



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



**POREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI,
STEPENA ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE I
TROŠKOVA IMPLEMENTACIJE NUKLEARNIH
IZVORA ENERGIJE I POJEDINIH OBNOVLJIVIH
IZVORA ENERGIJE - OIE**

diplomski – master rad

Mentor:
Prof.dr. Ištvan Bikit

Student:
Aleksandar Radukin Kosanović
br. indeksa: 252M/2009.

Novi Sad, maj 2012.

Sadržaj:

1.	Uvod	1
2.	Energetska efikasnost u nuklearnoj energetici	3
2.1.	Osnovne odlike efikasnosti nuklearnih reaktora.....	3
2.1.1.	Fisiono gorivo.....	4
2.1.2.	Lančana reakcija	5
2.1.3.	Kritična masa	6
2.1.4.	Kontrola reaktora	6
2.1.5.	Preseci za neutronske reakcije	8
2.1.6.	Moderatori	9
2.1.7.	Uticaj goriva na faktor multiplikacije	10
2.1.8.	Homogen reaktor	12
2.1.9.	Heterogen reaktor	13
2.1.10.	Promene faktora multiplikacije.....	14
2.2.	Štetni uticaji nuklearne energetike na životnu sredinu	15
2.2.1.	Oslobađanje CO ₂ u nuklearnoj energetici	15
2.2.2.	Ciklus nuklearnog goriva.....	16
2.3.	Generatori IV generacije – efikasnost nuklearnih reaktora.....	21
2.4.	Prednosti i mane upotrebe nuklearne energije	23
3.	Sunčeva energija	26
3.1.	Bilansi pri toplotnoj transformaciji	26
3.1.1	Energijski i eksergijski bilansi pri toplotnoj transformaciji Sunčevog zračenja.....	27
3.1.2	Energetski bilansi pri apsorpciji na selektivnoj površini.	29
3.1.3	Eksergijska analiza solarne energije.	32
3.2.	Skladištenje Solarne energije.....	33
3.2.1.	Toplotni metodi skladištenja Solarne energije	35
3.2.2.	Skladištenje topline korišćenjem faznih prelaza	37
3.2.3.	Metod adsorpcije – korišćenje adhezione sile.....	38
3.2.4.	Termo - hemijsko skladištenje toplotne energije	39
3.3.	Dobijanje toplotne energije iz Solarne energije	40
3.3.1.	Ravni pločasti kolektori	40
3.3.2.	Kolektori sa vakumskim cevima.....	42
3.3.3.	Fokusirajući sistemi solarnih kolektora	44
3.3.4.	Heliotasti sa centralnim apsorpcionim tornjem – CSP sistem	47
3.3.5.	Koncept modernih Solarnih elektrana.....	48
3.4.	Fotonaponska konverzija – pv efekat	51
3.4.1.	Stepen iskorišćenja fotonaponskih celija	54
3.4.2.	Koncept fotonaponske solarne elektrane	55
4.	Biomasa	58
4.1.	Nastajanje biomase i definicija biomase	58
4.2.	Mogućnosti korišćenja biomase u energetske svrhe	59
4.2.1.	Potencijal drvene biomase u termoenergetske svrhe	60
4.2.2.	Procena količine otpadne agro – biomase	65
4.2.3.	Postupak briketiranja i peletiranja biomase	66
4.2.4.	Praktična upotreba biomase radi dobijanja energije	67
5.	Zaštita životne sredine upotrebom OIE u odnosu na fosilna goriva	75
6.	Poređenje troškova implementacije nuklearne i OIE	82
7.	Zaključak	83
8.	Literatura:	84

1. Uvod

U ovom radu biće predstavljena energetska efikasnost, stepen zaštite životne sredine i troškova implementacije Nuklearnih izvora energije u pojedinih vidova Obnovljivih Izvora Energije, koji postaju sve prisutniji u udelu proizvodnje električne i toplotne energije. Zadatak razvoja Obnovljivih Izvora Energije je da ublaže, ili da reše jedan od najizraženijih globalnih problema današnjice, a to je hronični deficit električne i toplotne energije. Kako se potrošnja energije u svetu povećava veoma brzo, tempom koji se skoro povinuje zakonu geometrijske progresije. Srednji godišnji rast energetskih potreba u svetu se u novije vreme kreće eksponencijalno i danas je situacija takva da potrošnja prevazilazi za 8% proizvodnju energije. Zato se u mnogim delovima sveta javljaju problemi sa snabdevanjem emergentima, gde su ovi problemi za sada rešivi, ali sa daljim razvojem tehnologije i „zemalja III sveta” dolazi do rasta potrebe za energijom, usled čega će energetski deficit biti sve izraženiji. Danas dostupne rezerve energenata se male, oko 12% u odnosu na ukupno procenjene rezerve, gde će u budućnosti sa povećanjem naučno tehnoloških mera biti više energenata na raspolaganju. Ipak, ovo pitanja ne rešavaju energetski deficit, pošto se fosilna goriva ne mogu obnoviti, a problem zaštite životne sredine se produbljuje, zbog sve većih posledica upotrebe fosilnih goriva na biosferu. Obnovljivi Izvori Energije se smatraju jedini koji su ekološki prihvativi i koji ekonomski postaju sve isplatljiviji, kako dolazi do oblikovanja ekonomije u vremenu „Svetske ekonomske krize”. Ova tendencija ima velikog uticaja na Nuklearnu energetiku jer veliki investicioni troškovi i moguća opasnost od nuklearnih akcidenta smanjuje spremnost investiranja u ovaj vid energetike. Stoga ovaj rad ima zadatak da približi načine funkcionisanja Nuklearne energije i pojedinih OIE, solarne energije i biomase kao najvažnije predstavnike i da iznese važnije pozitivne i negativne strane napomenutih načina korišćenja energije.

Analizom budućih tendencija razvoja tehnologija predviđa se da će u budućnosti osnovu procesa energetike činiti nuklearni proces **fuzija** i to deuterijum-tricijum proces fuzije za koji se smatra da će biti komercijalizovan proces nakon 2130. godine. Tek nakon 2300. godine smatra se da će se pronaći D-D deuterijum-deuterijum fuzija, proces koji je istovetan sa procesima u zvezdama i da će biti komercijalno dostupan, dok je čovečanstvo tek na početku istraživanja dobijanja energije od antimaterije. Period od 2040. pa do 2130. godine, za Srbiju u energetskom smislu je neizvestan, što se tiče konvencionalnih izvora energije, jer su prognoze pokazale da će u tom periodu Srbija istrošiti rezerve lignita i skromne rezerve nafte i prirodnog gasa, tako da ostaju jedino obnovljivi izvori energije da u tom razdoblju budu nosilac energetske proizvodnje, sve do komercijalizacije deuterijum-tricijum fuzije. Obnovljivi Izvori Energije imaju Sunčevu zračenje kao osnovni mehanizam za obnavljanje i koja ima najveći potencijal od svih izvora energije. Može se teorijski reći da obnovljivi izvori energije imaju daleko veći potencijal od konvencionalnih-fosilnih izvora energije ukoliko se razmatra preko Solarne energije.

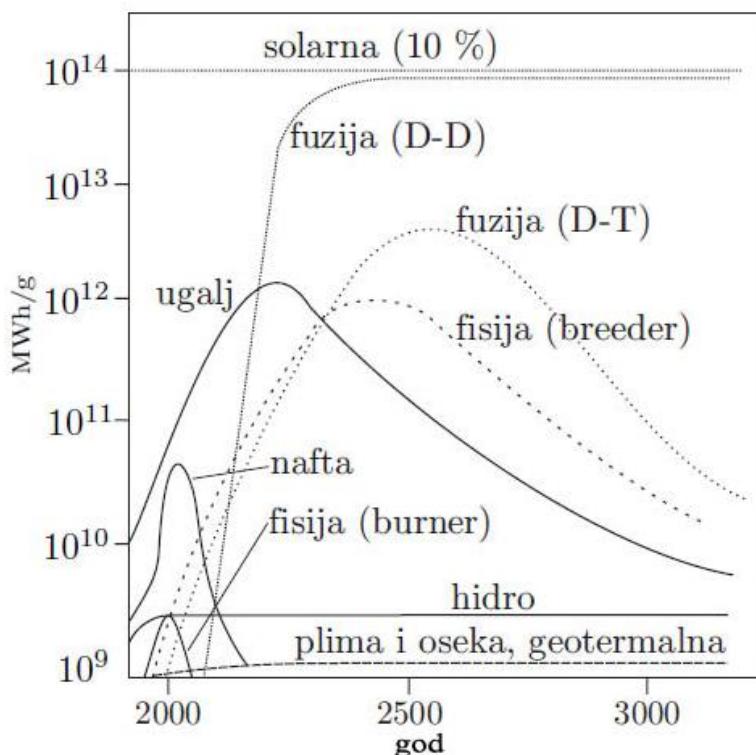
Potencijal OIE u Srbiji je veoma veliki, gde optimistične procene govore da se sistemima OIE može do 2040. godine zameniti oko 75% proizvodnje električne energije, a mogućnost za zamenu naftnih derivata kao pogon za automobile i energenata koji

omogućavaju efikasno zagrevanje domaćinstava prevazilazi sadašnju potrebu za naftnim derivatima i prirodnim gasom. Ovo omogućuje prvenstveno bogatstvo u biomasi i raznolikost u upotrebi biomase u Srbiji i prisutnost geotermalnih izvora, gde je još potrebno precizno utvrditi potencijal koji ima Srbija u geotermalnim vodama

Drugi konvencionalni izvori energije, koji se ne koriste u Srbiji, je **nuklearna energija**, odnosno Nuklearna energetika koja bi mogla da popravi situaciju u proizvodnji električne energije u napomenutom kritičnom periodu. Osnovni razlog za oklevanje u naučno-tehnološkom razvoju u ovaj sektor energetike su buduće ekonomske projekcije cene goriva urana i torijuma i mogućnost pojave nuklearnih akcidenata, usled prirodnih katastrofa.

Izvor	Postojeće rezerve			Danas dostupne rezerve		
	10^{10} t	10^{10} t.e.g	%	10^{10} t	10^{10} t.e.g	%
Nafta (izvori)	57	82	6.7	23	32.9	22.1
Nafta (škriljci)	50	71	5.9	3	4.3	2.9
Prirodni gas 10^{12} m^3	150	20	1.7	150	20.0	13.4
Kameni ugalj	800	800	65.6	43	43.0	28.9
Mrki ugalj	260	104	8.7	16	6.4	4.3
Treset	21	9	0.7	21	9	6
Uran – 235	$15 \cdot 10^{-4}$	69	5.4	$5 \cdot 10^{-4}$	22.0	14.8
Torijum – 233	$4.5 \cdot 10^{-4}$	17	1.4	$1.5 \cdot 10^{-4}$	5.7	3.8
Ukupno	1219.5		100	149		100

Tabela (1) postojeće rezerve primarnih izvora energije u tonama, tonama ekvivalentnog goriva i procentima



Slika (1) Grafik projekcja razvoja potrošnje različitih izvora energije u daljoj budućnosti

2. Energetska efikasnost u nuklearnoj energetici

2.1. Osnovne odlike efikasnosti nuklearnih reaktora

Među nukleonima deluju jake privlačne sile, koje se prikazuju energijom veze, što je energija kojom su vezani nukleoni u jezgrima atoma. Maksimalna vrednost energije veze po nukleonu je 8.5 MeV , za jezgra koja imaju maseni broj $A=60$ ili više. Energija veze opada i prema jezgrima manjeg i ka jezgrima većeg masenog broja. Izotop olova Pb ima najveću vrednost energije veze i nuklearne reakcije se rukovode ovom pojmom, odnosno sve reakcije fuzije dovode do formiranja složenijih jezgra do olova, a sve reakcije fisije dovode do raspada teških jezgara do ovog izotopa olova. Spajanjem lakih i teških jezgara, nastaju nova jezgra sa energijom veze, koja je veća po nukleonu u odnosu na raniji slučaj.

Fisijom nazivamo reakciju cepanja teške čestice, odnosno jezgra koja ima atomski broj $Z > 83$, pri čemu nastaju dva fragmenta, ili se oslobađa određena vrednost energije. Fisione reakcije se kod teških jezgara dešavaju spontano, kao oblik radioaktivnog raspada, dok je kod drugih jezgara potrebno dovesti jezgro u pobuđeno stanje, preko procesa dovođenja energije spolja, što se naziva energijom aktivacije. Fisioni materijali, odnosno fisioni izotopi su oni koji se mogu, usled delovanja neutrona spolja mogu raspasti na fragmente. U zavisnosti od broja neutrona moguće je izvršiti podelu neutrona na parne i neparne:

- Jezgra sa parnim brojem neutrona (^{238}U , ^{240}Pu , ^{242}Pu),
- Jezgra sa neparnim brojem neutrona (^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu).

Kako bi se lakše ostvario raspad jezgra sa parnim brojem neutrona, potrebno je da neutron ima energiju veličine reda 1 MeV , dok je u slučaju jezgara, koja imaju neparan broj neutrona je dovoljno da neutron ima energiju od 1 eV . Energija koju nosi neutron je u stvari kinetička energija, koja zavisi od njihove brzine kretanja. Na taj način je tačan zaključak da raspad jezgra koji ima u sebi parni broj neutrona, može izazvati brzi, a raspadom jezgara sa neparnim brojem neutrona nastaju spori neutroni, koji se još nazivaju i termički neutroni.

Pobuđenost je najlakše postići kod neparnih jezgara ^{235}U , ^{233}U i ^{239}Pu , gde je apsorpcija neutrona dovoljna da dovede jezgro u pobuđeno stanje, odnosno dodatkom jednog neutrona jezgro postaje parno i na taj način je neutron slabije vezan, pa ovakva jezgra postaju fisibilna sa sporim, odnosno sa termalnim neutronima, što govori u prilog da cepanje jezgara nije simetrično.

Jezgro izotopa urana ^{235}U apsorbuje neutron, koji je pobuđen do vrednosti energije veze za pojedinačni neutron energije 8 MeV , pri čemu jezgro osciluje, izdužuje se i cepta se u jednom trenutku na dva dela. Pojedina jezgra u prirodi, kao što je izotop urana ^{238}U kojima nije ni dovoljna energija veze jednog neutrona za cepanje. Ovim izotopima je potrebno dodati još energije, pri čemu bi neutroni trebali da budu brži, a ne da imaju manje vrednosti brzine, čime bi spadali u termalne neutrone.

U prirodi postoji veoma mala količina izotopa ^{235}U koji je fisibilan termalnim neutronima. U odnosu ruda koje se vade, poredeći sa količinom izotopa urana ^{238}U , uran-235 je prisutan samo sa 0.7% , tako da je fisibilni izotop urana redak i zato je ruda urana skupa.

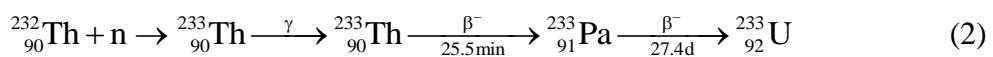
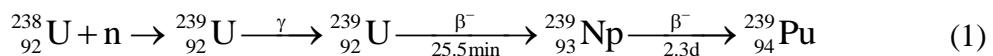
Jedno od rešenja u nuklearnoj energetici je proces nuklearne oplodnje, pri čemu se koristi nefisibilni izotop urana ^{238}U koristi da se dobije fisibilni izotop i da se umnoži fisibilni element. Po jednom kilogramu čistog izotopa urana ^{235}U dobija se energija od $8.21 \cdot 10^{13} \text{ J} = 951 \text{ MWd}^1$, dok se za 1 kg prirodnog urana može dobiti energetski ekvivalent koji iznosi $5.86 \cdot 10^{11} \text{ J} = 6.8 \text{ MWd}$. Može se reći da je fisibilni uran primarni izvor energije u nuklearnoj energetici, sa 0.7% fisibilnog izotopa urana-235, zbog čega je njegov ekvivalentan energetski bilans manji oko 140 puta. Ukoliko se uporedi energetski ekvivalent standardne vrednosti uglja je $2.93 \cdot 10^7 \text{ J} = 3.4 \cdot 10^{-4} \text{ MWd/kg}$, što znači da je jedan kilogram prirodnog urana ekvivalentan sa 17600 kg standardnog uglja.

Može se zaključiti da je vrednost gustine energije daleko veća u slučaju urana, odnosno u ka nuklearnoj energetici, ovaj odnos od 17600 puta većoj gustini energije u odnosu na ugalj, je još veća ukoliko se uporedi sa iznosima energija koje se dobijaju iz biomase.

Ukoliko se uporedi vrednost energije dobijenoj u klasičnoj termoelektrani – TE koja je snage 1000MW sa prosečnom vrednosti od oko 80% raspoloživosti godišnje i standardnim vrednostima energetske efikasnosti, tada u takvoj termoelektrani se potroši godišnje $2.5 \cdot 10^6$ tona uglja, dok bi fisioni reaktora iste snage uz iste uslove godišnje trošio oko 120-160 tona prirodnog urana.

2.1.1. Fisiono gorivo

Navedena fisibilna jezgra najvećim delom nastaju u veštačkim procesima, dok je u prirodi prisutan samo jedan fisibilni izotop urana ^{235}U , dok su ostali fisibilni elementi ^{233}U i ^{239}Pu su veštački izotopi koji se dobijaju iz izotopa urana ^{238}U i izotopa torijuma ^{232}Th , što se dobija u reakcijama:



U ovim procesima sa stanovišta energetike se mogu samo uranijum U-235 i izotop torijuma Th-233 se mogu smatrati nuklearnim (fisionim) gorivom. Ovi izotopi se nalaze u obliku oksida ili silikata u formi ruda, koja se naziva libra, koja posle vađenja zahteva intenzivnu obradu do forme koja je upotrebljiva u nuklearnim reaktorima, što su nuklearne gorive pilule. Zastupljenost fisibilnih elemenata je veoma mala i kreće u relativnim vrednostima od 4 g/t za uran i 10-15 g/t rude. Osnovne karakteristike su date u tabeli:

¹ MWd – megavat dan izraz za energiju koja se oslobodi po masenoj jedinici metala, obično je u pitanju upotreba radioaktivnih fisibilnih metala u nuklearnim fisibilnim reaktorima. Moguće je koristiti i u drugim odnosima vrednosti energije koji su zadati u odnosu energije $8.633 \cdot 10^4 \text{ J} = 1 \text{ Wd}$

Svojstva	Uran (U)	Torijum (Th)
Redni broj elementa	92	90
Atomska masa	238.03	232.038
Broj izotopa	15	12
Važniji prisutni izotopi	234-238; 240	227-232; 234
Udeo izotopa	238 – 99.3% 235 – 0.7% 234 – 0.0055%	232 – 99.3%
Boja	Srebrnastobeli	Platinast
Gustina	18.9 kg/dm ³	11.31 kg/dm ³
Temperatura topljenja	1400 K	2100 K
Temperatura isparavanja	4070 K	3800 K

Tabela (2) Neka uranova i torijumova svojstva

2.1.2. Lančana reakcija

Kako bi nastao proces lančane reakcije, neophodno je znati nivo nastanka novih neutrona koji nastaju nakon raspada teških jezgara. Nakon raspada teških jezgara može nastati različit broj neutrona. Broj oslobođenih neutrona za izotope urana je oko 2.5 neutrona po raspodu jednog jezgra, dok je u slučaju izotopa torijuma ²³²Th je da nastaje ukupno 2 neutrona, a pri raspodu izotopa plutonijuma ²⁴⁰Pu nastaje oko 3 neutrona, pri raspodu jednog jezgra. Samoodržanje reakcije fisije je moguće, jer se u procesu fisije u proseku oslobodi oko 2.5 neutrona. Kako bi došlo do održanja lančane reakcije, neophodno je da barem jedan od tih neutrona prouzrokuje raspad novog jezgra, čime se nastavlja proces fisije.

U slučaju raspada izotopa ²³⁵U raspad daje 2.5 neutrona po nuklearnom događaju, odnosno po događaju fisije, gde je osnovna mera ili matematički zapis da je u pitanju geometrijska progresija pri lančanoj reakciji 2^n , pri čemu je n zapravo broj sukcesivnih raspada, odnosno broj generacija neutrona. Na ovaj način neprekidne geometrijske progresije koja se nesmetano razvija je proces eksplozije nuklearne bombe, odnosno proces eksplozije fisione bombe. Za nuklearnu energetiku, za prirodan, ili obogaćeni uranijum, gde je povećan sadržaj ²³⁵U neophodno je obezbediti uslove da najmanje jedan neutron, koji je proizveden raspadom, da izazove raspad sledećeg jezgra urana. Ukoliko se uzme da su n_1 i n_2 broj akcidenata fisije dve uzastopne generacije, pri čemu se može definisati faktor multiplikacije k , kao odnos broja fisije jedne generacije i broja fisija od predhodne generacije:

$$k = \frac{n_2}{n_1} \begin{cases} k > 1 \\ k = 1 \\ k < 1 \end{cases} \quad (3)$$

Ukoliko je $k > 1$ reakcija je divergentna, što se dešava kada se nuklearni fisioni reaktor pušta u pogon, dok za slučaj kada je $k = 1$ u tom slučaju je stacionarno sagorevanje, odnosno nuklearni reaktor u fazi stacionarnog rada, tj. najveći deo rada fisionog reaktora se zasniva na ovom odnosu i za slučaj kada je $k < 1$ u kom slučaju je reakcija konvergentna, odnosno ovaj proces je zastupljen kada dolazi do gašenja reaktora. U slučaju nekontrolisane lančane reakcije vrednost koeficijenta je blizu vrednosti $k = 2$, odnosno važi proces geometrijske progresije, stoga praćenje procesa promene vrednosti faktora multiplikacije u nuklearnim raspadima omogućava kontrolisanje nuklearnih reakcija, odnosno kontrolu nuklearnih reaktora. Razvojem računarskih sistema sa višestrukim stepenima zaštite i uvođenjem merenja rastojanja šipki inhibitora, napravljene od ugljenika ili kadmijuma, moguće je u bilo kom trenutku kontrolisati način rada nuklearnog reaktora.

2.1.3. Kritična masa

Fisioni neutroni mogu biti izgubljeni za fisiju u daljim lančanim reakcijama zbog:

- Apsorpcije neutrona u izotopu urana ^{238}U koja ne dovodi do fisije i za koju je verovatnoća tj. presek je veoma velik u području energije koje su od 5 do 300 eV,
- Napuštanjem zapremine u kojoj se nalazi gorivo.

