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=331 (22. 2. 2015).
- AURE. *Biomasa. Republika Slovenija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija za učinkovito rabo energije AURE*: Dostop: http://www.aure.gov.si/eknjiznica/IL_5-01.PDF (1. 3. 2015).
- Bezec, B., Cedilnik, B., Černilec, B., Gulič, T., Lorgjer J., Vončina D. *Moja prva fizika: Fizika za 8. razred devetletne osnovne šole. 1. izd.* Ljubljana: Modrijan, 2000.
- Demšar A., Juričič, Đ., Kožuh V., Mlakar V. *Zakaj se dogaja? Sile in energija 8.* Ljubljana: Založba Rokus Klett, 2009.
- Drevenšek, M., Marhl, M., Žagar, T., Goršič, G. *Energetska pismenost : osrednja načela in temeljne usmeritve za izobraževanje o energiji*. Maribor: RAZ:UM, 2014. Dostop: http://www.en-lite.si/static/uploaded/htmlarea/Energy_Literacy_SLO_pages_LR.pdf (2. 2. 2015).
- Energap, energetska agencija za okolje. *Energija sonca*. Dostop: <http://www.energap.si/?viewPage=43> (23. 2. 2015).
- Forum. *Energijska izraba komunalnih odpadkov z zgorevanjem. Decembrski mesečnik*, 2013. Dostop: <http://www.zfm.si/prva-stran/e-meseecniki/varnost-zdravje-okolje/decembrski-mesechnik-2013/energijska-izraba-komunalnih-odpadkov-z-zgorevanjem.html> (2. 3. 2015).
- Karba, D. *Za bioplinarne v Pomurju vse manj goriva. Delo*, 27. 3. 2013. Dostop: <http://www.delo.si/novice/slovenija/za-bioplinarne-v-pomurju-vse-manj-goriva.html> (11. 1. 2015).
- Kovač, A. *Fotogalerija zbirk iz Muzeja neandertalcev v Krapini. Planetsiol.net*, 21. 11. 2011. Dostop: http://www.siol.net/data/fotogalerije/svet/2011/11/krapinski_neandertalci.aspx (13. 1. 2015).
- Koškin, N. I., Širkevič, M. G. *Priročnik elementarne fizike*. Ljubljana: Založniški zavod življenje in tehnika, 1967.
- Modri Jan. *Obnovljivi viri energije*. HSE Holding Slovenske Elektrarne. Dostop: <http://www.modri-jan.si/modri-koticek/obnovljivi-viri-energije> (15. 2. 2015).
- Medved, S., Novak, P. *Energija in okolje: izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja*. Kranj: Trajanus d.o.o., 2000.
- Mustafić, E. *Analiza potencialov obnovljivih virov energije v Pomurju in Šaleški dolini*. Diplomsko delo visokošolskega študijskega programa 1. stopnje Energetika. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko, 2011. Dostop: <https://dk.um.si/lzpisGradiva.php?id=21898> (1. 3. 2015).
- Eko krog. *Sežigalnice: miti in resnica o »energetski izrabi odpadkov«*. Eko krog. Društvo za naravo varstvo in okoljevarstvo, 2013: <http://www.ekokrog.org/2013/02/17/sezigalnice-miti-in-resnica/> (22. 2. 2015).
- Johnson, K. *Fizika: preproste razlage fizikalnih pojavov*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1996.
- OpenProf.com. *Fizika: rešene vaje iz fizike za srednje šole 2*. Dostop: http://si.openprof.com/wb/knjiga:re%C5%A1ene_vaje_iz_fizike_za_srednje_%C5%A1ole_2/6/ (14. 1. 2015).
- Oprčkal, B. *Kako bodo organski odpadki postali gorivo za avtomobile. Planetsiol.net*, 7. 7. 2014. Dostop: http://www.siol.net/novice/junaki_za_jutri/2014/07/znanstvenika_ales_in (13. 1. 2015).
- Statistični urad RS. *Poraba energije in goriv v gospodinjstvih, Slovenija, 2010 - končni podatki*, 2011. Ljubljana, Republika Slovenija. Statistični urad RS. Dostop: http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4051 (22. 2. 2015).
- Vepa, *vetrni parki. Uporaba moči vetra po svetu*. Dostop: http://www.vepa.si/vetrna_energija/uporaba_moci_vetra_po_svetu (23. 2. 2015).