Proces se može smanjiti dovođenjem lakih elemenata – moderator, u interakciji sa kojim neutroni efikasno gube energiju i tako prolaze kroz područje rezonancije za ^{238}U , drugi način za smanjenje apsorpcije neutrona u uranu je veštačko povećanje sadržaja fisibilnog izotopa urana ^{235}U . Drugi proces napuštanja zapremine, gde je postavljeno gorivo smanjuje se postavljanjem reflektora oko goriva i povećanjem mase goriva, čime se smanjuje odnos površine u kojoj je gubitak proporcionalan i zapremine u koju udaraju neutroni, pa je verovatnoća bežanja neutrona proporcionalna sa odnosom b^{-1} , pri čemu je b – mera linearne dimenzije reaktora. Za odabrani moderator i reflektor, određena vrednost sastava urana i njegov geometrijski raspored u reaktoru postoji granična vrednost mase goriva u kojoj se još može ostvariti uslov da se lančana reakcija održava sa istim brojem događaja fisije u jedinici zapremine, tj. kada bude vrednost $k = 1$. U slučaju za izotop urana ^{235}U sa reflektorom od berilijuma u sfernoj simetriji, kritična masa je $m_k = 16 \text{ kg}$, a za slučaj nuklearnog reaktora koji u sebi ima fisibilni materijal $m_k = 4.5 \text{ kg}$ pri istim uslovima, kao i sa slučajem izotopa urana-235. U reaktorima sa prirodnim ili sa malo obogaćenim uradnom vrednost kritične mase je reda veličine $m_k = 10^4 \text{ kg}$. U slučaju nuklearnog oružja, kritična masa se računa na drugačiji način i neophodno je izračunati pravilan geometrijski raspored kritične mase i eksploziva koji započinje spajanje nuklearnih elemenata.

2.1.4. Kontrola reaktora

Reaktori moraju imati masu goriva veću od kritične da bi se mogli pustiti u pogon ($k > 1$). Kada se postigne određen nivo snage, faktor multiplikacije bi trebao dovesti na vrednost od $k = 1$, što se postiže ubacivanjem odgovarajućih apsorbera neutrona. Menjanja vrednosti k , prema potrebama predstavlja kontrolu reaktora. Prema vrednosti k , reaktora

može biti: $k > 1$ da je nadkritičan, $k = 1$ kritičan i kada je vrednost $k < 1$ da je vrednost podkritična. Osim vrednosti faktora multiplikacije na tok lančane reakcije, utiče i srednji život generacije neutrona τ . Ukoliko je N_0 tada je broj neutroa u $t=0$, onda u trenutku t biće jednačina:

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{k-1}{\tau}t} \quad (4)$$

Pri čemu je τ zavisi od niza faktora u reaktoru, ali je osnovno da se deo neutrona emituje sa kašnjenjem, što povećava efektivni život generacije. Ova činjenica omogućava regulaciju reaktora. U sledećoj tabeli su prikazani udeli produkata raspada urana-235.

Produkt fisije	$\tau_{1/2}$	Udeo jezgra %
Kr-85	10.6 godina	0.29
Br-87	54.5 s	3.1
Sr-90	26 godina	5.77
Kr-93	2 s	0.487
Tc-99	$2.1 \cdot 10^5$ godina	6.06
Te-125	2.0 min	5.6
Cs-137	29 godina	6.15
J-135	6.7 h	6.1
X-135	9.2 h	0.3
Cs-135	$2.6 \cdot 10^6$ godina	6.41

Tabela (3) Udeo nekih produkata u raspadu

Određen broj fisionih produkata raspada se posle akta fisije uz emisiju neutrina koji kasni određeno vreme, pri čemu se ^{87}Br raspada na ^{86}Cr pri čemu je poluperiod $T_{1/2} = 54.5$ s, što je prema reakciji:



Obično se produkti koji emituju zakasnele neutrone grupišu se u šest grupa prema vremenima poluraspara. Ukoliko se radioaktivni elementi grupišu u elemente, gde je vreme poluraspara T, može se izračunati srednje vreme kašnjenja τ i gde je konstanta raspada λ , u tom slučaju je srednje vreme kašnjenja je:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} \quad (6)$$

Ukoliko se računa vreme kašnjenja za grupu neutrona, u tom slučaju je τ za sve neutrone dato:

$$\tau = \frac{\sum \beta_i \cdot \tau_i}{\sum \beta_i}, \text{ gde je } i = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (7)$$

β - je udeo zakasnelyih neutrona i ukoliko se preračunaju vremena kašnjenja za sva fisibilna jezgra može se dobiti tabela:

Produkt fisije	Spori neutroni		Brzi neutroni	
	β [%]	τ [s]	β [%]	τ [s]
U-235	0.65	13.0	0.64	13.0
U-238	-	-	1.48	7.0
Pu-239	0.25	15.4	0.20	16.0
Th-232	-	-	2.03	10.2
U-233	0.26	18.4	0.26	18.4

Tabela (4) Udeo nekih produkata raspada urana-235

2.1.5. Preseci za neutronske reakcije

Totalni presek, odnosno verovatnoća interakcije neutrona sa jezgrom je suma preseka za apsorpciju σ_a - što ne dovodi do fisije, presek za sudar je σ_s - rasejanje i σ_f - presek za fisiju

$$\sigma_t = \sigma_a + \sigma_s + \sigma_f \quad (8)$$

σ_t - je funkcija energije neutrona W_n i vrste jezgra i ova veličina je od posebnog značaja, jer je u oblasti visokih energija je presek oko 2 barn^2 , dok je u oblasti niskih energija $W < 1 \text{ eV}$, tada presek postaje za faktor od 10^3 puta veći.

U oblasti sporih, odnosno niskoenergetskih neutron, tada σ_f raste sa smanjenjem energije W_n i ovo smanjenje preseka se računa u obliku:

$$\sigma_f = \frac{k_1}{\sqrt{W_n}} = \frac{k_2}{v_n} \quad (9)$$

Pri čemu su k_1 i k_2 konstante za oblast niskih energija ($W < 1 \text{ eV}$). Neophodno je što više usporiti odnosno moderirati neutrone, kako bi se postigla idealna brzina za zahvat neutrona, koji mogu biti korišćeni za zagrevanje radne supstance. Donja granica brzine v_n ne može biti manja od standardne vrednosti za brzinu čestica datu Maksvelovom raspodelom, što je:

$$v_o = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \quad (10)$$

Što za slučaj atoma vodonika sa jednim protonom i elektronom iznosi oko 2200 m/s , odnosno 0.025 eV za slučaj kada je temperatura $T = 298 \text{ K}$. Neutroni koji imaju ove vrednosti nazivamo termalnim neutronima. Za elemente koji su značajni mogu se izračunati preseci sa neutronima

² Barn – jedinica za presek nuklearnih reakcija $1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2$

Element	σ_f [barn]	σ_a [barn]	σ_s [barn]
U-235	579.5	100.5	15.2
U-238	-	2.7	8.4
Pu-239	742.4	265.7	12.1
Th-232	-	7.6	12.5
U-233	527.7	48.6	12.4
U-prirodan	4.17	3.40	8.4

Tabela (5) Udarni preseci nuklearnih goriva za termalne neutrone pri energijama vrednosti (0.0253eV)

Presek za smešu jezgara u slučaju prirodnog urana je dato izrazom:

$$\sigma = \sum_i \gamma_i \sigma_i \quad (11)$$

Pri čemu je γ_i je udeo jezgara i -te vrste u smeši, a σ_i je presek za jezgra i -te vrste elementa, pri čemu je vrednost preseka za prirodni uran u slučaju nuklearnog reaktora je:

$$\sigma = 0.992 \cdot \sigma_{238} + 0.007 \cdot \sigma_{235} \quad (12)$$

2.1.6. Moderatori

Kako bi se od brzih neutrona dobili sporiji termalni neutroni, neophodno ih je usporiti. Neutroni gube svoju energiju u elastičnim i neelastičnim sudarima. Elastični sudari su sudari neutrona sa teškim jezgrima, a elastični sudari su sudari neutrona sa lakinim jezgrima. Moderatori su materijali u kojima neutroni po jednom elastičnom sudaru gube u proseku znatnu količinu energije, a koji istovremeno malo apsorbuje neutrone, odnosno, moderatori moraju imati mali presek za apsorpciju σ_a . Predaja energije prilikom sudara je utoliko veća, ukoliko je masa jezgra moderatora bliža masi neutrona. Dobri moderatori su laka jezgra, voda, teška voda, ugljenik, grafit i berilijum. U sledećoj tabeli su prikazani preseci navedenih moderatora.

Element	σ_s	σ_a	V_m
H ₂ O	46	0.66	65
D ₂ O	10.5	0.92.10-3	5820
Be	6	9.10-3	150
C	4.8	4.5.10-3	170

Tabela (6) Udarni preseci i mera usporavanja nekih moderatora

Efikasnost usporavanja se obično izražava srednjim srednjim logaritamskim smanjenjem energije neutrona po jednom sudaru. U zavisnosti od stepena usporavanja indirektno zavisi efikasnost nuklearnog reaktora:

$$\xi = \ln \frac{W_1}{W_2} \quad (13)$$

Gde su W_1 i W_2 su energije neutrona, koje su pre i posle sudara, gde se može pokazati da je ξ moguće izraziti i u drugačijem obliku:

$$\xi = 1 + \frac{(M-1)}{2M} \cdot \ln \frac{M-1}{M+1} \quad (14)$$

Relacija data u logaritamskoj formi je podesna za pravljenje izvoda, dok je analitička vrednost podesna za izražavanje mernih nesigurnosti i za jednostavnije izračunavanje. Ukoliko je vrednosti za M – masa jezgra moderatora takva da je vrednost $M \geq 10$ tada je:

$$\xi = \frac{2}{M + \frac{2}{3}} \quad (15)$$

Ukoliko je početna energija neutrona data sa W_o , a željena konačna vrednost energije W , u tom slučaju je potreban broj sudara sa atomima moderatora je:

$$S = \frac{\ln \frac{W_o}{W}}{\xi} \quad (16)$$

Pri čemu se vrednosti ξ i S za usporenje su za vrednosti od 2 MeV do 0.025 eV, a što je za neke materijale dato u tabeli:

Element	M	ξ	S
H	1	1.00	18
H_2O	18	0.927	19
D	2	0.725	25
D_2O	19	0.510	35
He	4	0.425	43
Be	9	0.209	86
C	12	0.158	114
O	16	0.120	152
U-238	238	0.008	2172

Tabela (7) Srednje logaritamsko smanjenje energije i broj sudara za usporednje na vrednosti energije od 2 MeV do vrednosti 0.025 eV, za neke atome

Za regulaciju reaktora su potrebni materijali sa velikim apsorpcionim presekom σ_a . Što su obično Cd – kadmijum i B – bor koji su potrebni za termalne neutrone. U oba slučaja su preseci σ_s zanemarljivo mali, pri čemu je za B, vrednost preseka je $\sigma_s = 3.7$ barna, dok je za Cd – kadmijum je $\sigma_s = 7$ barna.

2.1.7. Uticaj goriva na faktor multiplikacije

Bežanje neutrona najefikasnije se sprečava povećanjem dimenzija reaktora. Reaktor u kome nema bežanja neutrona zovemo reaktor beskonačnih dimenzija. Ukoliko je λ da je verovatnoća da neutron dobijen pri fisiji ostane u reaktoru, a za k_∞ pri čemu je faktor multiplikacije reaktora beskonačnih dimenzija je efektivni faktor multiplikacije, biće:

$$k = k_{\infty} \cdot \lambda \quad (17)$$

Ako se definišu faktori bežanja za spore – termalne neutrone.

Ukoliko se definišu faktori bežanja za spore λ_t , odnosno za brze neutrona λ_b :

$$k = k_{\infty} \cdot \lambda_b \cdot \lambda_t \quad (18)$$

Faktor multiplikacije u reaktoru zavisi od broja neutrona nastalih fisijom v i apsorpcije. Ukoliko je η fisibilnih materijala u samom jezgru, odnosno u samom gorivu, bez uticaja drugih materijala u reaktoru, u tom slučaju se može izraziti u obliku:

$$\eta = \frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_a} v_i \quad (19)$$

Odnosno se može napisati u formi:

$$\eta = \frac{\sum_i \gamma_i \sigma_{fi}}{\sum_i \gamma_i \sigma_{fi} + \sum_i \gamma_i \sigma_{ai}} v \quad (20)$$

Ostali uticaji na faktor multiplikacije karakterišu se odgovarajućim koeficijentima. Ukoliko se neposredno posle raspada javi n_1 neutrona. Ukoliko je $W_n > 1.1$ MeV, tada može doći do raspada U-238, pa se broj neutrona povećava ε puta ($\varepsilon > 1$).

- ε - faktor brze fisije, pri čemu se vodi računa da brzi neutroni iz fisije mogu izazvati nove akcidente pre nego što im energija padne ispod praga za fisiju u uranu-238;
- p – faktor izbegavanja rezonanci, koliko je neutrona izbeglo apsorpciju u jakim rezonancijama u izotopu urana – 238;
- f – faktor iskorišćenja termičkih neutrona;
- η - neutronski prinos

Uključujući opisani uticaj goriva na faktor multiplikacije na ceo proces multiplikacije se može predstaviti prema sledećoj šemi.

Pošto je $k = \frac{n_2}{n_1}$ u tom slučaju će biti izvedene ralacije:

$$\begin{aligned} k &= \varepsilon \cdot \lambda_b \cdot p \cdot \lambda_t \cdot f \cdot \eta \\ k &= k_{\infty} \cdot \lambda_b \cdot \lambda_t \\ k_{\infty} &= \varepsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta \end{aligned} \quad (21)$$

2.1.8. Homogen reaktor

Fisioni reaktori su uređaji u kojima se odžava kontrolisana lančana reakcija, a različiti oblici energije fisijske transformišu se u toplotu koja se odgovarajućim prenosnim medijumom izvodi iz reaktora. Homogen reaktor je onaj u kome su gorivo i moderator pomešani. Za moderator se obično koristi voda ili ugljenik. Ukoliko je u pitanju smeša visokoobogaćenog urana i grafita, pošto je udeo urana – 238 mali, u tom slučaju je faktor raspada ^{238}U da je ϵ i faktor apsorpcije neutrona od strane ^{238}U su približno jednaki 1 ($\epsilon = 1$ i $p = 1$), pa je u tom slučaju:

$$k_{\infty} = f \cdot \eta \quad (22)$$

Odnos mase moderatora i urana se izražava preko odnosa vrednosti makroskopskih preseka, koji su dati $\sum = N \cdot \sigma$ na osnovu čega se može napisati relacija:

$$z = \frac{\sum_{\text{fU}} + \sum_{\text{aU}}}{\sum_{\text{am}}} = \frac{N_U (\sigma_{\text{fU}} + \sigma_{\text{aU}})}{N_m \sigma_{\text{am}}} \quad \sigma_{\text{fm}} = 0 \quad (23)$$

Faktor apsorpcije u materijalima reaktora f , može da se izrazi kao odnos:

$$f = \frac{\sum_{\text{fU}} + \sum_{\text{aU}}}{\sum_{\text{am}} + \sum_{\text{fU}} + \sum_{\text{aU}}} = \frac{z}{z+1} \quad (24)$$

$$k_{\infty} = \frac{z}{z+1} \eta \quad (25)$$

Za visokoobogaćeni uran je: $\eta = 2.07$, $\sigma_{\text{fm}} + \sigma_{\text{aU}} = 680$, a $\sigma_{\text{am}} = 0.0032$, dok se faktori k_{∞} i f se mogu izraziti preko odnosa $\frac{N_m}{N_U}$. Lančana reakcija se može održati i u

slučaju vrednosti $\frac{N_m}{N_U} = 10^5$, kada je $k_{\infty} = 1.41$ što se javlja ukoliko je prisutna velika razređenost urana u grafitu. Ukoliko se umesto obogaćenog uranijuma koristi samo 2% obogaćeni uran, tada dolazi do izražaja uticaj ^{238}U koji je utoliko veći, što je u smeši urana i moderatora više urana. Za slučaj takvog 2% obogaćenog urana i vode, kao moderatora, u tom slučaju su faktori k_{∞} , ϵ , f i p što je postavljeno u funkciju N_U/N_m .

Sa povećanjem udela urana raste odnos ϵ zbog povećanja broja jezgara ^{238}U , ali se iz istog razloga smanjuje faktor p , jer se apsorpcija povećava. Ukoliko je odnos vrednosti $\frac{N_m}{N_U} = 0$, tada su vrednosti ϵ i p su jednak jedinici, jer u smeši nema urana. Međutim, tada je

$f = 0$ jer ostali materijali apsorbuju sve neutrone. Kako faktor k_{∞} brzo raste sa odnosom $N_U/N_m = 0.4$ pri čemu ima maksimum za vrednost koja je $k_{\infty} = 1.25$, što je posledica naglog povećanja faktora f . Dalje opadanje vrednosti k_{∞} uslovljeno je smanjenjem vrednosti p odnosno uslovljeno je procesom apsorpcije u ^{238}U . Za vrednost koja je $N_U/N_m > 2.4$, dobija se vrednost koja je $k_{\infty} < 1$. Na taj način se može reći da samo u uskom području koncentracije urana se može ostvariti lančana reakcija, koja je stabilna i koja se može koristiti u nuklearnom reaktoru.

Za prirodni uran koristi se odnos 0.7% ^{238}U , pri čemu bi vrednost η opala na 1.33, pa bi uz iste ostale faktore bilo $k_{\infty} < 1$. Zbog povećanje koncentracije urana – 238, vrednost p bi još brže opadala, što bi vrednost k_{∞} dalje smanjilo na vrednost koja je ispod 1. Iako je nešto povoljnije zbog manje vrednosti σ_a odnosno da je vrednost f veća, onda bi upotreba D_2O umesto vode ništa ne bi menjala, jer bi vrednost bila $k_{\infty} > 1$, ali ga bežanje neutrona opet dovodi na vrednost koja je ispod 1. Pri čemu zaključujemo da nije moguće ostvariti homogeni reaktor sa prirodnim uranom sa odnosom od 0.7% ^{238}U .

2.1.9. Heterogen reaktor

Heterogen reaktor ima gorivo koje je raspoređeno u obliku cilindričnih gorivih elemenata, koji su ravnomerno raspoređeni u moderatoru. Pri ovoj vrednosti je faktor k_{∞} zavisna veličina od dimenzija i geometrijskog rasporeda elemenata u moderatoru, odnosno zavisi od parametara r_0 i r_1 .

Faktor ε u ovom slučaju zavise samo od r_0 , jer neutroni imaju dovoljnu energiju pri $W > 1.1 \text{ MeV}$ za raspad ^{238}U , samo unutar elemenata u kome su nastali. Sa povećanjem vrednosti r_0 , raste i vrednost ε jer se povećava verovatnoća za sudar neutrona sa ^{238}U . Nasuprot ovome faktor p – apsorpcija od strane urana – 238 će opadati sa porastom r_0 . Iz istog razloga će za dato r_0 vrednost p biti manja, što je veća gustina rasporeda gorivih elemenata, odnosno što je manja vrednost za r_1 .

Apsorpcija neutrona raste sa brojem jezgara moderatora, odnosno smanjuje se za faktor f . Za $r_1 = \text{const.}$, f raste sa r_0 , a za $r_0 = \text{const.}$ opada sa povećanjem vrednosti r_1 . Kako je:

$$k = \varepsilon \cdot p \cdot f \cdot \eta \quad (26)$$

Za prirodni uran $\eta = 1.33$ faktor k_{∞} se dobija kao funkcija odnosa r_0 i r_1

Vidljivo je da se u svim slučajevima može postići vrednost koja je $k_{\infty} > 1$, što znači da se u heterogenom reaktoru i sa prirodnim uranom i grafitom kao moderatorom može postići uslov za lančanu reakciju. Za vodu kao moderator, to nije moguće zbog velike vrednosti σ_a vode, ali zato bez problema se može postići sa teškom vodom kao moderatorom.

Nezavisno od tipa moderatora, međutim sa malo obogaćenim uranom može se postići uslov $k_{\infty} > 1$ u svim slučajevima, čak i sa vodom kao moderatorom.

2.1.10. Promene faktora multiplikacije

Bežanje neutrona sprečava se:

1. Povećanjem dimenzija reaktora, pri čemu rastu troškovi izgradnje, eksploatacije; jer se povećava količina goriva i moderatora.
2. Postavljanjem reflektora za neutrone oko goriva, pri čemu se jedan deo vraća u gorivo, ako se ne dogodi apsorpcija u reflektoru; i sa njim vrednost fluksa postaje sve ravnomernija, pa je iskorišćenje goriva na periferiji nuklearnog reaktora bolja; potrebna snaga reaktora se postiže sa prisutnim manjim dimenzijama.

Faktor multiplikacije k , definiše se kao radno stanje reaktora. Kako je vrednost $k \approx 1$ često se koristi kao višak faktora multiplikacije, pri čemu je odnos $\Delta k = k - 1$ i reaktivnost reaktora:

$$\rho = \frac{k-1}{k} = \frac{\Delta k}{k} \approx \Delta k \quad (27)$$

Razlikujemo tri osnovna stanja reaktora:

- Podkritično: $k < 1$; $\Delta k < 0$ i da je $\rho < 0$
- Kritično: $k = 1$; $\Delta k = 0$ i da je $\rho = 0$
- Nadkritično: $k > 1$; $\Delta k > 0$ i da je $\rho > 0$

Da bi se mogao staviti u pogon, reaktor mora imati pozitivnu reaktivnost, a da bi se mogao kontrolisati mora se omogućiti promena reaktivosti. Ugrađena reaktivnost, ili višak faktora multiplikacije, obično se definiše za „hladan” reaktor za $t = 20^{\circ}\text{C}$, što se naziva i svež reaktor, jer se u toku rada zbog grejanja reaktivnost se menja. Promene vrednosti k , nastaju zbog:

- Zatrovanja reaktora,
- Utroška goriva,
- Konverzija goriva (što nastaje usled proizvodnje novog goriva).

Neki od ovih faktora povećavaju vrednost, a neki smanjuju vrednost za k , ali u konačnom efektu njihov uticaj je negativan jer smanjuju faktor multiplikacije. Navedeni efekti se ne javljaju istovremeno: uticaj temperature, npr. ispoljava se neposredno po paljenju reaktora, zatrovanja koje traje nekoliko sati ili dana posle, a uticaj utroška i konverzije goriva tek posle nekoliko nedelja ili meseci.

Zbog negativnog uticaja navedenih faktora na k , jasno je da reaktor mora imati ugrađen višak reaktivnosti, koji se u početku rada kompenzuje sistemom regulacije, pri čemu su kontrolne šipke izrađene od Cd-kadmijuma.

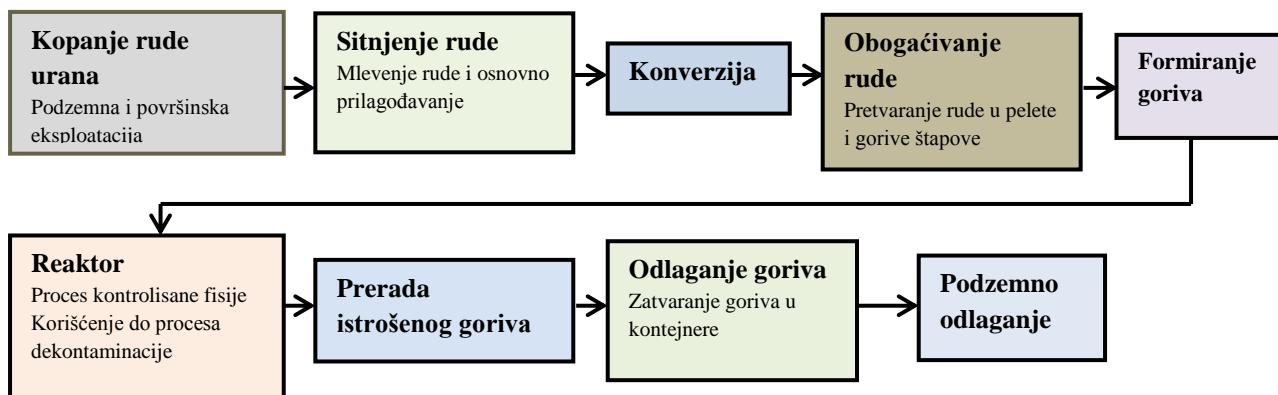
U toku rada će sve manje biti potrebno kompenzovati odnos Δk kako bi reaktor stalno bio kritičan. Kada se utroši sav višak ugrađene reaktivnosti, u reaktor treba staviti sveže gorivo ili zameniti deo gorivih elemenata.

2.2. Štetni uticaji nuklearne energetike na životnu sredinu

2.2.1. Oslobođanje CO₂ u nuklearnoj energetici

Sundqvist i Soderholm su 2002. godine su završili analizu od 103 ciklusa proizvodnje nuklearne energije na količinu oslobođenih gasova koji mogu da utiču na efekat staklene bašte. Ova studija je najbolja za tumačenje koliku količinu CO₂ se oslobođa prilikom korišćenja nuklearne energije, jer se vrši analiza oslobođanja CO₂ iz celokupnog procesa proizvodnje nuklearne energije što obuhvata i pravljenje nuklearne elektrane, vađenje rude urana i prečišćavanje rude urana i zatvaranje nuklearnog reaktora. Srednja vrednost mase oslobođene količine CO₂ za jedinicu proizvedene električne energije je da je srednja vrednost ekvivalentne mase ugljjenioksida je 66 gCO₂e/kWh.

Ove analize su najobjektivnije u odnosu na brojne druge analize, koje neobjektivno posmatraju problem emisije CO₂ iz nuklearne energije, jer su pojedini stručnjaci posvećeni razvoju nuklearne energetike, a određeni broj stručnjaka navode daleko veće vrednosti za emisiju CO₂ pri proizvodnji struje kako bi se unapredila situacija za razvoj i uvođenje carbon-free kredita, razvoja OIE, gde pojedini radovi navode da nuklearna energetika oslobođa onoliko gasova koji izazivaju efekat Staklene bašte koliko i proces sagorevanja prirodnog gasa. Zaključak je da sama proizvodnja električne energije u nuklearnom reaktoru ne oslobođa CO₂ ali gledajući sve segmente proizvodnje nuklearne energije oslobođa se određena količina. U današnjoj strukturi nuklearne energetike operativno je 435 nuklearnih elektrana, što je oko 16% ukupne svetke proizvodnje električne energije. Ukupno instaliran kapacitet svih nuklearnih elektrana je 368GW pri čemu se dobija proizvodnja od 2768TWh. Od zemalja u Evropi koje koriste u velikom obimu nuklearnu energetiku su Nemačka sa 20%, Švedska, Ukrajina i Velika Britanija sa 20% učešća nuklearne energije u unupnoj proizvodnji električne energije, a najviše se ističe Francuska sa oko 79% od proizvodnje celokupne zemlje. Francuska veći deo viška struje izvozi, ali se od tragedije u Fukushima – Japanu, udeo nuklearne energije smanjuje. U zamenu nuklearnih elektrana najdalje je otišla Nemačka, koja planira ukidanje nuklearnih elektrana do 2022 godine i zamene za sisteme Obnovljivih Izvora Energije.

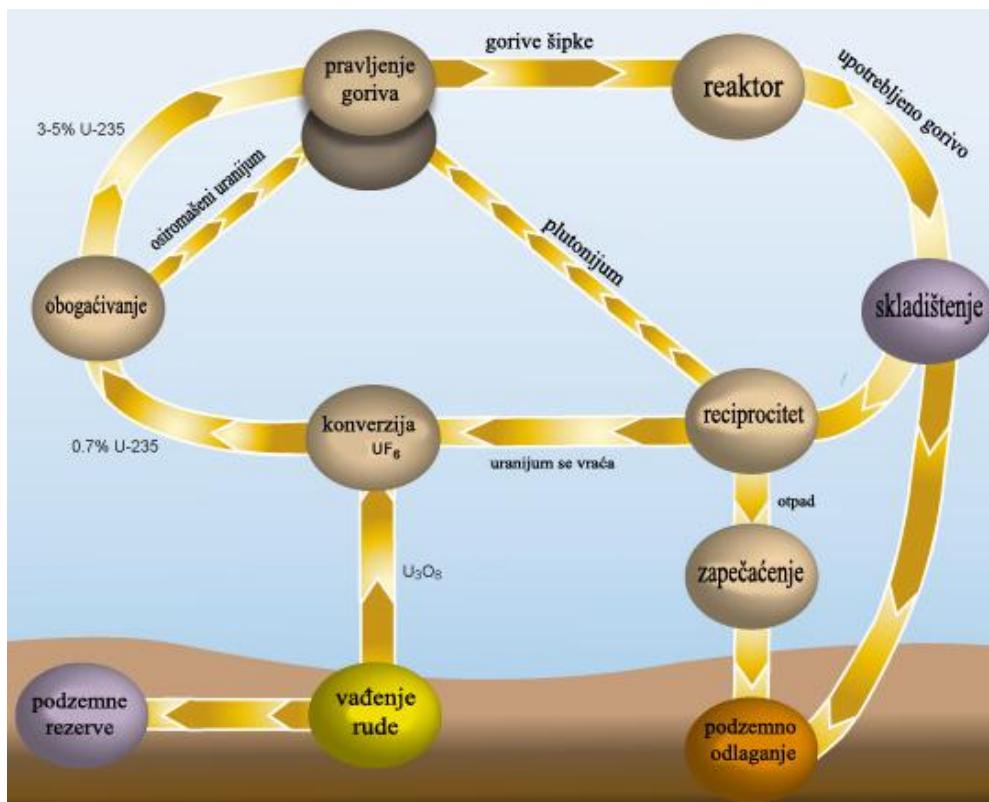


Slika (2) Šematski prikaz faza sa nuklearnim gorivom, princip klasične fisije, gde gorivo prolazi jednom kroz ciklus proizvodnje sve do krajnjeg podzemnog odlaganja

2.2.2. Ciklus nuklearnog goriva

Kako bi se razumeli štetni faktori za upotrebu nuklearne energije, neophodno je sagledati celokupan proces proizvodnje nuklearne energije, sa stvaranjem uslova za normalno operisanje nuklearnih elektrana. Proces dobijanja nuklearne energije se deli na dve osnovne vrste:

- prva vrsta je jednosmerni tok nuklearnog goriva (slika 2),
- druga vrsta je proces nuklearne oplodnje, ili formiranje zatvorenog ciklusa (slika 3).

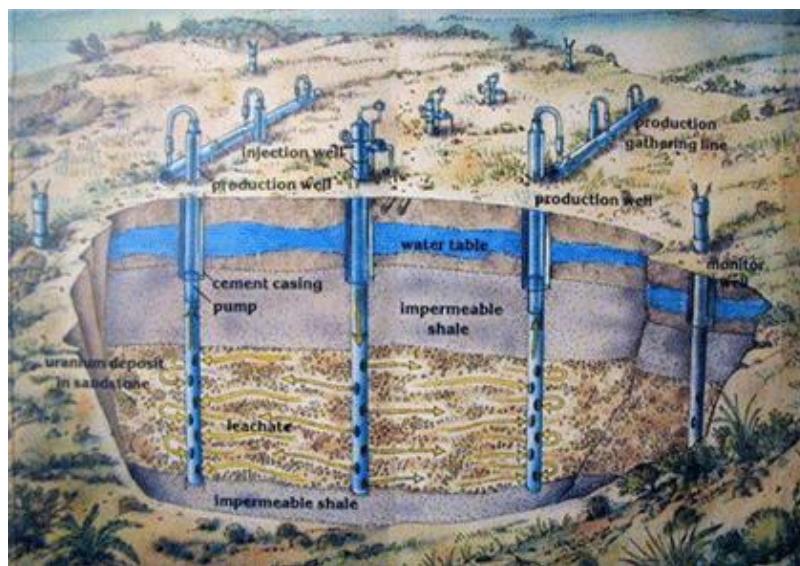


Slika (3) Zatvoren tok nuklearnog goriva u formi zatvorenog ciklusa

U slučaju prve vrste nuklearne fisije, odnosno nuklearne reakcije, gorivo koje se potroši ide direktno u otpad, dok u drugoj vrsti zatvoreni ciklus razdvaja produkte u reakciji koji su još fisibilni i vraća ih nazad na početak reakcije, a ostali deo odlazi kao otpadna materija. Reaktori koji imaju zatvoren ciklus, odnosno nuklearnu oplodnju imaju prednosti u skladištenju i količini dostupnog fisibilnog goriva, ali je za ostvarenje ovog procesa potrebna velika količina početnih fisibilnih materijala, smanjena je bezbednost skladištenja radioaktivnog materijala i smanjena je bezbednost pri samoj proizvodnji.

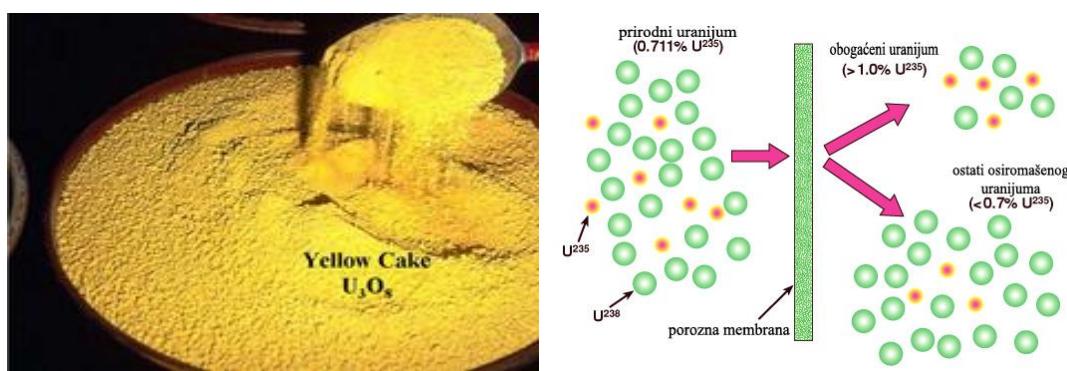
Što se tiče ciklusa proizvodnje nuklearnog goriva, moguće je razlikovati „prednji kraj“ ciklusa, u kome se ruda urana vadi, usitjava, obogaćuje i priprema za korišćenje u reaktorima. Pre ovog koraka podrazumeva se da je neophodno napraviti nuklearnu elektranu, sa potrebnom logističkom podrškom, instalacijama elektroenergetske mreže i sa razrađenim sistemom hlađenja nuklearnih reaktora. „Zadnji kraj“ ciklusa podrazumeva mere za bezbedno skladištenje istrošenog goriva i nakon isteka predviđenog perioda rada nuklearne elektrane, podrazumeva se da je potrebno da se elektrana zatvori i da se izvrši dekomisija.

Ruda uranijuma se vadi iz podzemnih rudnika, ili sa površinskih kopova koji imaju koncentraciju urana veću barem od $4 \cdot 10^{-4}\%$. Maksimalni iznosi udela urana je 0.2%, gde ova količina uranijuma ima u pesku i u lesnim slojevima od 0.01% do 0.2%, što se naziva „meka” ruda. „Tvrda” ruda se nalazi u granitnim slojevima i ima manji udio urana, što je obično oko 0.02% ili manje. Tipična dubina rudnika urana je oko 250 m, tako da samo kopanje rude urana na zahteva znatne tehnološke procese, ali se u toku vađenja rude urana iskopava i prerađuje velika količina materijala. Novija tehnika kopanja rude urana je „in situ” gde se stotine tona sumporne kiseline, azotne kiseline i amonijaka ubrizgava u slojeve gde se nalaze rude urana, dolazi do izdvajanja rude sa elementima iz ubrizganih jedinjenja, a zatim se rastvori nakon 3-25 godina pumpaju na površinu.



Slika (4) Ilustrovana slika in-situ eksploracije rude urana pomoću sumporne kiseline

Sitnjenje uranijuma i prilagođavanje rude za efikasniju upotrebu predstavljaju procese mlevenja, odabiranja, ispiranja rude i separacija urana preko procesa sedimentacije. Sitnjenje, odnosno mlevenje se vrši u okolini rudnika, gde kiseline ili alkalna kupatila ispiraju uranijum, čime nastaje žuti prah koji se naziva „žuti kolač” što čini oko 75% uranijum oksida U_3O_8 . Tipična količina rude koja je potrebna za obradu je 1000 tona, da bi se dobila 1 tona „žutog kolača”, a zajedno i oksidi i ostatak pri ispiranju ostaju radioaktivni što zahteva tretman, a kiseline zahtevaju neutralisanje sa peskom i da se rastvore pomoću fosfata.

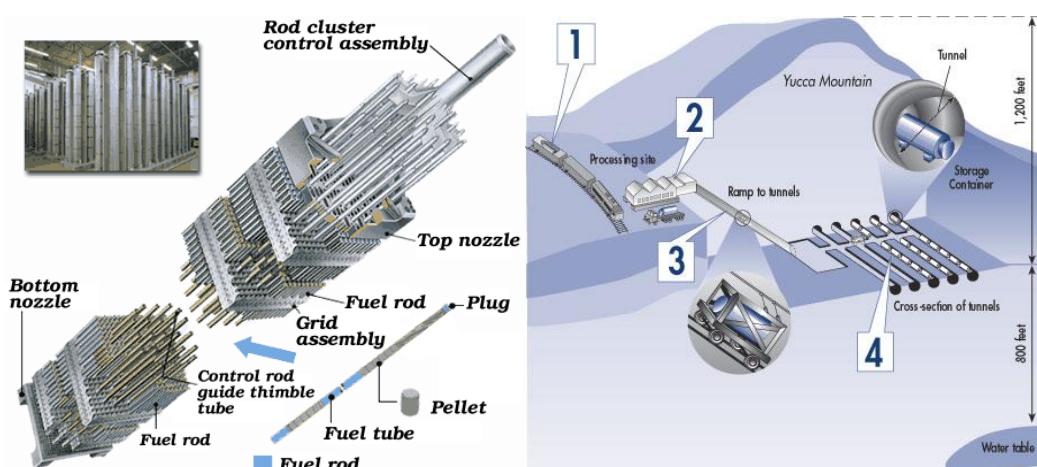


Slika (5) Snimak žutog kolača i prikaz procesa obogaćivanja uranijuma metodom porozne membrane

Sledeća stavka u obradi rude urana je pretvaranje urana i obogaćivanje, gde serija hemijskih procesa se obavlja da bi izdvojila preostale nečistoće. Prirodni uranijum sadrži oko 0.7% fisibilnog uranijuma-235, ostatak je uranijum-234 i najveći udeo ima uranijum-238. Kako bi se povećao udeo uranijuma-235 na odnos od bar 3.5%, što je minimalni udeo fisibilnog goriva u nuklearnim reaktorima sa lakom vodom, do odnosa od 4-5% za druge moderne reaktore, neophodan je proces obogaćivanja. Proces počinje sa pretvaranjem uranijuma u uranijum heksafluorid UF_6 i sledi proces obogaćivanja pomoću dva metoda:

- Obogaćivanje procesom gasne difuzije, razvijen je projektom Menhetn i 45% procesa obogaćivanja je proces gasnom difuzijom. Isparjenja UF_6 se sprovode kroz membrane ili dijafragme, gde se molekuli urana-235 brže kreću, jer su lakši u odnosu na uran-238 i lakši molekuli imaju veću mogućnost da prođu kroz membranu. Ovaj postupak se ponavlja nekoliko puta kroz serije difuzione faze gde se na jednom, najudaljenijem kraju, kaskadne difuzione komore nalazi obogaćeni uranijum, a na suprotnoj se nalazi UF_6 sa smanjenim udelom urana-235. Početni procesi gasne difuzije zahtevali su oko 1400 faza difuzije³ pre nego što se izdvoji dovoljan udeo urana-235 u UF_6 .
- Proces centrifuge, koristi seriju vakuumskih cevi koje se okreću u centrifugiji. Pošto su molekuli UF_6 sa izotopom urana-238 teži u odnosu na molekule sa uranom-235 to se teži molekuli lakše pomeraju ka ivici vakuumske cevi. Rotacija je veoma brza gde je potrebno da se ostvare 10^6 g sila za molekule kako bi se izvršila efikasna separacija.

Nakon obogaćivanja oko 85% oksida izlaze kao radioaktivni otpad u formi istrošenog UF_6 , koji se nazivaju „obogaćeni repovi“ koji moraju da se skladište prema propisanim merama za skladištenje kontaminiranog radioaktivnog otpada niskog stepena radioaktivnosti. Francuska godišnje proizvede oko 16,000 tona ovog otpada, a Rusija godišnje proizvede 200,000 tona. Ostatak od 15% koje izade kao obogaćeni uranijum se pretvara u keramičke pelete uranijum dioksida UO_2 koje se pakuju u cevi izrađene od legure cirkonijuma i zatim su zapakovane zajedno tako da formiraju gorivi štap koji se slaže u reaktorima.



Slika (6) Šematski prikaz nuklearnih šapova i šematski prikaz metoda podzemnog odlaganja istrošenog goriva.
1 donošenje, 2 obrada 3 automatizovano odnošenje 4 skladištenje u tunelima

³ Podatak o broju difuzionih faza je naveden iz publikacije izdate od strane Informativnog Centra za Uranijum 2007. godine, SAD

Procena je da se za standardno postrojenje nuklearne elektrane snage 1000 MW u toku jedne godine, potrebno je da obradi oko 200 tona prirodnog urana i u toku procesa dobijanja goriva materijal koji se koristi u reaktorima zahteva da se pređe oko 4000 km do mesta korišćenja, što se mora uzeti u obzir kao štetan efekat. Problemi koji mogu da se javi su, kontaminacija prostora za vreme vađenja rude urana, moguća kontaminacija usled havarija u odeljenjima za separaciju i problem oko skladištenja otpada pri preradi nuklearnog goriva u gorive elemente.

Konstrukcija nuklearne elektrane obuhvata sakupljanje materijala, transportovanje, oblikovanje materijala, kako bi se napravili generatori, turbine, rashladni tornji kontrolne sobe i druga infrastruktura za normalnu operaciju nuklearne elektrane. Nuklearna elektrana snage 1000 MW sadrži u sebi oko 85 km cevi, 1300 km kablova, hiljade električnih motora, provodnika, baterija, releja i drugih električnih komponenti potrebne za normalni rad automatizacije, koja sadrži desetostruki stepen zaštite. Rashladni sistemi sadrže ventile, odvode, ventilatore, vakuumske spojeve, sisteme zaptivanja i drugo. Pored ovih elemenata potrebno je obezbediti ozbiljne građevinske radove za zaštitu nuklearnog reaktora i kako ne bi došlo do izlivanja radioaktivnosti. Za pomenuti kapacitet nuklearne elektrane procenjeno je da je potrebno za pravljenje materijala: 32,000 tona čelika, 1363 tona bakra, 120,000 tona betona i još oko 85,000 tona drugog materijala. U proračunu oslobođenog CO₂ ili proračunavanjem štetnih efekata pri proizvodnji nuklearne energije potrebno je uzeti u obzir da je CO₂ oslobođen u procesu dobijanja elemenata. Za dobijanje 1 tone aluminijuma izdvaja se iz procesa oko 10,000 tona CO₂, u toku proizvodnje jedne tone litijuma izdvaja se oko 44,000 tona, a u procesu dobijanja srebra izdvaja se 913,000 tona CO₂.

Operativna faza pri proizvodnji električne energije u nuklearnom reaktoru, odnosi se na električnu energiju koja je potrebna da bi se reaktor hlađio, kao i energija koja je potrebna za održavanje procesa proizvodnje energije i za operaciju pomoćnih generatora. Indirektna upotreba dodatnih izvora energije van nuklearnog reaktora podrazumeva pauze u proizvodnje i isključenja reaktora. Proizvodnja energije se vrši usporavanjem izdvojenih neutrona, koji usporavaju u teškoj vodi i zagrevaju je. Ukoliko netroni udare u drugi atom urana-238 moguće je da u sudaru nastane novi fisibilni element plutonijum-239 koji takođe može da se javi kao gorivo. Nuklearni procesi u reaktoru klasičnog tipa mogu biti operativni od 30-40 godina, ali proizvode električnu energiju punim kapacetetom u periodu ne dužim od 24 godine. Ovaj period rada predstavlja razliku nuklearnih elektrana u odnosu na sisteme proizvodnje električne energije koji koriste OIE.

Zadnji deo nuklearnog ciklusa, obuhvata obradu istrošenog goriva, i stalno odabiranje otpadne materije. Istrošeno gorivo mora da se sačuva kako ne bi kontaminiralo spoljašnju sredinu i kako ne bi uticalo na novoformirano gorivo koje se postavlja. Radioaktivne nečistoće kao što su barijum ili kripton, zajedno sa transuranskim elementima, kao što su americijum i neptinijum, prekidaju proces dodavanja uranijumske reakcije. Nakon 3 do 4 godine rada jednog seta gorivih elemenata potrebno je da se promeni gorivo i da se ubace nove šipke gorivih elemenata. Potrošeno gorivo se zatim skladišti u individualnim bazenima vode pored reaktora i tu ostaju 10 godina, nakon čega se smeštaju u ogromne betonske kovčege kako bi bili vazduhom zapečaćeni i fizički zaštićeni. Tipičan betonski kovčeg može

da drži u sebi 20 do 24 istrošene gorive šipke, a šipke se nalaze u kovčegu u helijumskoj atmosferi kako bi se sprečila korozija. Nakon odlaganja kovčega u napušten rudnik, helijum apsorbuje zračenje od radioaktivnih raspada zagrevajući se, što se može iskoristiti kao dodatan izvor toplote, što na izlazu daje malu snagu toplotne energije. Helijum koji se nalazi u kovčegu sa radioaktivnim otpadom mora da se hlađi. Napušteni rudnici i geološka nalazišta moraju da obezbede sigurnost radi očuvanja celovitosti nuklearnih kovčega, kako ne bi radionukleidi došli u dodir sa okolinom, gde najveća opasnost leži u prodiranju podzemnih voda u prostorije gde su kovčezi odloženi i kako ne bi došlo do korozije tih kovčega, čime bi podzemne vode počele da razlivaju radioaktivne elemente. Zato se napušteni rudnici nakon odlaganja otpada zastakljuju i osiguravaju da voda ne uđe unutra, a helijum koji se koristi kao toplotni izvor struji u zatvorenom toku tako da se radioaktivnost ne prenese na radni fluid koji posle služi za generisanje električne energije.

Dekomisija – zatvaranje nuklearnog reaktora je zadnja faza ciklusa rada nuklearnog reaktora, kao što je i zatvaranje rudnika urana. Nakon perioda hlađenja, ovi procesi mogu trajati i do 50 – 100 godina, gde reaktori moraju biti razmontirani i razdvojeni u komade i kao i istrošeno nuklearno gorivo biti spakovani u kontejnere za odlaganje u napuštenim rudnicima. Očekivani period normalnog funkcionisanja nuklearnih elektrana je do 40 godina, dok proces dekomisije traje najmanje 60 godina i proces dekomisije zavisi od tipa reaktora i procena da je potrebno oko 50% energije da se kompletira dekomisija u odnosu na izgradnju same nuklearne elektrane.

Prema studijama koje su dale predpostavke o kvalitetu uranijumske rude koja se koristi u ciklusu nuklearnog goriva, napravljena je analiza da niskoobogaćene rude uranijuma sadrže manje od 0.01% „žutogkolača” i da ima bar deset puta manju koncentraciju u odnosu na visokoobogaćene rude, gde je potrebno 10 tona rude da bi se dobila 1kg „žutogkolača”. Samo u procesu vađenja rude uranijuma prema analizi oslobođa se 0.04 gCO₂/kWh, dok uranijum sa koncentracijom 0.013% oslobođaju 1500 puta veću koncentraciju CO₂ što je oko 67 gCO₂/kWh. U slučaju vađenja urana u otvorenim kopovima takođe imaju drugačije vrednosti oslobođenih štetnih materija, koje mogu biti povezane sa prečišćavanjem i vađenjem uranijuma, kao i sa emisijom jedinjenja koje služe za neutralizaciju hemijskih procesa. Emisija štetnih gasova pri kopanju rude urana, najviše zavisi od blizine energetskog izvora većeg obima, pa se sa smanjenjem blizine energetskog izvora smanjuje emisija štetnih jedinjenja.

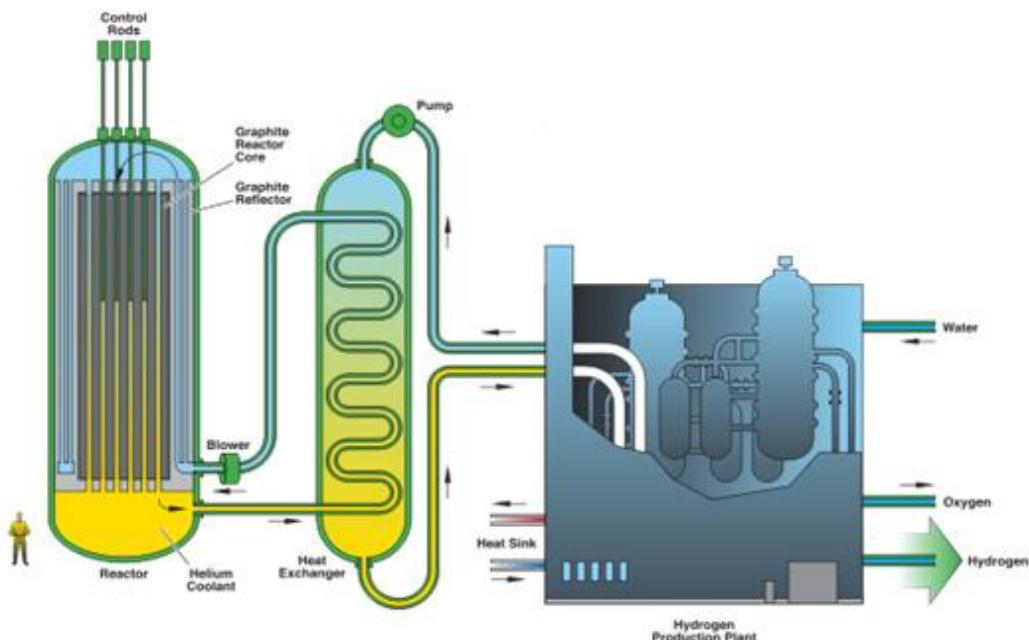
Budućnost upotrebe nuklearnih reaktora planira da se u narednih 100 godina koriste poboljšani nuklearni vodeni reaktori sa povećanim pritiskom čime bi se povećala efikasnost. Predviđa se upotreba brzo – oplodnih reaktora, koji će pretežno koristiti plutonijum i torijum. Nuklearni reaktori III generacije su pretežno zastupljeni u svetu, ali sa nesrećom u Fukušimi brojne zemlje koje koriste nuklearnu energetiku su odlučile da ubrzano izvrše promenu sa III na IV generaciju nuklearnih elektrana, pa će se cena komponenti nuklearnih rektora smanjivati kako se bude uvodila IV generacija u šиру komercijalnu upotrebu. Dodatan faktor za pojeftinjenje nuklearne energije je smanjenje pritiska za tražnju nuklearnog goriva, usled prebacivanja zemalja, kao što je Nemačka da se sa nuklearne energetike pređe na razvoj sistema OIE.

Podjela reaktora prema tipu, je da reaktori koji se koriste danas mogu da se podele u 30 različitih tipova dizajna, gde je najveći deo ovih nuklearnih reaktora je bazirano na vodenim reaktorima pod pritiskom i to 263 nuklearne elektrane. U SAD, Japanu i Švedskoj ukupno 92 nuklearne elektrane su tipa sa vodom koje ključaju, 38 nuklearnih elektrana se baziraju na teškoj vodi najveći broj je u Kanadi i 26 nuklearnih elektrana je bazirana na hlađenju gasom. Od najstarijih i najnebezbednijih tipova nuklearnih elektrana su 17 elektrana sa lakom vodom i grafitom kao moderatorom.

2.3. Generatori IV generacije – efikasnost nuklearnih reaktora

IV Generacija nuklearnih elektrana je novi tip dizajna nuklearnih reaktora koji se trenutno istražuju i očekuje se da komercijalna konstrukcija nuklearnih elektrana bude ostvarena od 2030. godine. Sadašnji koncept nuklearnih reaktora se smatra da su II ili III generacije i nova generacija nuklearnih reaktora se bazira na nizu tehnoloških ciljeva: da se unapredi nuklearna bezbednost, unapređenja otpornosti proliferacije, minimizacija otpada i smanjenje operativnih troškova nuklearnih elektrana.

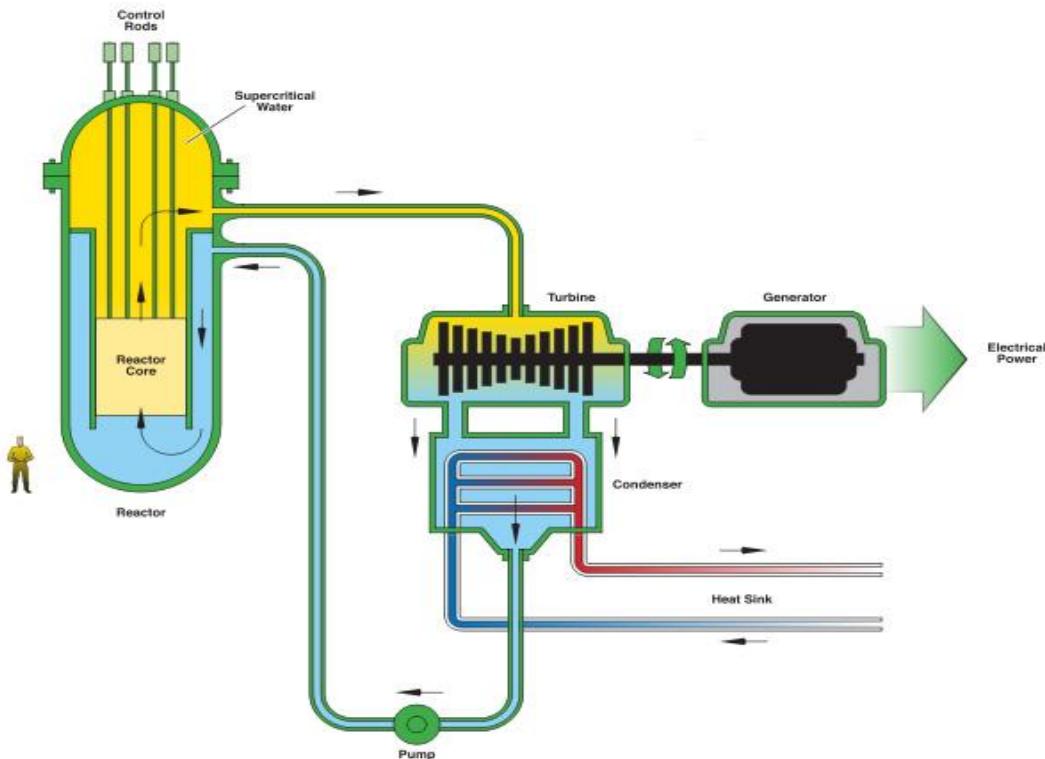
Najveći potencijal za razvoj nuklearnih reaktora je razvoj visokoefikasnih reaktora, sa visokom temperaturom. Ovaj reaktor sadrži moderator sa grafitom i po tipu da nuklearno gorivo jednom prolazi kroz reaktor, preko upotrebe helijuma ili otopljene soli, kao hladnjak. Temperaturni opsezi skladištenja su na temperaturama od 1000°C. Ovako visoka temperatura omogućava da se upotrebljena toplota primeni na vodonik, preko termohemijske reakcije jod – sumpor, što bi omogućila povećanje bezbednosti. Prva nuklearna elektrana IV Generacije sa visokom temperaturom najavljena je u Južno – afričkoj Republici, i značajna sredstva se ulažu radi istraživanja.



Slika (7) Šematski prikaz visokotemperaturskog nuklearnog reaktora IV generacije

Druga vrsta reaktora koja može da bude ključ razvoja IV Generacije nuklearnih reaktora može biti Superkritični vodeno hlađeni reaktor, sa vodom koja je na veoma visokim

temperaturama i pritiscima kao radni fluid. U suštini ovaj budući tip reaktora je baziran na lakoj vodi i sa ciklusom goriva koje prolazi jednom i očekivana termička efikasnost je 45% u odnosu na oko 33% efikasnosti drugih reaktora sa lakovom vodom. Na taj način se smanjuju operativni troškovi i nuklearni reaktori sa lakovom vodom su najviše izučeni i time su bezbedniji od ostalih koncepcata nuklearnih reaktora.



Slika (8) Šematski prikaz rada Superkritičnog vodeno hlađenog reaktora

Druge vrste tehnologije reaktora IV generacije se mogu ostvariti preko primene reaktora sa otopljenom soli i brzi reaktori koji se zasnivaju na hlađenju na gas GFR reaktor.

IV Generacija nuklearnih reaktora imaju prednosti:

- Nuklearni otpad, nakon odlaganja, koji je visokoradioaktivan ostaje radioaktivno samo nekoliko vekova umesto što je radioaktivno nekoliko hiljada godina,
- Predviđeno je da se dobija iz nuklearnog goriva daleko više energije, optimistične predpostavke predviđaju oko 100 veći stepen iskorišćenosti goriva,
- Mogućnost da se upotrebi nuklearni otpad, radi kasnije proizvodnje električne energije, dok je gorivo odloženo,
- Poboljšana operativna bezbednost

Napomenuti problemi sa radom na nuklearnim reaktorima IV Generacije je da se bezbednosni rizici uvećavaju, pošto nema puno iskustava na radu sa ovakvim reaktorima u operativnom ciklusu. Ipak, poboljšani automatizacioni sistemi mogu da kontrolišu operativni ciklus, čime će biti poboljšana bezbednost. Smanjenje bezbednosti se pretežno odnosi na mogućnost izrade pogrešnih modela za simulacije programa koji kontrolišu rad nuklearnih reaktora i koji sprečavaju situaciju akcidenta u reaktoru. Planovi pojedinih država o izgradnji IV generacije nuklearnih reaktora se zasnivaju na postupnom razvoju čime će se znanje o

novim tipovima reaktora razvijati. Sa razvojem topotnih akumulatora kod solara, što će biti napomenuto kasnije u radu moguće je da se poboljšaju metodi skladištenja toplote u nuklearnoj energetici. Simultan razvoj akumulacionih metoda toplotne energije smatra se da će biti izraženo u slučaju nuklearnih reaktora sa natrijumom koji se brzo hlađe. U slučaju havarije natrijum će se kombinovati sa vodom i argon koji je kao plemeniti gas će se koristiti da bi se sprečila oksidacija natrijuma, čime se smanjuje uticaj na životnu sredinu.

2.4. Prednosti i mane upotrebe nuklearne energije

Mnoge zemlje danas različito razmišljaju o nuklearnoj energiji, nakon nuklearnog akcidenta u Japanu – Fukušima, jer su zabrinute za mogućnost pojave izlivanja masivne količine radioaktivnosti iz nuklearnih reaktora, ukoliko dođe do fizičkih oštećenja, kao što je bilo usled cunamija, odnosno usled pojave zemljotresa. Najveći problem kod nuklearne energije je narušenje integriteta hlađenja reaktora, čime nastaje topljenje nuklearnog reaktora. Krajem maja 2011. godine Nemačka je zvanično objavila da napušta nuklearni program u roku od 11 godina, plan obuhvata isključivanje 6 nuklearnih elektrana koje su u martu 2011. bile isključene za testiranje i 2 su ostale isključene, koje su imale pauzu u proizvodnji usled tehničkih problema. Ostalih 9 elektrana će se postupno isključivati u narednom periodu od 11 godina. Cilj Nemačke je da se samo novije nuklearne elektrane ostave u radu, do njihove dekomisije. Radi unapređenja energetske situacije obnovljivih izvora energije neophodno je bilo da se investira u pokrivenost elektroenergetske mreže sa 20 milijardi EUR do 2015. godine. Sa povećanjem opterećenja na biomasu povećava se naknada za zemljište i povećava se opterećenje za energiju veta.

Datum i lokacija	Opis	Troškovi u US \$
17.12.1987. Biblis, Hesse	Zastoj ventila za stopiranje u elektrani, kontaminirana okolina u Biblisu	13,000,000
4.05.1986. Hamm – Uentrop Westphalia	Greška u zameni oštećenog gorivog štapa u Gasnom reaktoru, kontaminirano 4 km^2	267,000,000
13.01.1977. Gundremmingen, Bavarska	Prekid električnog kola, uzrokovalo je seriju operativnih grešaka, i nagomilalo pritisak u reaktoru i radioaktivna voda je mogla da napusti reaktor	Elektrana je potpuno oštećena
7.12.1975. Greifswald Istočna Nemačka	Električne greške uzrokuju požar u glavnoj kontrolnoj sobi i uništavaju kontrolne linije 5 linija za hlađenje	443,000,000

Tabela (8) Nuklearni akcidenti u Nemačkoj i nadoknada za nanetu štetu usled ovih akcidenta

Isključenja 6 nuklearnih elektrana 2011-te godine nisu ugrozila snabdevanje električnom energijom i Nemačka je i dalje ostala izvoznik električne energije sa izveženih 5TWh, što je smanjenje u odnosu na stepen izvoza od 17.2 TWh, a plan o gašenju nuklearnih elektrana nije ugrozio snabdevanje Nemačke sa električnom energijom. Sa povećanjem efikasnosti postojećih elektrana Nemačka je najveći zagovornik poštovanja Kjoto protokola. Mera ukidanja upotrebe nuklearne energije u periodu od 11 godina prema efektima košta oko 0.01EUR/kWh, odnosno ukupno oko 55 milijardi EUR u narednih 11 godina.

U Finskoj, Areva, kompanija koja je lider u proizvodnji opreme za korišćenje nuklearne tehnologije, na ostrvu Olkilouto u Baltičkom moru, predstavlja reper za investicionu procenu implementacije nuklearne tehnologije modernih nuklearnih raktora, gde je procenjeno da instaliranje 1600 MW nuklearnog reaktora da košta blizu 8 milijardi EUR. Povećanje troškova je povezano sa nepropisnim početnim odlaganjima nuklearnog otpada i

radi povećanja dostupnosti energenata, dolazi do uvećanja proizvodnih kapaciteta OIE u Finskoj. Takođe je Kina, shodno Nemačkom protivljenju nuklearnoj energiji, najavila smanjenje planiranog udela nuklearne energije početno planiranih 80 GW kapaciteta do 2020-te godine na 45 GW do navedenog perioda.

Prednosti nuklearne energije:

1. Pouzdanost – kao i drugi fosilni izvori goriva, kao što su ugalj, prirodni gas. Nuklearne elektrane, ukoliko nisu pod drastičnim situacijama nepredviđenih dešavanja rade bez prekida,
2. Niski troškovi goriva – ukoliko se računa po 1kWh, velike količine el.energije mogu da se dobiju u reaktorima po jedinici mase goriva, gde nuklearno gorivo ima najveću gustinu energije u odnosu na sve druge vidove energije i proizvodna cena električne energije za nuklearnu energiju je još niža poredeći sa ugljem ili prirodnim gasom,
3. Niski troškovi električne energije – cena nuklearne energije je 35 – 68 EUR/MWh, čineći ih konkurentne u odnosu na proizvodnu cenu el.energije uglja max. 42EUR/MWh. Srednja dužina rada nuklearnih elektrana je 40 godina, čineći ih profitabilnim u odnosu na dužinu perioda rada,
4. Smanjena emisija štetnih gasova – mali štetni efekti na životnu sredinu, ukoliko se ne računaju štetni efekti pri vadenju rude i procesima prilagođavanju goriva radu u nuklearnim elektranama,
5. Veliki faktor opterećenja – faktori opterećenja nuklearnih reaktora može biti i iznad 80% maksimalne snage, sa stalnim periodom rada, samo sa pauzama za periodično održavanje,
6. Veliki potencijal – razvoj nuklearne energetike daje mogućnost poboljšanog snabdevanja el.energijom sa razvojem IV Generacije reaktora, predpostavlja se da će doći do značajnog napredka u efikasnosti i sigurnosti. Proračuni razvoja nuklearne energije predviđaju učešće nuklearne energije u budućnosti od preko 12% udela.

Mane u upotrebi nuklearne energije:

1. Nuklearni akcidenti i izливанje radioaktivnosti – stalan strah od akcidenata nuklearnih elektrana usled problema u nuklearnim reaktorima. Verovatnoća za nuklearne akcidente se smanjuje unapređenjem mera bezbednosti. Tragedija u Fukušimi je primer da je zemljotres faktor koji može da fizički naruši bezbednost rada reaktora,
2. Odlaganje nuklearnog goriva – istrošeno nuklearno gorivo zahteva odlaganje koje je skupo. Visokoradioaktivno nuklearno gorivo koje je potrošeno, mora da se odlaže duboko u napuštene rudnike i da bude obezbeđeno prema zahtevanim propisima. Područja oko mesta gde se odlaže nuklearni otpad može biti potencijalno opasno stotinama godina nakon odlaganja, ali potencijalni problem su prodori podzemnih voda. Danas u svetu, postoji oko 430 lokacija, koje zadovoljavaju standarde za odlaganje nuklearnog otpada i gde se akumulira veća količina radioaktivnog nuklearnog goriva.
3. Niski stepeni radioaktivnosti od standardnih operacija – velike količine niske radioaktivnosti se javljaju u objektima standardne upotrebe, odeća, alat, sistemi za prečišćavanje vode, gde radioaktivnost dolazi od materijala koji se prenose od dekomisije nuklearnih reaktora i materijala od kojih su napravljeni sami nuklearni

- reaktori. Zato je bilo neophodno uvesti poboljšanje mera za monitoring radioaktivnosti i kod objekata koji nisu vezani za nuklearnu tehniku, što je slučaj prilikom uvoza,
4. Širenje nuklearnog oružja – zemlje koje koriste nuklearnu energiju, koriste upotrebu nuklearno gorivo da bi razvile nuklearno oružje, poput pitanja oko programa razvoja nuklearnog oružja u Iranu, preko ambicija za razvoj nuklearne energetike,
 5. Visoki kapitalni troškovi, visoki potrebni rezervni kapital i dugo vreme konzumiranja – vreme koje je potrebno da se napravi i osposobi nuklearni reaktor je od 5 do 10 godina, što dovodi do uvećanja investicionih troškova. U zemljama u razvoju, bezbednosne mere su dovele do smanjenja investicija u nuklearnu energetiku i gotovo da nema novoplaniranih proizvodnih objekata,
 6. Razvoj regulative – regulative i planovi za razvoj nuklearne energetike napravljene su da bi se savladali brojni rizici problema u upotrebi nuklearnih reaktora. Ovo drastično uvećava troškove generisanja nuklearne energije, što takođe vodi do dugog vremena za izgradnju nuklearne elektrane,
 7. Adekvatna spremnost operatera za rad u nuklearnoj elektrani, može da zahteva duži vremenski period za obuku operatera. Prema analizama iz 50-tih i 60-tih godina prošlog veka, na početku razvoja nuklearne energetike, da bi jedna zemlja koja počinje da koristi nuklearnu energiju dobila efikasno obrazovan kadar, potrebno je 12 godina obuke i rada osoblja,
 8. Opasnost od goriva – uranijum koji se koristi kao gorivo, je ograničen samo za određeni broj zemalja koje poseduju rude, gde određeni broj kompanija drži monopol na eksplotaciju, mesta eksplotacije do mesta upotrebe su veoma udaljena. Upotreba i transport je regulisano međunarodnim trgovinskim ugovorima.



Slika (9) Najveća nuklearna elektrana na svetu Kashiwazaki-Kariwa sa 5 x 1067 MW i 2 x 1315 MW nuklearnim reaktorima, tip reaktori III Generacije – Poboljšani reaktor baziran na ključaloj vodi ABWR reaktori

3. Sunčeva energija

3.1. Bilansi pri topotnoj transformaciji

Energetski gledano Sunčev zračenje se može iskoristiti na dva načina:

1. Korišćenje topotne energije Sunca koja se dalje transformiše u mehaničku, odnosno električnu energiju. Za pretvaranje Sunčevog zračenja u topotnu energiju koriste se kolektori, ili sistemi za topotnu akumulaciju.
2. Direktna konverzija Sunčeve energije u el. energiju. Energija Sunčevog zračenja može se neposredno transformisati u električnu energiju, pomoću solarnih ćelija.

Ukupna energija koja sa Sunca padne na Zemlju za godinu dana iznosi oko $16 \cdot 10^{17}$ kWh, što je izuzetno veliki potencijal, ali je gustina energije mala oko 1000 W/m^2 . Gustina energije sunčevog zračenja, zavisi od niza faktora: sleda dana i noći, atmosferskih prilika, geografskog položaja itd. pa je bez obzira na gornju cifru od 10^{17} kWh Sunce je ograničen izvor energije. Sunce je veoma značajan kao alternativan – Obnovljiv Izvor Energije (OIE). Cilj upotrebe sunčeve energije je da se omogući povećanje gustine energije upotreboru tehničkih mera i neophodno je iskoristiti dodatne tehnike za efikasno skladištenje topotne energije, kako bi se sunčeva energija koristila kada je najpotrebnija, a to su zimski meseci i u toku noći. Neki od najznačajnijih podataka za Sunce su:

- Efektivna temperatura Sunca je $T_s = 5870 \text{ K}$,
- Vidni ugao, odnosno ugao pod kojim se Sunce vidi sa Zemlje $2\alpha = 32^\circ$
- Rastojanje Sunca i Zemlje je $1 \approx 150 \cdot 10^6 \text{ km}$,
- Prečnik Sunca $d_s = 1.39 \cdot 10^6 \text{ km}$,
- Prečnik Zemlje $d_z = 12700 \text{ km}$,
- Vrednost emisivodstvi Sunca $L = 3.86 \cdot 10^{26} \text{ J s}^{-1}$

Sa jedinice površine u jedinici vremena Sunce izrači energiju, prema kvantnoj fizici, dato sa Štefan – Boltzmanovim zakonom, pri čemu se izrači energija u vrednosti od:

$$E_s = \sigma \cdot T_s^4 = 6.33 \cdot 10^4 \text{ kW m}^{-2} \quad (28)$$

Ukupna količina energije koja padne na spoljnu površinu atmosphere u jedinici vremena je, pri čemu je zadatoj formi:

$$q'_\beta = \frac{d_s^2}{4 \cdot l^2} \cos \beta \cdot E_s = 1380 \cdot \cos \beta \text{ W m}^{-2} \quad (29)$$

Solarna konstanta je količina Sunčeve energije koja svake sekunde padne na 1 m^2 Zemljine površine. Pod uslovom da je vrednost $\cos \beta = 1$ u tom slučaju je solarna konstanta je 1380 W m^{-2} . Solarna konstanta se manja u zavisnosti od položaja Zemlje u odnosu na Sunce, za oko 2% i zato se uzima da je vrednost solarne konstante od 1300 do 1400 W m^{-2} . Prolazeći kroz atmosferu do površine Zemlje, deo Sunčeve energije se troši u hidrauličnom ciklusu Zemlje, što je isparavanje, vetrovi, strujanje vodenih masa, itd. Deo energije se apsorbuje u atmosferi, a deo se reflektuje, a ostatak dospeva na Zemlju i u principu predstavlja energiju koja se može iskoristiti.

Bilans Sunčeve energije pri prolasku kroz atmosferu Zemlje može se prikazati i procentualno:

- 47% se apsorbuje u atmosferi,
- 30% se reflektuje,
- 23% odlazi na hidraulični ciklus,
- 0.02% odlazi u proces fotosinteze.

Kako je srednji koeficijent apsorpcije atmosfere $\bar{\alpha}_{\text{atm}} = 0.275$, na površinu Zemlje dospeva samo 1000 W/m^2 , ili ukoliko računamo ugao pod kojim pada sunčev zrak:

$$q_{\beta} = 1000 \cdot \cos \beta \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (30)$$

Može se reći da je gustina protoka sunčevog zračenja na površini Zemlje oko 1 kW/m^2 . Stoga, uređaji koji proizvode energiju od sunčevog zračenja moraju obuhvatiti što veću površinu i kako bi se nesmetano proizvodila energija iz ovog vida alternativnog izvora energije potrebno je da se uređaji tako usmeravaju da su pod uglom od 90° stepeni u odnosu na upadni pravac sunčevog zračenja.

Takođe, spoljašnja temperatura ima određeni uticaj na bilans energije dobijen od Sunčevog zračenja. Ukoliko je T_0 temperatura okoline, u tom slučaju je eksergija Sunčevog zračenja u zemaljskim uslovima iznosi:

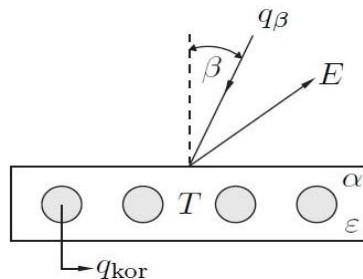
$$e_{\beta} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \cdot q_{\beta} = 0.95 \cdot q_{\beta} \quad (31)$$

Ova vrednost predstavlja maksimalno mogući iskoristivu energiju od Sunca u idealnim uslovima. Realno, zbog nepovratnosti nekih procesa u energijskim transformacijama vrednost eksergije je još manja.

3.1.1. Energijski i eksergijski bilansi pri toplotnoj transformaciji Sunčevog zračenja

Toplotna energija Sunca koja posredstvom zračenja dolazi na Zemlju može se transformisati u solarnim kolektorima. U idealnom slučaju kolektor je absolutno crno telo, ne postoje gubici zbog toplotne provodljivosti, a jedini gubici su usled zračenja kolektora.

Na slici 10 je prikazan kolektor, gde je T temperature kolektora koje je ista u svim tačkama, q_{kor} - predstavlja deo energije koje se kao korisna odvodi iz kolektora, a E je energijski gubitak usled zračenja. Ova slika je grubi prikaz rada cevnih solarnih kolektora, ili solarnih kolektora sa vakuumskom cevi.



Slika (10) Poprečni presek sistema solarnog kolektora ili sistema vakuumskih cevi

Energijski bilans kolektora je:

$$q_{\beta} = q_{kor} + E = q_{kor} + \sigma \cdot T^4 \quad (32)$$

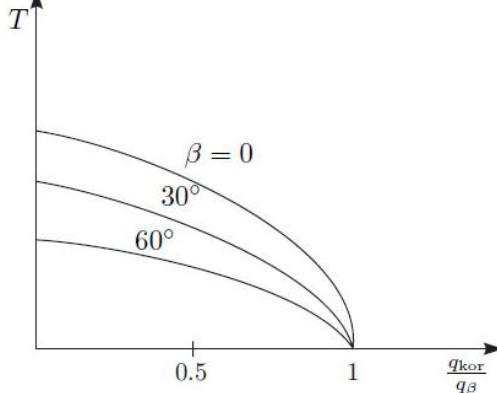
$$T^4 = \frac{q_{\beta} - q_{kor}}{\sigma} = \frac{q_{\beta}}{\sigma} \left(1 - \frac{q_{kor}}{q_{\beta}} \right) \quad (33)$$

Srednja temperatura kolektora je:

$$T = \sqrt[4]{\frac{1000 \cdot \cos \beta}{\sigma} \cdot \left(1 - \frac{q_{kor}}{q_{\beta}} \right)} \quad (34)$$

Maksimalna temperatura T_{max} se postiže ukoliko je odnos $\frac{q_{kor}}{q_{\beta}} = 0$, tj. u praznom hodu kada nema odvođenja toplice iz kolektora, pa je koeficijent korisnog dejstva jednak nuli.

Na sledećem grafiku prikazana je zavisnost temperature kolektora od odnosa $\frac{q_{kor}}{q_{\beta}}$ za tri različita ugla zračenja. Prema odnosu ovih vrednosti se može naći idealna pozicija i ugao solarnih kolektora postavljenih na krov.



Slika (11) Zavisnost temperature kolektora od odnosa $\frac{q_{kor}}{q_{\beta}}$ za različite upadne uglove zračenja

Ukoliko su T_0 i T_s temperatura okoline i temperatura Sunca, u tom slučaju su eksergije:

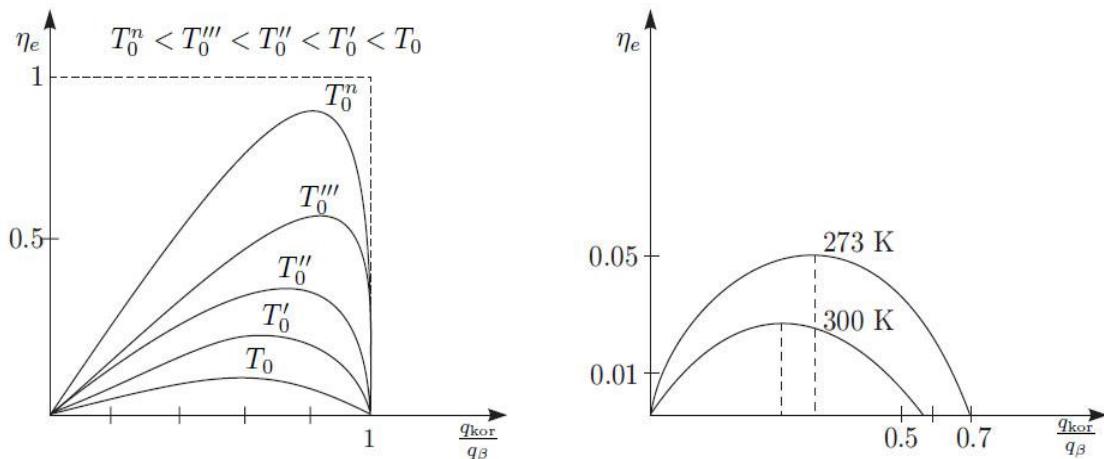
$$e_{\beta} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \cdot q_{\beta} \text{ eksergija za Sunce} \quad (35)$$

$$e = \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \cdot q_{kor} \text{ eksergija za kolektor} \quad (36)$$

Kako je $T < T_s$, to se može izraziti da je odnos $1 - \frac{T_0}{T} < 1 - \frac{T_0}{T_s}$, pri čemu je

$\Delta e = e_{\beta} - e > 0$. Odатле je eksergijski koeficijent korisnog dejstava je:

$$\eta_e = \frac{e}{e_{\beta}} = \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \cdot q_{kor}}{\left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \cdot q_{\beta}} \quad (37)$$



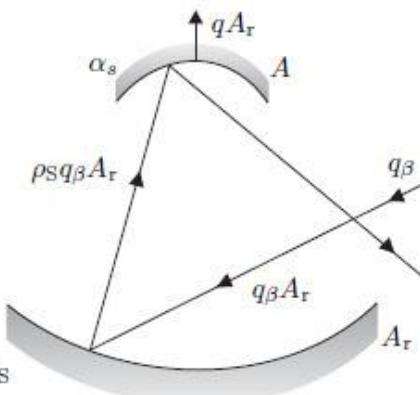
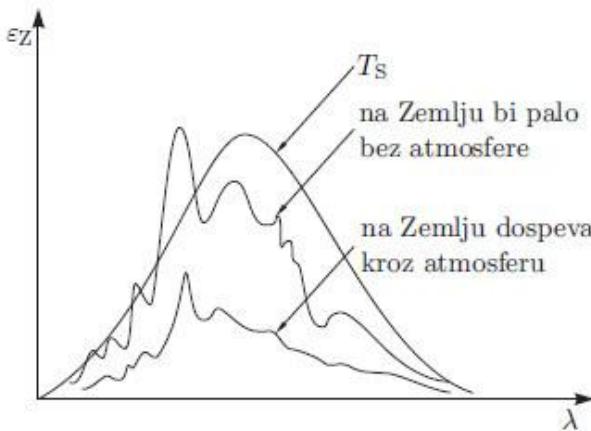
Slika (12) Koeficijent korisnog dejstva u zavisnosti od $\frac{q_{\text{kor}}}{q_{\beta}}$ za različite vrednosti temperature T_0

Sa grafika se može videti da ukoliko je $\frac{q_{\text{kor}}}{q_{\beta}} = \max$, tada se minimalna količina energije emituje u okolinu, kolektor je u tom slučaju u termodynamičkoj ravnoteži sa okolinom, odnosno $T = T_0$, pa je i stepen korisnog dejstva $\eta_e = 0$. Ukoliko bi se temperatura T_0 znatno snizila tada se η_e povećava. Primer u uslovima međuzvezdanog prostora gde je temperatura Svetlinskog Sunca $T_0 \approx 3 - 5 \text{ K}$ tada stepen korisnog dejstva brzo dostiže vrednost koja je veoma bliska jedinici i stoga zvezde mogu da imaju osobinu crnog tela.

Realni kolektori nemaju osobinu crnog tela, pa je koeficijent refleksije $\alpha < 1$ i emisioni koeficijent je u tom slučaju $\varepsilon < 1$, što treba uzeti u obzir bilansiranju energije u slučaju solarnih kolektora.

3.1.2. Energetski bilansi pri apsorpciji na selektivnoj površini

U realnim uslovima kolektor nije crno telo, pri čemu je koeficijent refleksije $\alpha < 1$ i emisioni koeficijent je $\varepsilon < 1$, a i zračenje Sunca nije ravnotežno, jer Sunce nije crno telo, pogotovo onaj deo koji dospeva na Zemlju, prošavši kroz atmosferu. Zato, za izradu kolektora, treba koristiti materijale sa selektivnim osobinama u pogledu apsorpcije i emisije zračenja. Za apsorpciju se biraju materijali koji imaju veliki koeficijent apsorpcije i malim emisionim koeficijentom, a za refleksione površine obrnuto. Izbor materijala kod solarnih kolektora zavisi i od dostupnosti materijala i cene izrade, zato je potrebno napraviti odgovarajuć odnos između cene izrade i efikasnosti.



Slika (13) Koeficijent apsorpcije u zavisnosti od talasne dužine; Slika (13) Presek sistema reflektor – kolektor
opšti princip rada solarnih kolektora

Ukoliko su A_r i A površine reflektora i kolektora, a ρ_s i α_s su refleksioni i apsorpcioni koeficijenti reflektora i kolektora, u tom slučaju je:

- $q_\beta A_r$ - energija koja padne na površinu A_r reflektora,
- $\rho_s q_\beta A_r$ - energija koja se reflektuje u pada na kolektor,
- $\alpha_s \rho_s q_\beta A_r$ - energija koju apsorbuje kolektor,
- $(1 - \alpha_s) \rho_s q_\beta A_r$ - energija koja se reflektuje od kolektora,
- $q A_r$ - korisna energija.

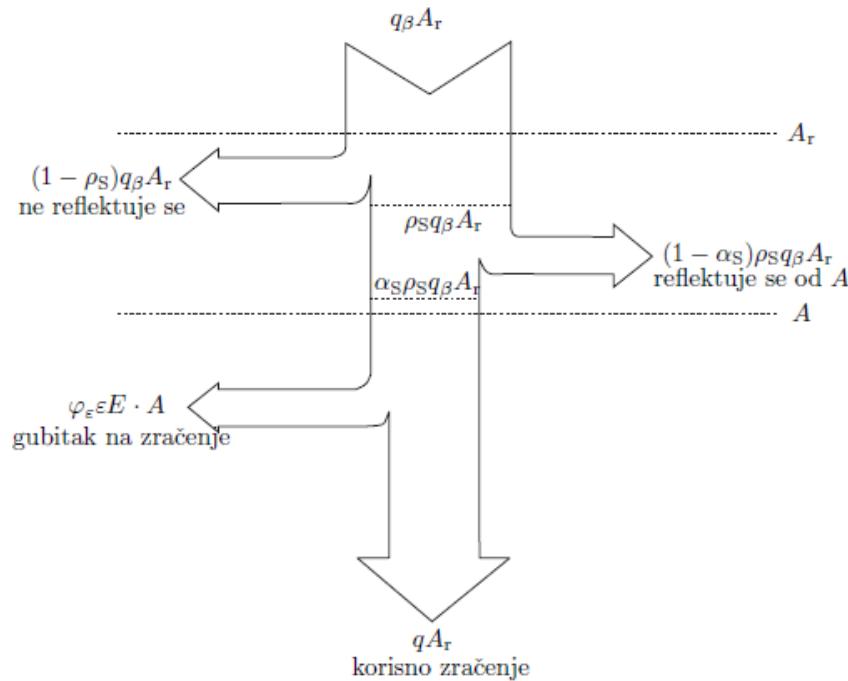
Energijski dijagram sistema reflector – kolektor prikazan je na sledećoj slici. Kolektor je zagrejan do temperature T , sa emisionim koeficijentom ϵ , emitovaće u okolini iznos energije koji je $\varphi_\epsilon \cdot E \cdot A$ što se koristi u obliku $E = \sigma T^4$, pri čemu je φ_ϵ je geometrijski faktor zračenja kolektora, uveden po analogiji sa odgovarajućim faktorom za Sunce, pa je bilans energije na kolektoru:

$$\alpha_s \cdot \rho_s \cdot q_\beta \cdot A_r = \epsilon \cdot \varphi_\epsilon \cdot E \cdot A + q \cdot A_r \quad (38)$$

$$E = \sigma T^4 = \frac{\alpha_s \cdot \rho_s \cdot q_\beta \cdot A_r - q \cdot A_r}{\varphi_\epsilon \cdot \epsilon \cdot A} \quad (39)$$

$$E = \sigma T^4 = \frac{A_r}{A} \cdot \frac{\alpha_s \cdot \rho_s}{\varphi_\epsilon \cdot \epsilon} q_\beta \left[1 - \frac{q}{q_\beta \alpha_s \cdot \rho_s} \frac{1}{A_r} \right] \quad (40)$$

$$E = \sigma T^4 = \frac{A_r}{A} \cdot \frac{\alpha_s \cdot \rho_s}{\varphi_\epsilon \cdot \epsilon} (1 - \alpha_{atm}) \sigma T_s^4 \varphi_s \left[1 - \frac{q}{q_\beta \alpha_s \cdot \rho_s} \frac{1}{A_r} \right] \quad (41)$$



Slika (14) Energtski dijagram za sistem reflektor-kolektor

Dakle, dobija se sledeće:

$$T = f\left(T_s, \frac{q}{q_\beta} \frac{1}{\alpha_s \cdot \rho_s}\right) \quad (42)$$

$$T = T_s \sqrt[4]{\frac{A_r}{A} \frac{\alpha_s \cdot \rho_s}{\varphi_\epsilon \cdot \epsilon} (1 - \alpha_{atm}) \left(1 - \frac{q}{q_\beta} \frac{1}{\alpha_s \cdot \rho_s}\right)} \quad (43)$$

$$T = T_s \sqrt[4]{\frac{\varphi_s}{\cos \beta} (1 - \alpha_{atm})} \sqrt[4]{\frac{A_r}{A} \frac{\alpha_s \cdot \rho_s}{\varphi_\epsilon \cdot \epsilon} \left(1 - \frac{q}{q_\beta} \frac{1}{\alpha_s \cdot \rho_s}\right) \cos \beta} \quad (44)$$

T je funkcija od geometrijskih odnosa i osobnosti površina reflektora A_r i kolektora A. Zbog selektivnih apsorpcionih osobina atmosfere i geometrijskih parametara, odnosno osobina kolektora, zato se uvođe korigovane temperatura Sunčevog zračenja T_m , koja predstavlja temperaturu okoline:

$$T_m = T_s \sqrt[4]{\frac{\varphi_s}{\cos \beta} (1 - \alpha_{atm})} \quad (45)$$

Pri tome je vrednost korigovane temperature je:

$$T_m = \begin{cases} 395K, & \text{za } \alpha_{atm} = 0 \\ 365K, & \text{za } \alpha_{atm} = 0.275 \end{cases} \quad (46)$$

Ukoliko se uvede dimenzioni protok – x, onda se može formulisati:

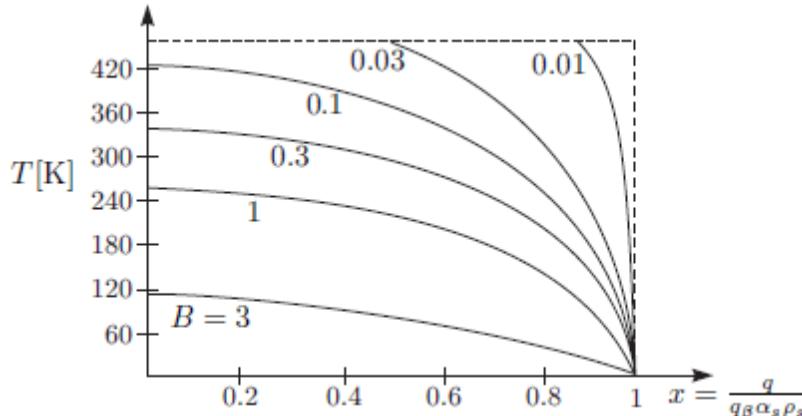
$$x = \frac{q}{q_\beta} \frac{1}{\alpha_s \cdot \rho_s} \quad (47)$$

Ukoliko je $x=0$ za nulto opterećenje, kada je koristan topotni protok =0, a ukoliko je $x=1$ za apsolutno crno telo.

U tom slučaju temperatura kolektora ima oblik:

$$T = T_m \left[\frac{1-x}{B} \right]^{\frac{1}{4}} \text{ i gde je koeficijent } B = \left[\frac{A_r}{A} \frac{\alpha_s \cdot \rho_s}{\varphi_e \cdot \epsilon} \cos \beta \right]^{-1} \quad (48)$$

Veličina B, se menja u zavisnosti od konstrukcionih rešenja i praktično zavisi od odnosa A_r/A temperatura T raste sa smanjenjem B, čime se povećava iskoristivost, a snižava se sa povećanjem vrednosti x. Temperatura kolektora dostiže maksimum pri nultom opterećenju kolektora, odnosno pri $x = 0$, odnosno doveću uopšte temperatura se smanjuje sa povećanjem vrednosti x.



Slika (15) Zavisnost temperature kolektora T od protoka x pri različitim vrednostima B i kada je $\cos \beta = 1$

3.1.3. Eksergijska analiza solarne energije

Za analizu uticaja osobina reflektora i kolektora na ukupan koeficijent korisnog dejstva, tada je korisno da se uvede redukovani koeficijent korisnog dejstva relacijom:

$$z = \frac{\eta_e}{\alpha_s \rho_s} = \frac{T_s}{T_s - T_0} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \cdot x \quad (49)$$

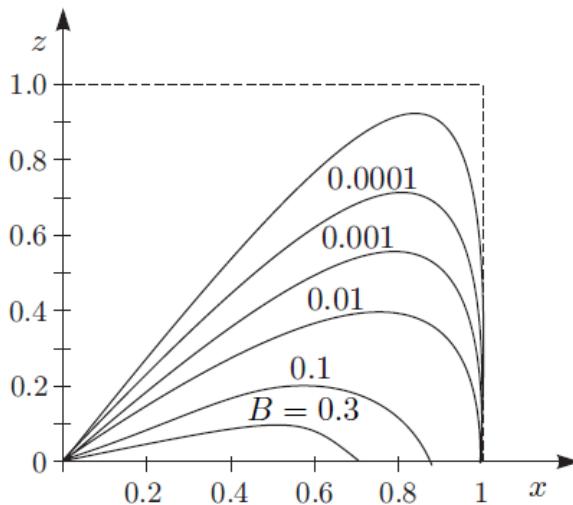
Odakle se može napraviti smena da je $T = T_m \left[\frac{1-x}{B} \right]^{\frac{1}{4}}$ odnosno da je $x = 1 - B \left(\frac{T}{T_m} \right)^4$,

pa se zamenom u gornjoj jednačini može dobiti osnovni oblik:

$$z = \frac{T_s}{T_s - T_0} \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \cdot \left[1 - B \left(\frac{T}{T_m} \right)^4 \right] \equiv f(T) \quad (50)$$

$$z = \frac{T_s}{T_s - T_0} x \left(1 - \frac{T_0}{T_m} B^{\frac{1}{4}} (1-x)^{-\frac{1}{4}} \right) \equiv f(x) \quad (51)$$

U predhodnim jednačinama z predstavlja redukovani eksergijsku efikasnost u funkciji od x i dato je na sledećem grafiku. Za male vrednosti B iskoristivost je veća, ukoliko je odnos između površine reflektora i kolektora se pravi što je moguće većim. Nalaženjem prvog izvoda funkcije $z = f(x)$ mogu se odrediti optimalne vrednosti veličina za najveći eksergijski koeficijent korisnog dejstva i dobiti maksimalna iskoristivost.



Slika (16) Zavisnost redukovane eksergijske efikasnosti z od protoka x za različite vrednosti B

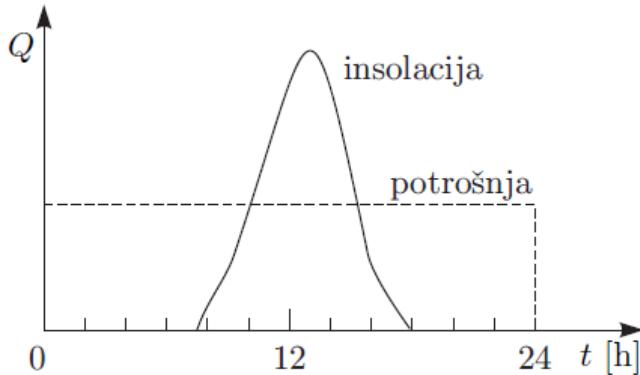
3.2. Skladištenje Solarne energije

Osnovni problem pri upotrebi Sunčeve energije je neravnomernost protoka energije u odnosu dnevno – noćne i sezonske promene potrebne vrednosti energije. Ukoliko se grafički prikaže odnos između potrošnje i proizvodnje energije u procesu korišćenja Solarnih kolektora ili u slučaju fotonaponske konverzije za period od 24 časa, može se uočiti izvesna razlika u odnosu prinosa energije. U periodu od oko 14 h insolacija pokazuje izraziti maksimum, dok je potrošnja približno konstanta, te je stoga Sunčevu energiju neophodno skladištiti. Sunčeva energija koja nije dostupna u toku noći i zimi usled niske temperature i malog prinosa sunčevih zraka neophodno je da se skladišti, kako bi bila stalno dostupna 24 časa u toku dana, 365 dana u godini. Načini skladištenja mogu biti:

- Toplotni – klasičan toplotni rezervoar i skladištenje latentnom toplotom,
- Hemijski – skladištenje toplotne energije u hemijskim vezama i izmeni osobina,
- Termohemijski – spada i adsorpcija i
- Mehanički

Kriterijum za izbor metoda i tehnika za skladištenje zavise od vida energije, koji se posle koristi, nivoa potrošnje i varijacije u odnosu potrošnju energije, temperature i vremena skladištenja, a izbor materijala za skladištenje zavisi od:

- Gustine energije skladištenja (J/m^3 ili se može izraziti J/kg , ili kWh/m^3 , kWh/kg),
- Temperaturnog intervala ($T_{\text{skladištenja}} - T_{\text{na kojoj se E koristi}}$),
- Prisutnosti reverzibilnosti procesa,
- Toplotne provodljivosti,
- Toksičnosti, korozivnosti i cene



Slika (17) Raspored insolacije i potrošnje energije u toku dana

tečni rezervoari –toplotni metod	latentni rezervoari metod faznih prelaza	hemski rezervoari hemski metod skladištenja
110 MJ/m ³	250 MJ/m ³	500 – 3000 MJ/m ³
31 MJ/m ³	70 MJ/m ³	140 – 830 kWh/m ³

Tabela (9) uporedne vrednosti potencijala skladištenja toplote za pojedine metode skladištenja toplotne energije

Faktori koji su bitni za pravljenje tečnog – klasičnog toplotnog rezervoara:

- Odabir tečnosti prema vrednosti toplotnog kapaciteta
- Prema zapremini rezervoara, rastvarača tečnosti i veličini zemlje potrebnih da bi se napravio sistem za skladištenje

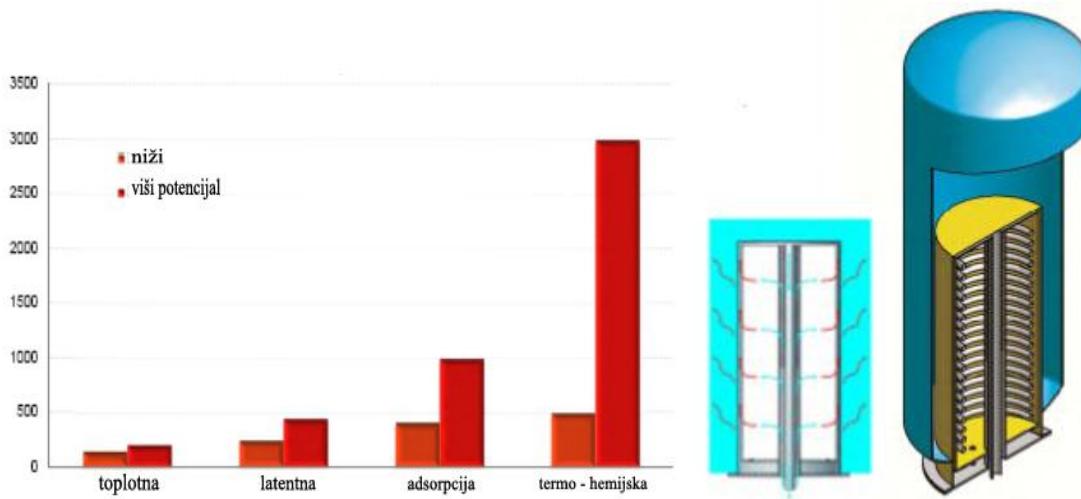
Latentni metod skladištenja toplote:

- Način skladištenja toplote, fazni prelazi (topljenje, isparivanje i kristalizacija)
- Supstance koje se koriste: voda, organska ili neorganski PCM supstance

Adsorpciono i hemijsko skladištenje toplote:

- Način skladištenja toplote, fizičko skladištenje (adhezija) ili hemijsko vezivanje (metodom reakcione entalpije)
- Adsorpcija i adsorpcija i hemijska reakcija

Količina toplote koja može da se skladišti prema različitim metodama, pokazuju da je najveći potencijal skladištenja energije je za termo – hemijskoj metodi skladištenja toplotne energije koja može dostići do 3000 MJ/m³.



Slika (18) Dijagram potencijala skladištenja toplotne energije MJ/m³ za pojedine metode skladištenja u zapremini toplotnog rezervoara. Slika desno pokazuje šemu toplotnog rezervoara

Metodi za unapređenje količine toplote koja je akumulirana u sistemima je da se nađu bolji materijali, unapređenje postojećih karakteristika preko istraživanja posebnih uslova za upotrebu i smanjenje gubitaka pri skladištenju. Ovo zahteva intenzivna istraživanja na poljima fizike materijala, hemije i tehnologije.

3.2.1. Toplotni metodi skladištenja Solarne energije

Jedan od načina skladištenja Sunčeve energije je toplotni metod. Zagrevanjem čvrstih ili tečnih tela masene količine toplote, odnosno koeficijenta specifične topline c , do temperature od $T = T_0 + \Delta T$ pri čemu je T_0 temperature okoline, u tom slučaju skladišti se količina topline koja je:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (52)$$

Kako je masa proizvod gustine i zapremine dobija se:

$$Q = c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T \quad (53)$$

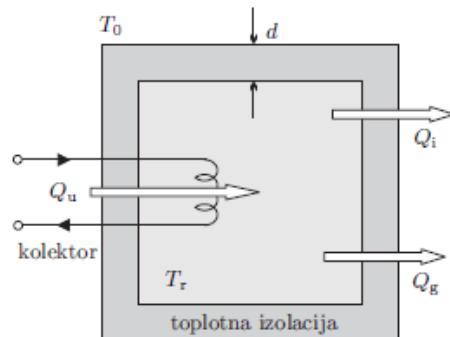
Može se iz predhodne relacije zaključiti da je sa povećanjem vrednosti specifičnog toplotnog kapaciteta, da je potrebna manja zapremina materijala za skladištenje, što upućuje da je proces skladištenja efikasniji i jeftiniji. Zato se i biraju materijali sa što većim vrednostima proizvoda $c \cdot \rho$. Ovi materijali se move osobine moraju imati i što je moguće veći koeficijent toplotne provodljivosti λ , kako bi brzina skladištenja i brzina korištenja energije iz toplotnog rezervoara bila dovoljno velika. Ukoliko se i ove veličine unesu u jednačinu dobija se složenija relacija za količinu topline, koja je uskladištena u rezervoaru:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{\tau} \quad (54)$$

Relevantne osobine materijala za skladištenje topline					
Materijal	ρ	c	$c \cdot \rho$	λ	osobine
Voda	$1 \cdot 10^3$	4.19	4.2	0.9	Korozivan, sa malim λ
Kamen	$2.2 \cdot 10^3$	0.84	1.8	2.5	
Gvožđe	$7.6 \cdot 10^3$	0.46	3.5	47	Korodira i skupo

Tabela (10) Relevantne osobine materijala za skladištenje topline

Voda se najčešće koristi jer ima veliku vrednost $c \cdot \rho$ jeftin je medijum, netoksična i nezapaljiva. Problemi kod vode su korozivno dejstvo, kao i niska tačka ključanja i mržnjenja. Uobičajen oblik izvođenja rezervoara za skladištenje toplote ovim metodom prikazano je na sledećoj slici



Slika (19) Grub šematski prikaz procesa skladištenja topline za rezervoar određene debljine

Usled izolacije rezervoara postoje toplotni gubici, koji su dati sa opštim obrascem:

$$Q = k_r A_r (T_r - T_0) \quad (55)$$

- $k_r = \frac{\lambda}{d}$ vrednost koeficijenata gubitaka u materiji,
- T_r - temperatura rezervoara,
- T_0 - temperatura okoline.

Koeficijent gubitaka za staklenu vunu iznosi $k_r = 1.9 \frac{W}{K \cdot m^2}$. Staklena vuna je predstavljala standardni materijal za toplotnu izolaciju. Ukoliko se računa i vrednost brzine razmene topline u rezervoaru, pri čemu se vrši smanjenje vrednosti T_r u tom slučaju važi:

$$\frac{dQ_r}{dt} = Q_u - Q_i - Q_g \quad (56)$$

Ukoliko se razvije diferencijalna vrednost onda se dobija:

$$m_r c_r \frac{dT_r}{dt} = Q_u - Q_i - k_r \cdot A_r (T_r - T_0) \quad (57)$$

Od koeficijenata napomenutih na slici rezervoara:

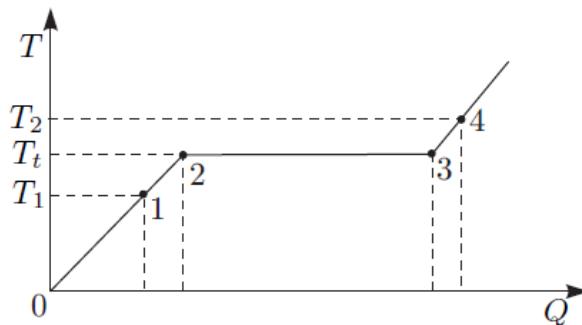
- Q_r - količina topline u rezervoaru,
- Q_u - dovedena količina topline,
- Q_i - odvedena toplota i
- Q_g - predstavljaju navedeni gubici

3.2.2. Skladištenje toplotne energije faznim prelazima

Drugi način skladištenja toplotne energije zasniva se na korišćenju faznih prelaza. Toplota se skladišti u procesu zagrevanja (1-2), topljenja (2-3) i daljeg zagrevanja tečne faze (3-4). Ukupna količina koja se ovim metodom uskladi pri čemu iznosi:

$$Q = m \int_{1(T_1)}^{2(T_2)} C_1(T) dT + mL + m \int_{3(T_3)}^{4(T_4)} C_2(T) dT \quad (58)$$

Pri čemu je L – latentna toplota topljenja. Odvođenjem toplotne rastop se hlađi i očvršćava, oslobađajući količinu toplotne energije brojno jednaku površini ispod krive 1,2,3,4 na T , Q dijagramu.



Slika (20) Dijagram faznih prelaza

Sva čvrsta tela sa velikom latentnom toplotom topljenja L i pogodnom temperaturom topljenja se mogu koristiti kao radna supstanca za ovaj metod skladištenja. U slučaju parafina, latentna toplota topljenja je $L=180 \text{ kJ kg}^{-1}$, a za Glauberovu so vrednost je $L=250 \text{ kJ kg}^{-1}$. Glauberova so je veoma pogodna jer nije korozivna i u odnosu na latentnu toplotu vode može da skladišti 2.5 puta više toplotne energije po 1m^3 . Danas postoje daleko savršeniji sistemi za skladištenje toplotne energije, koji se baziraju na međumolekulskim silama i koji postižu gubitke koji su manji od 10% za celokupnu godinu skladištenja.

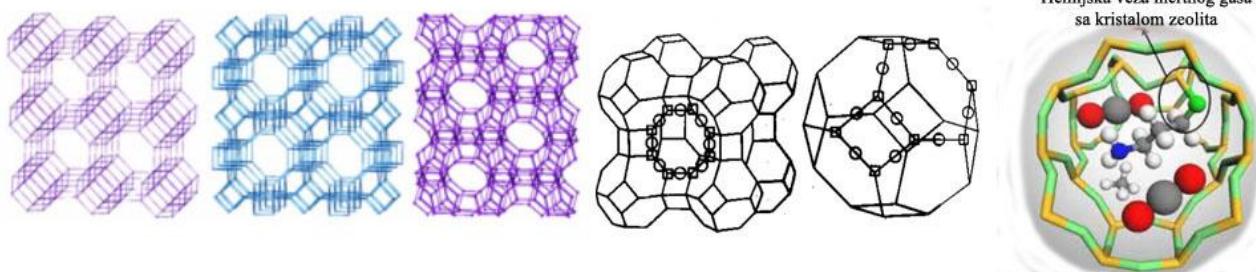
Treći način za skladištenje toplotne energije je termoheminski i zasniva se na velikim vrednostima toplotne rastvaranja nekih hemijskih jedinjenja, kao što su KNO_3 , NaNO_3 , Glauberovu so i druge supstance. Dovođenje toplotne u zasićen rastvor dovodi do porasta temperature, čime rastvor postaje nezasićen i rastvara dodatnu količinu soli, pri čemu apsorbuje dodatnu količinu toplotne energije. Hlađenjem se kristalizuje i oslobađa vezana toplota u odnosu na oslobođenu količinu energije $Q = \Delta H$. Ovim metodom skladištenja se oslobađa energija koja je za oko 30% veća u odnosu na H_2O .

Solarna energija se u Solarnoj elektrani može skladištiti u formi istopljenih soli, koje su efikasan medijum, jer imaju visok toplotni kapacitet i imaju visok specifičan toplotni kapacitet. Solar Dva solarna elektrana koristi sistem soli koje se tope da se izdvoji toplota kada je potrebno iskoristiti uskladištenu energiju u iznosu od 1.44 TJ, što je uskladišteno u rezervoaru koji je zapremine 68m^3 , što je dovoljno da uskladišti navedenu količinu energije za 40 sati, sa stepenom gubitaka od 1%.

3.2.3. Metod adsorpcije – korišćenje adhezione sile

Novi metodi za skladištenje toplotne energije se zasnivaju na kombinovanju adhezionih sila gasova u odnosu na čvrstu supstancu koja je porozna. Korišćenje adhezionih sila za skladištenje toplotne energije ima izračunate vrednosti potencijala skladištenja energije od 140 do 830 kWh/m³. Veoma dobri rezultati za skladištenje toplotne energije se ostvaruju upotrebom molekularnih adhezionih sila inertnih gasova, sa površinama poroznih čvrstih materijala, kao što su silikonski gel i zeolitski kristali. Adsorpcija se vrši na poroznim kristalima preko mešanja sa fluidima NH₃, LiCl i LiBr.

Radi efikasnog skladištenja toplotne energije, potrebno je da se molekuli gasa vežu za poroznu strukturu kristala, gde je toplotna energija vezana pri spajanju molekulske strukture čvrste faze sa molekulima fluida. Zeolitski kristali se sastoje od AlO₂ i SiO₂ kombinovani sa metalnim atomima, gde organizovana struktura ima porozni oblik i u odnosu na molekule gasa može da se vrši efikasna adsorpcija na molekularnom nivou. Odabirom vrste **zeolitskih kristala** moguće je da se vrši selekcija adsorpcione površine što zavisi od veličine rešetke, a veoma jaka sila koja se javlja između molekula kristala i molekula gasa u poroznoj strukturi omogućava da se pri ovom procesu apsorbuje velika količina toplote. Zeoliti su mikroporozni aluminosilikatni minerali, koji se koriste kao adsorbenti. Porozna struktura može da primi veliki broj katjona i veći broj pozitivno nakelektrisanih čestica i nastaju u formi vulkanskih stena i slojeva pepela koji reaguju sa alkalnom površinskom vodom, a takođe nastaju u post-depozicionim sredinama u površinskim basenima. Porozna struktura omogućava zeolitima da budu filteri za pojedine vrste supstanci, a odabirom vrste zeolitskih kristala menja se veličina porognog otvora koji definiše koje supstance mogu proći. U nuklearnoj tehnici se koriste zeolitski kristali za izuzimanje određenih fisionih produkata iz nuklearnog otpada. Struktura alumino-silikata je veoma postojana i otporna na radijaciju, čak i u poroznoj formi. Zeolitski kristali se dodaju kako bi zarobili fisione produkte i nakon prolaska, dolazi do zagrevanja čime se stvara izuzetno čvrsta struktura čime se sprečava curenje radioaktivnih materijala. Primer je upotreba zeolitskih kristala koji su u obliku vreća peska bacani nakon havarije u Fukušimi u more, kako bi zeoliti apsorbovali radioaktivni cezijum, koji je bio u velikim količinama. Fundamentalno, zeolitski kristali se koriste za zagrevanje, jer imaju visoku vrednost akumulacije toplotne energije pri adsorpciji i postoji mogućnost da izvrši proces hidratacije i dehidratacije, dok zadržava strukturalnu stabilnost dok se vadi kao ruda. Mogućnost da izvrši hidrataciju, zajedno sa inherentnom egzotermnom reakcijom prebacuje iz nehidrirane u hidriranu formu, što omogućava izdvajanje velike količine energije.

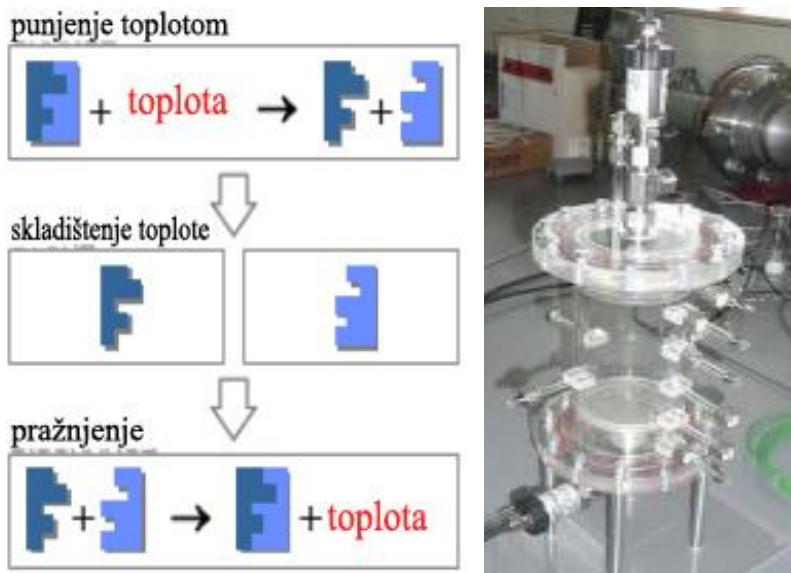


Slika (21) Kristalne strukture tri osnovna tipa zeolitskih kristala ITA, CHA, MFI konfiguracije i način vezivanje molekula inertnog gase za Kristal u procesu adsorpcije

Zeolitski kristali se prave u obliku cigli ili šipki kroz koje prolaze fluidi koji apsorbuju toplotu, odnosno da su zavisni od toplotnog kapaciteta. Integriran rezervoar za skladištenje toplotne energije, može da bude zatvoren sistem i postavljen u voden rezervoar, stvarajući dodatnu toplotnu izolaciju. Toplota se puni preko spiralnog toploizmenjivača koji skladišti u unutrašnjosti rezervoara toplotu, a na izlazu toplota se izdvaja u formi zagrejane vodene pare.

3.2.4. Termo - hemijsko skladištenje toplotne energije

Osnovni princip skladištenja energije je da se supstance spajaju sa povećanom količinom unutrašnje energije, a kada se razdvajaju dolazi do oslobođanja energije, odnosno skladištenje toplotne energije vrši se spajanjem komponenti supstanci. Prva faza procesa je da se toplota skladišti u zasebnim komponentama, sa što manjim toplotnim gubicima. Ukoliko se skladišti ovom metodom preporučljivo je da se toplota skladišti u što dužem vremenskom periodu. Takođe je preporučljivo da se skladištenje vrši na temperaturama koje su preko 100°C, izračunate vrednosti za skladištenje toplotne energije se izračunavaju u kJ po jedinici mase skladištene supstance u rezervoaru i iznose između 250 i 4000 kJ/kg.



Slika (22) Šema termo – hemijskog metoda skladištenja toplotne energije i modifikovana posuda u kojoj se vrši kalorimetrijski test za različite kombinacije supstanci

Posebna istraživanja za skladištenje toplote visokih gustina toplotne energije su izvršena na Institutu za Energetska istraživanja Holandije, septembra 2009. godine, pri čemu je dobijena praktična gustina za skladištenje toplote koja je oko 1.7 GJ/m³. Problem sa istraživanjem je kratak period skladištenja velike količine toplote, ali je moguće toplotu za kratak vremenski rok rasporediti na veliku zapreminu, čime se može zagrevati nekoliko toploizmenjivača, bez značajnih gubitaka, što je veoma važno kod solarnih elektrana sa visokim stepenom kolimacije. Osnovna reakcija je:



Supstanca koja se formira je HCl koja se formira na temperaturi koja je T>140 °C i krajnji produkt je veoma higroskopna supstanca, $\text{MgCl}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Mogućnost poboljšanja kompozita i testiranih materijala koji služe za toplotnu akumulaciju na poljima poboljšanja

otvorene strukture, poboljšanja transporta pare. Maksimalni odnosi frakcije u odnosu na čvrst kompoziti su >70% i ima visok stepen gustine skladištenja toplotne energije što je $>0.9\text{GJ/m}^3$, za materijal koji je fleksibilan i koji je jeftin. Testovi za kompozitne materijale, koji se skladište u toplotnoj pumpi su kombinovani sa MgSO_4 , gde je pokazano da je najbolja kombinacija za istu konfiguraciju toplotnog kapacitivnog gela je zeolitskog – MgSO_4 gela.

Maksimalan toplotni kapacitet kWh po jedinici mase			
Zeoliti – MgSO_4	Silikonski gel – MgSO_4	Zeolit	Silikonski gel
768.3 kWh/kg	591.5 kWh/kg	589.4 kWh/kg	466.2 kWh/kg

Tabela (11) Toplotna energija uskladištena u jedinici mase kompozita

Vrsta supstance	MJ/m^3	kWh/m^3
voda	252	70
natrijum – acetat	320	89
Zeolit pelete	504	140
Magnezijum hlorid – nova hemijska metoda	1700	472
Zeolit – MgSO_4	648	180

Tabela (12) Toplotna energija uskladištena po jedinici zapremine za pojedine supstance

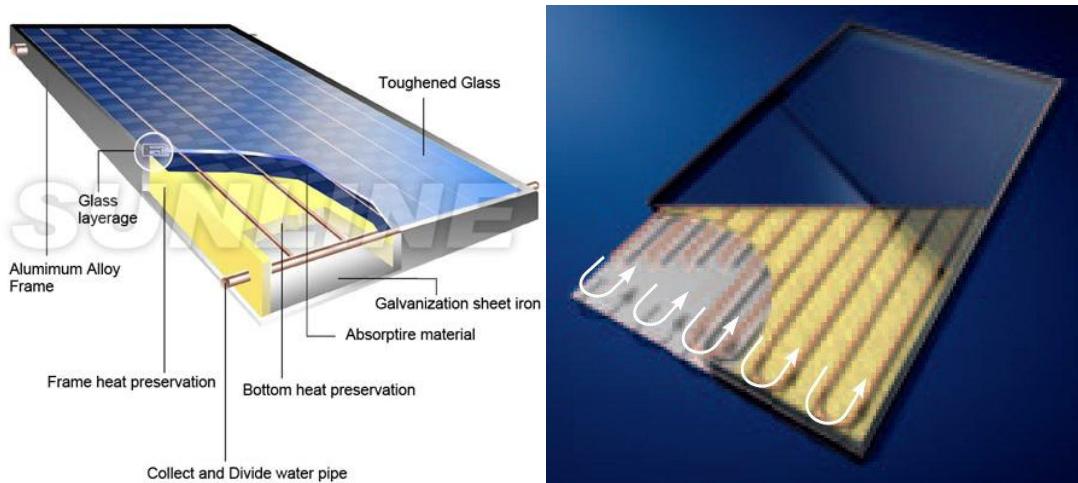
3.3. Dobijanje toplotne energije iz Solarne energije

Solarna energija se može skladištiti u obliku toplotne energije upotreboom kolimatora, odnosno solarnog kolektora koji je napravljen da bi skladišto toplotu apsorbovanjem sunčeve svetlosti. U suštini se koriste toplotni solarni paneli, ali mogu da se svedu na daleko složenije konstrukcije koje koriste parabolična ogledala, refleksione folije koji vrše kolimaciju u apsorber, ili korišćenjem heliostata. Konverzija Sunčeve energije se zasniva na toplotnoj akumulaciji, a složeniji sistemi koriste kogeneraciju radi dobijanja električne energije, odnosno para okreće turbinu i generiše se električna energija. Energija sunčevih zraka, koji dođu do površine zavise od vremenskih uslova, ali je uobičajena vrednost energije oko 1000W/m^2 ukoliko je vreme povoljno za sunčevu zračenje i ukoliko su solarni sistemi direktno usmereni 90° stepeni u odnosu na pravac sunčevog zračenja. U najopštiju podelu solarnih kolektora, moguće je izvršiti podelu solarnih kolektora na one koje vrše fokusiranje i na one koji ravnomerno apsorbuju toplotu, odnosno da celokupna površina panela apsorbuje sunčevu zračenje. Ravni pločasti kolektori i vakumirane cevi solarnih kolektora se koriste da bi se sakupila toplota za grejanje domaćinstava.

3.3.1. Ravnii pločasti kolektori

Hottel i Whillier su pedesetih godina prošlog veka napravili koncept upotrebe solarne energije, preko ravnih pločastih kolektora. U osnovi ovi kolektori se sastoje od crno obojenog ravnog apsorbera, transparentnog pokrivača koji omogućava da sunčevu zračenje prođe bez značajnih gubitaka, rezervoar za radni fluid što može biti vazduh, antifriz supstanca ili voda i zadnji deo je toplotna insulacija. Apсорber se sastoji od tankih slojeva lima ili metala,

napravljenih od termalno stabilnih polimera, aluminijuma, tankih čeličnih ploča ili ploča napravljenih od bakra, kako bi se napravila crna apsorpciona površina na koju su postavljene serije manjih cevi kroz koje protiče radni fluid.



Slika (23) Izgled i šema ravnih pločastih kolektora

Najpodesnije je da se zagrejani radni fluid preko toploizmenjivača iskoristi za zagrevanje supstance koja služi za skladištenje toplote. Ova radna supstanca, ukoliko je ravan solarni kolektor instaliran u područjima gde može temperature pasti ispod nule, poželjno je da tačka mržnjenja ovog fluida bude ispod -30°C , zato se razmatra uvođenje antifrina, što je najčešće etilen – glikol gustine 1.1 g/cm^3 . Sunčev zračenje prolazi kroz transparentan gornji sloj i apsorbuje ga apsorpcioni materijal, koja se zagreva pretvarajući solarnu energiju u toplotnu energiju. Toplota se prenosi na tečnost koja prolazi kroz cevi koji su zakaćene na apsorpcionu ploču. Apsorpcione ploče su obojene posebnim materijalima koji apsorbuju toplotu bolje u odnosu na standardnu crnu boju i napravljene su od aluminijuma ili bakra, odnosno materijal koji dobro provodi toplotu. Bakar u ovom uslovu bolje zadovoljava potrebe apsorpcionog materijala, jer je bolji provodnik i manje je sklon koroziji, ali je skuplji. Postoji nekoliko tipova konfiguracije apsorpcionih cevi:

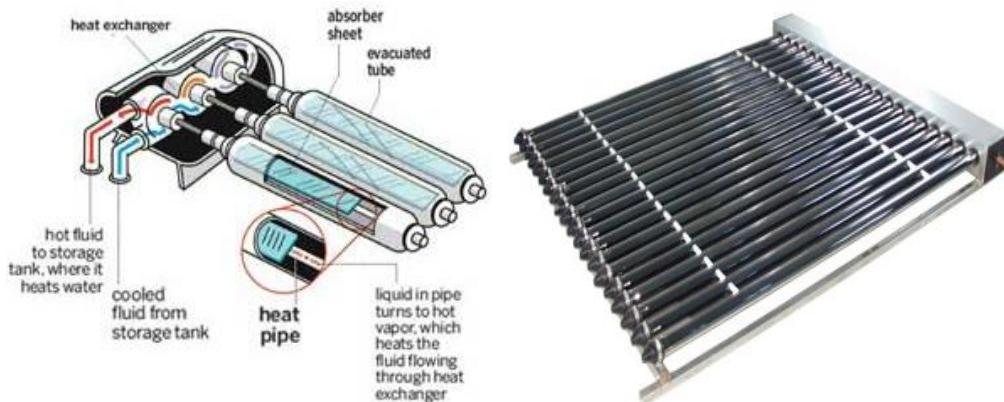
- Harfa klasičan dizajn sa cevima na dnu, koje podižu toplu vodu i sa cevima sakupljačima koje su na gornjem delu kolektora. Ovaj sistem se koristi u kolektorima koji imaju manji pritisak radnog fluida.
- Serpentine – jedan kontinualan S oblik cevi koji povećava temperaturu, ali ne povećava značajno prinos energije u slučaju promenljivog pritiska. Upotrebljava se u objedinjenim solarnim kolektorima koji samo greju vodu.
- Potpuno tečan rezervoar apsorbujuće tečnosti, koji se sastoји od dva metalna sloja koja formiraju cirkulacionu zonu.
- Granični apsorpcioni slojevi, koji se sastoje od nekoliko slojeva transparentnih suprotno usmerenih slojeva. Pošto se solarna energija apsorbuje na graničnim slojevima, toplotna konverzija mora da bude manje efikasna u odnosu na kolektore kada je apsorbovana toplota provođena kroz materijal pre nego što je toplota je akumulirana u radnom cirkulacionom fluidu.

Alternativan materijal u odnosu na metalne pokrove, moguće je da se postavi nov polimerni pločast materijal. Neki ranije upotrebljeni materijali, trpeli su efekat prevelikog zagrevanja, ukoliko su bili insulirani za slučaj pojave većih temperatura. Primer je tačka topljenja polipropilena oko 160°C, dok je kritična temperatura za moderne solarne kolektore 180°C. Danas se koriste polimerni materijali koji imaju višu kritičnu temperaturu, kao što je visoko temperaturni silikoni koji imaju tačku topljenja, koja je iznad 250°C. U regionima gde postoji mogućnost da dođe do smrzavanja koriste se cevi i u unutrašnjosti topotognog akumulatora materijali koji su fleksibilni. Cevi koje su izrađene od silikonske gume se koriste od 1999. Konvencionalni metalni kolektori su podložni oštećenjima usled zamrzavanja, tako da se voda puni pažljivo kako bi se u potpunosti toploizmenjivački sistem ispraznio kada dođe vrednost temperature ispod nule. Upotreba glikola u solarnom kolektoru, smanjuje efekat topotne kapacitivnosti smeše tečnosti, što smanjuje stepen korisnog dejstva, ali omogućava solarnim kolektorima da ne moraju da se prazne pred zimsku sezonu, kada bi se moglo očekivati temperature koje su ispod nule. Ravnii pločasti kolektori imaju očekivani životni vek od oko 25 godina. Primena solarnih kolektora je najviše u stambenim jedinicama, gde je velika potreba za topлом vodom, što smanjuje račune za električnu energiju, ili za prirodnii gas. Najkorisnija je upotreba za domaćinstva koja imaju veći broj članova porodice, čime je potrošnja tople vode veća. Solarni kolektori se mogu koristiti za zagrevanje vode u bazenima u sezoni kada je kasnije proleće ili kada je ranija jesen – koncept solarnih bazena kada su nešto niže temperature. Ukoliko se ekonomski izračuna koliki je stepen uštede upotreboi solarnih kolektora, može se steći zaključak da je moguće uštedeti do 2 mesečna računa za struju. Ukoliko se sagleda stepen prinosa Sunčeve energije za područje Srbije, za 4m² ravnih pločastih kolektora moguće je uštedeti oko 2650 kWh/god.

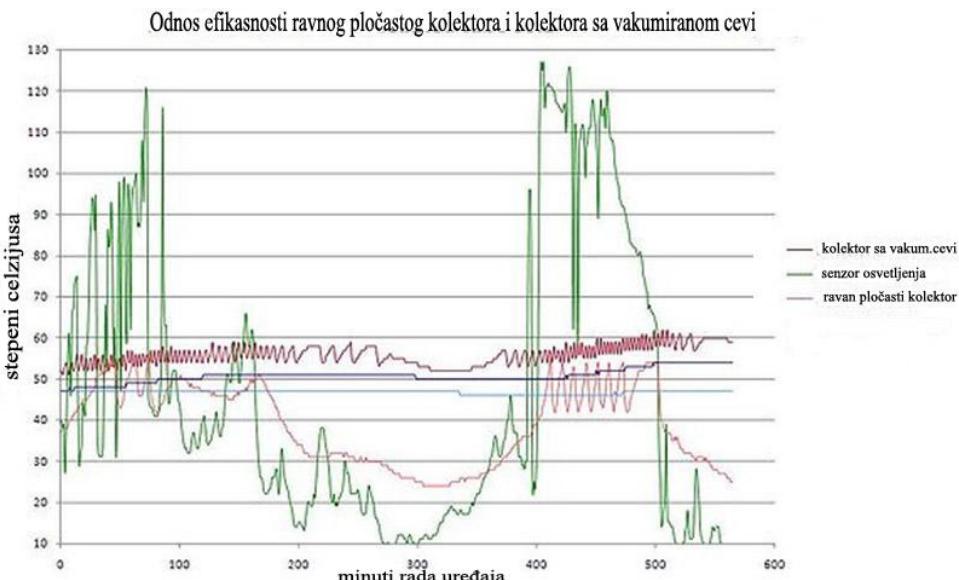
3.3.2. Kolektori sa vakumskim cevima

Najveći broj kolektora sa vakumskim cevima, koriste topotne cevi za svoja jezgra umesto tečnosti koja prolazi direktno kroz njih. Vakumske topotne cevi se sastoje od cevi, koja je evakuisana i koja sadrži apsorpcioni materijal – zadnju ploču, koja služi kao cev za zagrevanje. Toplota sa zagrejanog kraja, topotne cevi se prebacuje fluidom, što je voda ili antifriz smeša, ili obična voda kroz toploizmenjivački sistem. Toploizmenjivač je zamotan u insolaciju i pokriven je metalnom folijom ili sa plastičnim pokrovom, kako bi zaštitio unutrašnje elemente. Vakuum koji okružuje spoljašnjost cevi u velikoj meri smanjuje konvekciju i provođenje topline, koja je nastala usled topotnih gubitaka, na taj način se ostvaruje veća efikasnost u odnosu na ravne pločaste kolektore, što je naročito važno u slučaju hladnih vremenskih uslova. Ova prednost nije toliko izražena u regionima gde je srednja vrednost temperature veća. Postoje tumačenja u razlici između ravnih pločastih kolektora i cevnih vakumskih kolektora, gde su neki povezani sa fizičkom strukturonm cevnih vakumskih kolektora koji imaju nekontinualnu apsorpcionu površinu, poredeći sa kontinualnom apsorpcionom površinom ravnih – pločastih kolektora. Posledica toga je da je kvadratni metar krovne površine pokrivena sa cevnim vakumskim cevima – bruto površina apsorbera je veća od površine u odnosu na površinu koja je pokrivena pravim apsorberima, ravna površina apsorbera. Ukoliko je evakuisana cev veća u odnosu na površinu koja pokriva ravnu apsorpcionu ploču na osnovnoj površini krova, moguće je dobiti različite odnose ako se

ove površine porede. U dodatku, neophodno je da je ispunjen standard ISO 9806, koji određuje način merenja efikasnosti kolektora, pošto postoji način merenja koje je ili u odnosu na ukupnu bruto površinu, ili u odnosu na apsorpcionu površinu. Način na koji se određuje efikasnost solarnih kolektora je različita u odnosu na fotonaponske sisteme, čime je teško savetovati da li budući korisnik da uvodi kolektore, ili fotonaponske sisteme.



Slika (24) Prikaz koncepta solarnog kolektora na principu vakuumskih cevi



Slika (25) Grafik zavisnosti efikasnosti za ravan pločasti kolektor i kolektor sa evakuisanom cevima u zavisnosti od broja radnih minuta u toku dana

Poredeći energijski odnos, što je izmereno preko kWh/dnevno za ravne – pločaste kondenzatore je dati preko plavih linija u termodinamičnom odnosu S42-P standard za površinu apsorbera da je 2.8m^2 . Dok je evakuisana cev prikazana zelenim linijama, dok za drugi standard SunMaxx 20EVT je data sa apsorberom od 3.1m^2 . Kako se temperaturna razlika povećava to su gubici kod ravnog pločastog kondenzatora veći u odnosu na evakuisanu cev. To znači da ravan pločasti kondenzator ima manju efikasnost ukoliko se dobija topla voda na temperaturama koje su veće od 25°C iznad temperature spoljašnje sredine, što je dato crvenim oznakama na grafiku. Sa smanjenjem stepena sunčevog sjaja obe vrste kolektora smanjuju drastično stepen korisnog dejstva, u tom slučaju evakuisana cev daje više energije u odnosu na ravan pločasti kolektor. Temperatura ravnog – pločastog kolektora

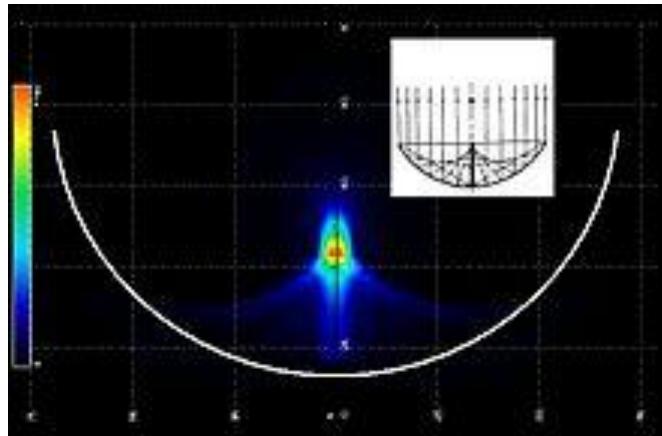
drastično opada kada se sa topotne akumulacije pređe na potrošnju nakon prekidanja sunčevog sjaja koje pada na kolektor. Temperatura u vodenom tanku za akumulaciju topote u slučaju vakumiranih cevi da su povećani za 8°C , u toku dana za iskorišćenje topotne energije u slučaju ravnog pločastog kolektora, pri čemu nastaje kontanta za izračivanje u slučaju ITS standarda solarnih ploča.

Ravni – pločasti kolektori obično gube više topote u okolinu u odnosu na vakumske cevi i ovaj gubitak se povećava sa uvećanjem temperaturne razlike. Tako da nisu najbolji izbor za komercijalnu upotrebu ukoliko je potrebna vodena para. Kolektori sa vakumskom cevi imaju manji odnos apsorpcione površine u odnosu na ukupnu površinu i to od 60 do 80%, ukoliko se upoređuju sa ravnim – pločastim kolektorima. Ukoliko se upoređuje samo odnos apsorpcionih površina onda se može reći da su solarni kolektori sa vakumskim cevima efikasniji po 1m^2 u odnosu na ravne pločaste kolektore i zato su podesni gde je manja površina krova i gde je broj stanara objekta veći u odnosu na površinu krova koji je pokriven sa solarnim panelima potrebnih za dobijanje određene količine topotne energije. Usled smanjene ozračenosti Sunca podesno je koristiti solarne kolektore sa vakumskim cevima, ali u odnosu na cenu podesnije je nekad koristiti ravan pločasti kolektor. Ukoliko se sagleda stanje na tržištima solarnih kolektora sa vakumskim cevima, najveći broj proizvođača ovih komponenti su u zemljama Dalekog Istoka, pretežno u Kini. Kolektori sa vakumiranim cevima je relativno novija tehnologija i poboljšanja materijala koji se koriste u komercijalnoj upotrebi mogu dovesti do pojeftinjenja ove tehnologije i do značajnog uvećanja efikasnosti, čime će postati dominantna tehnika u ovom segmentu korišćenja OIE. Kolektori sa vakumskom cevi imaju bolji efekat od ravnih kolektora u slučaju proizvodnje topotne energije, kada je stalan izvor sunčevog zračenja niskog intenziteta. Ukoliko je temperatura na kojoj je potrebna topla voda u domaćinstvu nije daleko veća od ambijentalne, što je u primorskim krajevima u tim područjima se koriste pretežno pločasti kolektori.

3.3.3. Fokusirajući sistemi solarnih kolektora

Solarna činija je tip solarnog termalnog kolektora koji funkcioniše slično kao i parabolična ogledala, ali umesto da se koristi sistem koji prati normalan pravac sunčevog zračenja „solarni tragač“ ovaj sistem je stacionaran. Pošto je stacionaran, onda je stepen efikasnosti smanjen, ali su smanjeni investicioni troškovi i operativni u toku rada. Glavni razlog za korišćenje statičnog sistema je da se eliminišu troškovi pomeranja ogledala.

Statično parabolično ogledalo pravi različit lik Sunca, kako se pomera preko nebeskog svoda. Samo kada Sunce dođe direktno iznad optičke ravni ogledala onda će se svetlosni zraci fokusirati u jednu tačku. Statično sforno ogledalo fokusira svetlo na isto mesto, nezavisno od pozicije Sunca u odnosu na ogledalo. Svetlost ne pada direktno na jednu tačku, ali je distribuirano na liniji pri površini ogledala u odnosu na jednu polovinu radijusa krivine sfornog ogledala, tako da svetlost prolazi kroz centar sfere i fokusira se na liniji koja prolazi kroz centar sfere i Sunca.

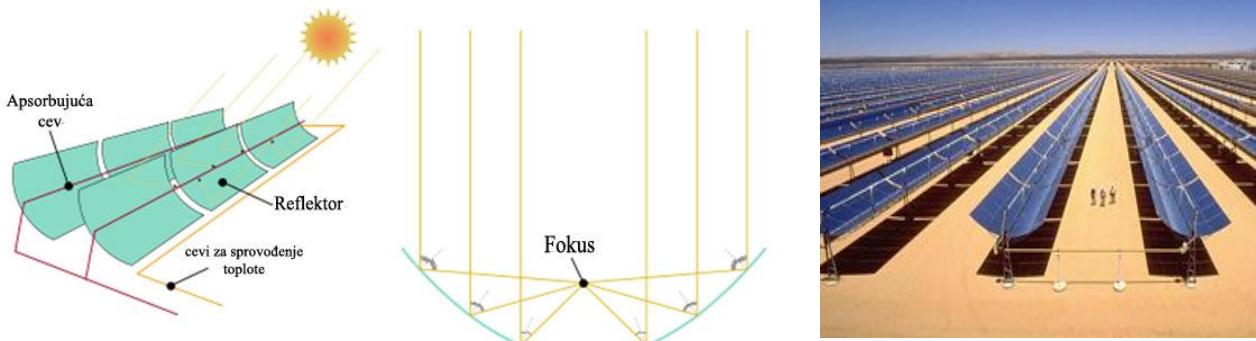


Slika (26) Tipične vrednosti gustine energije duž $\frac{1}{2}$ radijusa fokalne linije na stacionarnom sfernom detektoru

Kako se Sunce pomera preko neba, tako se apertura za svaki stacionarni solarni kolektor menja. Ovo uzrokuje promene u količini apsorbovane svetlosti, proizvodeći sinusni efekat snage na izlazu iz sistema. Zagovarači upotrebe dizajna solarne činije kažu da je smanjenje ukupnih investicionih troškova omogućilo povećanje akumulacije energije uz manje dodatne troškove. Sunčeva svetlost koja je fokusirana statičnim sfernim ogledalom na fokalnoj liniji sfernog ogledala se koristi preko apsorbujućeg sistema koji se pomera u odnosu na liniju fokusiranja. Apsorber je najčešće kontrabalansiran za očuvanje stabilne ravnoteže oko fokalne linije. Apsorber mora da ima dobro izolovane cevi koji nose fluid od apsorbera do topotnog izmenjivača, ili potrošača. Takođe je ovaj sistem moguće primeniti u slučaju fotonaponske konverzije, gde fokusirano zračenje može da prodre višestruke slojeve poluprovodnika koji koriste fotonaponsku konverziju za dobijanje direktno električne struje.

Dizajn solarne činije je primjenjen na Tehničkom Univerzitetu u Teksasu, gde je napravljen manji prototip koji je daleko manji i jeftiniji od inicijalnog predloga za 5 MW solarnu elektranu. Solarna činija koja je instalirana u Crosbyton, Teksas ima prečnik od 20 m, sa pomerajem ugla od 15° kako bi ostvarila najbolje performanse u odnosu na investicione troškove, a najbolje performanse bilo bi moguće ostvariti ukoliko bi se pomeraj ugla izvršilo da bude 33° . Okvir hemisfere, je smanjen, na 60° što stvara aperturu od 308m^2 . Maksimalan iznos proizvedene električne energije je 10kW za ovaj manji prototip.

Parabolični fokusni sistemi, ogledalski tanjiri i heliostati sa centralnim kolektorskim kulama se koriste za proizvodnju električne energije kroz upotrebu zagrejanog fluida u procesu kogeneracije. Ovi solarni kolektori imaju teoretsku maksimalnu koncentraciju energije koja je za parabolična stakla jednala $1/3$ teoretkog maksimuma za isti ugao primanja, što ima iste tolerancije u sistemu. Ukoliko se fokusni sistemi približavaju teoretkom maksimumu, moguće je da se izračuna maksimalna vrednost proizvodnje električne energije, upotrebom neimaginarnе optike.



Slika (27) Izgled paraboličnih fokusnih sistema i metod sakupljanja toplotne energije

Parabolično ogledalo, se kao kolektorski sistem koristi u solarnim elektranama. Parabolični reflektor se koristi da bi se koncentrisala sunčeva svetlost na izolovanu cev, kroz koju protiče radni fluid – Dewar-ova cev, koja je postavljena na sam fokus paraboličnog ogledala. Toplota iz radnog fluida se prenosi na toplotni rezervoar, što mogu biti posebni metodi skladištenja toplotne energije, kako bi se toplota koristila 24 h i da je na raspolaganju i za vreme zimskih meseci. Osnovno pitanje upotrebe solarnih elektrana za efikasno dobijanje električne energije, ili efikasnu upotrebu toplotne energije u svim sezonomama ili u toku čitave godine je da se napravi efikasan sistem akumulatora.

Parabolični tanjur - predstavlja tip kolektora koji daje najveće vrednosti prinosa energije iz Solarne energije. Jedan ili više paraboličnih tanjira može da vrši koncentraciju solarne energije na jedan fokus, odnosno fokusnu tačku slično kao refleksioni teleskop, koji fokusira svetlost zvezda, ili kao satelitska antena koja fokusira elektromagnetni signal ka risiveru. Ova geometrija je podesna da se koristi u „solarnim pećima” ili u budućim solarnim elektranama.



Slika (28) Upotreba kolektora sa fokusirajućim sistemom u obliku paraboličnog tanjira

Postoje dva faktora koje je potrebno razmotriti da bi se efikasno razumeo pojam solarnog paraboličnog tanjira. Prvi je, da je parabola kao geometrijski oblik definisan, tako da zraci koji stižu paralelno sa osom paraboličnog kolektora, će biti reflektovani prema fokusu, bez obzira na kojoj udaljenosti od centra padaju sunčevi zraci. Drugi bitan faktor je da svetlosni zraci stižu na površinu Zemlje gotovo paralelno. Tako da se može kolektor poravnati sa njegovom osom, tako da je uperen ka Suncu, ukoliko postoji instaliran sistem za praćenje normale sunčevog zračenja. Najveći deo gubitaka pri upotrebi ovog koncepta je usled nesavršenosti usled paraboličnog oblika i usled nepravilne refleksije na površini. Gubici

koji se mogu javiti u atmosferi, dok zraci ne dođu na paraboličan tanjur su zanemarljivi ukoliko je sunčan dan, bez velikog vетра. Ukoliko se uporede sa drugim konceptima za proizvodnju toplotne energije, kao što su ravan pločast kolektor ili kolektor sa vakuumskim cevima, može se uočiti razlika između efikasnosti paraboličnog kolektora za vreme oblačnog vremena ili ukoliko dođe do pojave magle. Nepovoljni vremenski uslovi utiču da se efikasnost paraboličnog kolektora smanji geometrijski.

3.3.4. Heliostati sa centralnim apsorpcionim tornjem – CSP sistem

Heliostati prestavlja polje velikog broja ravnih ogledala ili blago paraboličnih ogledala, koja se postavljaju tako da im je fokus usmeren ka centralnom tornju koji apsorbuje reflektovano sunčeve zračenje. Ogledala se nalaze na držaćima, koji se kompjuterski usmeravaju da svetlost reflektuju ka centralnom apsorpcionom tornju. Radnji fluid prenosi toplotu do toploizmenjivača, ili toplotnog akumulatora gde se preko turbine dobija električna energija, ili se ova energija skladišti radi korišćenja u toku noći, odnosno korišćenje solarne energije kroz celokupnu godinu. Svi visokokapacitivni solarni sistemi, sa snagom koja je veća od 2 MW koriste sistem heliostata. Ostvaruje se visok stepen kolimacije, moguće je iskoristiti veći deo ove energije i količina toplote koja se dobija u 1s je podesna za upotrebu u klasičnim CHP termodinamičkim sistemima.



Slika (29) Izgled heliostatskih sistema u SAD-u, elektrana od 5 MW i 2 MW električne snage

Prednosti upotrebe heliostata:

- Moguće je dostići veoma visoku temperaturu za proizvodnju električne energije preko rada turbine. Metodi korišćenja parnog generatora je bitna za generisanje električne energije ili da se ostvari visoka temperatura za neki hemijski proces,
- Postiže se dobra efikasnost, gde se preko kolimisanja svetlosti, moguće je postići bolju efikasnost u odnosu na jednostavne solarne kolektore,
- Veća površina može biti pokrivena korišćenjem relativno jeftinih ogledala, naspram korišćenja skupih solarnih čelija,
- Koncentrisana svetlost može biti usmerena na bolju lokaciju, preko optičkog kabla, što je moguće da se koriste za osvetljavanje zgrada,

- Skladištenje toplote u toku oblačnog vremena - upotreba latentne toplotne pri topljenju soli je jedan od boljih načina za skladištenje toplotne energije

Problemi sa korišćenjem heliostata:

- Sistemi heliostata zahtevaju jedinstven objedinjen sistem za praćenje sunčevih zraka, čime se sunčevi zraci fokusiraju na centralni toranj
- Nemogućnost da se ostvari adekvatna snaga u toku sunčevog sjaja pri difuznoj svetlosti. Solarne ćelije imaju mogućnost da imaju određenu snagu na izlazu i kada je vreme delimično oblačno. Stepen efikasnosti sistema koji vrše koncentraciju zraka drastično opada kako se rasipa difuziona svetlost.

Kod heliostata Sunčeva svetlost se uzima da pada paralelno na Zemljinu površinu, bez obzira na površinu heliostatnog sistema. Teškoća za efikasno usmeravanje Sunčevih zraka je što ogledala imaju različit pravac odbijanja sunčevih zraka, kako bi usmerili reflektovani snop ka centralnom tornju. U toku dnevnog osvetljaja ogledala zaklapaju različite uglove tako da odbojni ugao, računat za sferni koordinatni sistem ostvaruje zakon refleksije u odnosu na blago parabolično ogledalo, a neki sistemi heliostata sadrže samo ravna ogledala, ali u tom slučaju se mora povećati apsorpciona površina na centralnom tornju.

3.3.5. Koncept modernih Solarnih elektrana

U Srbiji je u Badnjevcu u okolini Kragujevca puštena prva solarna toplana, koja koristi patent akumulacije Dr. Vladana Petrovića. Sistem se zasniva na primeni koncentratora – kolimatora koji vrši sabiranje sunčevih zraka putem refleksije o folije koje su postavljene u formi koncentričnih kružnica. Folije su oblikovane tako da imaju blag paraboličan oblik i da je fokus postavljen na apsorber, koji prebacuje toplotu na radni fluid, što je vazduh, koji se zagreva na temperature preko 400°C , zatim se toplotu prebacuje akumulacionom sistemu, što je patent dr. Petrovića. Akumulator primenjuje termohemijsku apsorpciju baziran na principu akumuliranja toplote faznog prelaza, sa izmerenom vrednosti akumulirane energije od 450kWh/m^3 . Maksimalna temperatura do koje se može zagrijati akumulaciona masa je 800°C . Akumulaciona masa je smeštena u zaštićen rezervoar, koji je podeljen u manje ćelije i unutrašnji rezervoar je smešten u dodatan rezervoar koji omogućava bolju toplornu izolaciju, što je takođe patent dr. Petrovića. Merenjem je potvrđeno da su toplotni gubici na godišnjem nivou 5.8% i potvrđena je mogućnost korišćenja toplotne energije u toku čitave godine i u bilo kom dobu dana. Akumulaciona masa je do Septembra 2011. bila zagrejana na 580°C , a merenje gubitaka je izvšeno u aprilu 2012. sa uračunatom potrošnjom koja je bila u toku zime da bi se zagrejalo domaćinstvo od 500m^2 i sa tom potrošnjom temperatura akumulacione mase je u aprilu bila 320°C sa napomenutim procentom gubitaka. Koncentrator ima mogućnost da se usmeri uvek ka pravcu dolaska sunčevog zračenja, što znatno podiže energetsku efikasnost. Toploizmenjivač na koji se fokusira kolimisano sunčevo zračenje prebacuje toplotu na radni fluid, a to je vazduh, a zatim se vazduh sprovodi do akumulatora. Ukoliko je potrebno odmah iskoristiti toplotu, kako bi se dobila električna energija, zagrejan vazduh prolazi kroz sistem za velikim ventilatorom, ili sa turbinom koja dalje omogućava

generisanje električne energije, a višak toplote se može iskoristiti za zagrevanje. Ukoliko je potrebna samo toplotna energija u toku godine, kada je zimska sezona toplotna energija se direktno vodi iz akumulatora, preko uključivanja cirkulacija vode za grejanje, a moguće je da se iskoristi višak toplotne energije na zagrevanje vazduha radi pokretanje turbine. Potrebno je izvršiti dodatna istraživanja da bi se našlo rešenje za bolji radni fluid, koji će se koristiti umesto vazduha. Osobine koncentratora:

- $D = 55$ m, prečnik koncentratora;
- $F = 1944 \text{ m}^2$ projekciona površina, što je korisna površina ogledala
- $P_{\max} = 1557 \text{ kW}$, ukoliko je stepen korisne solarne toplotne $q_s = 0.8 \text{ kW/m}^2$
- Faktor koncentracije je $C = 5051$;
- $D_f = 692$ mm, prečnik fokusa
- Apsorber je zatvorenog tipa, sa dimenzijama ulaznog otvora absorbera od 4587 mm sa 4587 mm, protok vazduha kroz apsorber je 4.9 kg/s
- Vođenje koncentratora se vrši po tri ose, sa orijentacijom sfernog koordinatnog sistema

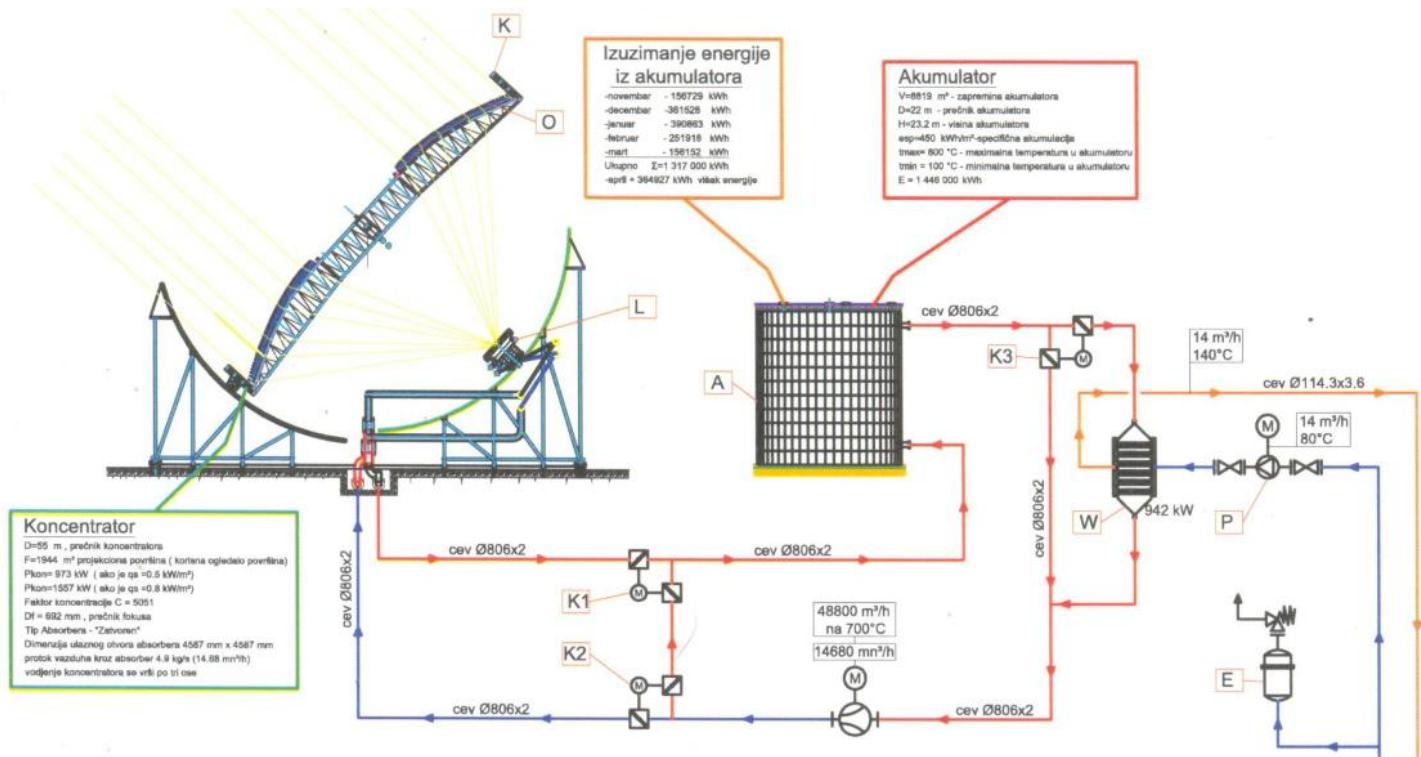
Parametri izuzimanja energije iz akumulatora, zasnovani sun a merenju gubitka količine toplotne energije koja je iskorištena za grejanje i merenjem je utvrđeno koliko još toplotne energije sadrži toplotni akumulator.

Vrednosti izuzimanja energije iz akumulatora u toku zimskih meseci					
Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	Ostalo
156,729 kWh	361,528 kWh	390,863 kWh	251,918 kWh	156,152 kWh	364,927 kWh

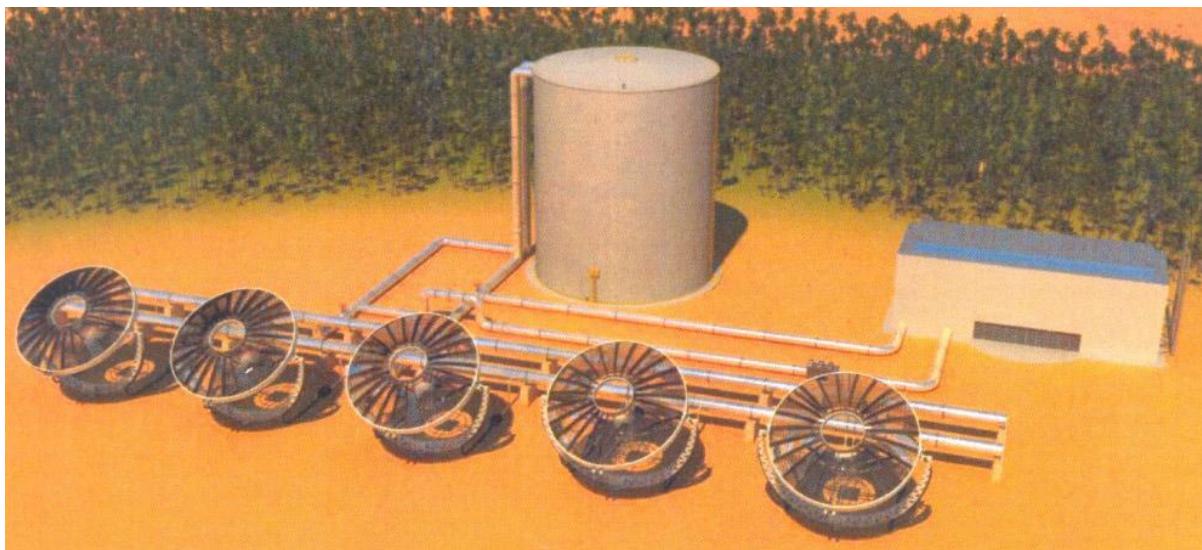
Tabela (13) potrošnja toplotne energije u toku zimskih meseci iz solarne toplane. Procena je da je ukupno efikasno skladištena toplotna energija 1,317,000 kWh

Vrednost količine toplotne energije koja je uskladištena zavisi od akumulatora i stepena efikasnosti kolimatorskog sistema. Pilot projekat solarne toplane ima niz tehničkih nedostataka, kao što je topljenje apsorpcione ploče, tako da je neophodno povećati dodirnu povšinu toploizmenjivačkog sistema i povećati efikasnost predaje toplotne energije na radni fluid, koji ne bi trebalo da bude vazduh, već supstanca koja ima veći toplotni kapacitet. Ipak, novi concept solarne toplane, omogućava postepen razvoj naučno tehničkih rešenja koja će omogućiti savladavanje problema i u slučaju proizvodnje električne energije iz ovog koncepta. Osobine akumulatora:

- $V = 8819 \text{ m}^3$ – ukupna zapremina akumulatora
- $D = 22 \text{ m}$ – prečnik akumulatora
- $H = 23.2 \text{ m}$ – visina akumulatora
- $P_{aps} = 450 \text{ kWh/m}^3$ – specifična akumulacija, sistem faznih prelaza
- $t_{\max} = 800^\circ\text{C}$ – maksimalna temperatura akumulacija u akumulatoru
- $t_{\min} = 100^\circ\text{C}$ – minimalna vrednost temperature koja može biti akumulirana
- $Q_{akum} = 5.2 \text{ TJ}$ maksimalna količina toplotne energije koja može biti skladištena



Slika (30) Šema solarne toplane u Lozoviku – budući projekt razvoja Solarne elektrane. Legenda: K – koncentrator, O – ogledala, L – apsorber, A – akumulator topline, X – trokraki regulacioni ventil, W – izmenjivač topline vazduh/voda, V – ventilator za vazduh, P – pumpa za grejanje, E – ekspanzionalni sud



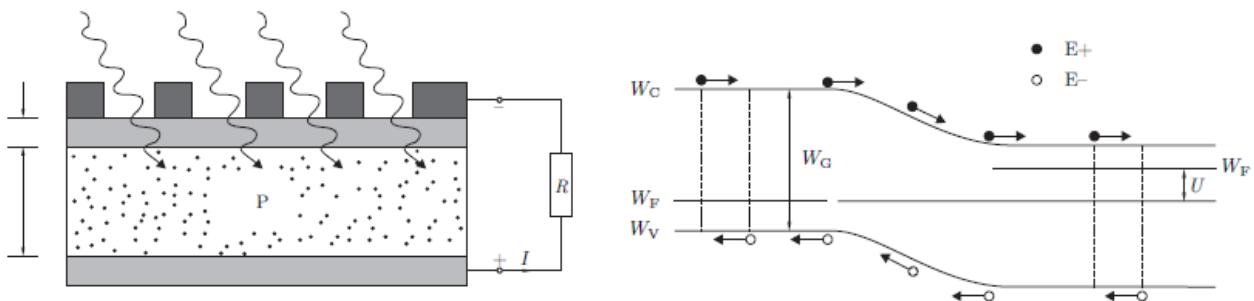
Slika (31) skica izgleda dela postrojenja solarne elektrane kapaciteta 500MW u Jordanu



Slika (32) mala solarna toplana u Badnjevcu na imanju dr. Petrovića, izvor toplote za 500m^2

3.4. Fotonaponska konverzija – pv efekat

Za pojavu fotonaponskog efekta pv – photovoltaic effect najvažnije je interakcija kvanata elektromagnetskog zračenja – fotona sa elektronom nekog provodnika, ili poluprovodnika. Fotodioda je dioda kod koje se okolina sloja prostornog nanelektrisanja ne može izlagati dejstvu elektromagnetskog zračenja, odnosno svetlosti. Ukoliko je energija upadne svetlosti veća ili jednaka širini zabranjene zone u poluprovodniku, dolazi do pojave unutrašnjeg fotoefekta, odnosno dolazi do otkidanja elektrona iz kovalentne veze usled apsorpcije kvantna svetlosti. Pri svakom otkidanju elektrona iz kovalentne veze dobija se i po jedna šupljina. Ovako nastali elektroni i šupljine predstavljaju neravnotežne nosioce nanelektrisanja u odnosu na one koji su nastali usled termičkog oscilovanja kristalne rešetke. Na sledećoj slici prikazan je PN spoj, pri interakciji fotona sa elektronom u bilo kom delu PN spoja generiše se par elektron – šupljina.

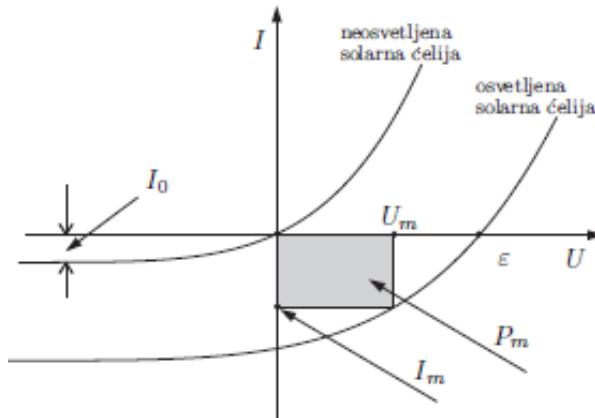


Slika (33) Prikaz PN fotonaponskog spoja, pri interakciji fotona sa elektronom u delu PN spoja

Novonastali nosioci nanelektrisanja se generišu sve dok se poluprovodnik osvetljava, ali se istovremeno i rekombinuju, tako da se uravnoteženjem procesa jonizacije i rekombinacije dostiže stacionarno stanje. U slučaju kada se vrši osvetljavanje, N deo poluprovodničke diode, u njemu će se generisati šupljine kao sporedni nosioci i elektroni kao

glavni nosioci nanelektrisanja. Prelazak glavnih nosioca nanelektrisanja, odnosno elektrona kroz PN spoj je onemogućen električnim poljem u sloju prostornog nanelektrisanja, ali zato sporedni nosioci nanelektrisanja mogu slobodno prolaziti kroz ovaj sloj putem difuzije. Pri prelasku sporednih nosioca naektrisanja dolazi do nanelektrisavanja pojedinih delova spoja različitim vrstama nanelektrisanja. Kao posledica ovog nanelektrisavanja na krajevima PN spoja javlja se razlika potencijala, koja se naziva napon praznog hoda. Ako krajeve ovog PN spoja kratko spojimo onda se dobija struja kratkog spoja I_{ks} . Struja kratkog spoja, kao i napon praznog hoda zavise od intenziteta svetlosti kojom se osvetjava dioda. U praktičnoj primeni, solarne ćelije najveći deo prizvedene energije dovode na potrošač, što zavisi od vrednosti radnog otpora. Za pravilan izbor radnog otpora koristi se volt – amperska karakteristika ćelije koja je snimljena za razne vrednosti napona. Karakteristike osvetljenje i neosvetljenje fotodiode se razlikuju, gde neosvetljenja fotodiode se ponaša kao obična diode. Zavisnost jačine struje kroz PN spoj, od napona na njegovim krajevima data je jednačinom diode, koja je na sledećoj slici prikazana i grafikom.

$$I_d = I_0 \cdot \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) \quad (60)$$

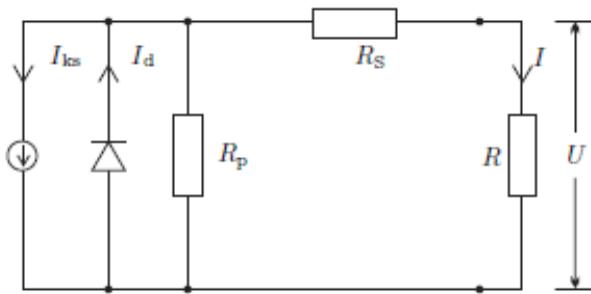


Slika (34) Volt-amperska karakteristika fotoćelije sa prikaz rada neosvetljene i osvetljene solarne ćelije

I_d – je struja koja prolazi kroz PN spoj, U – je napon polarizacije diode, k – Boltmanova konstanta, T – temperatura, I_0 – je struja zasićenja koja zavisi od širine zabranjene zone W_g . Funkcionalna zavisnost je data, da što je zabranjena zona uža, to je struja zasićenja veća. Ukoliko se fotodioda osvetli, javlja se dodatna struja I_L koja celu karakteristiku fotodiode – fotoćelije spušta u odnosu na karakteristiku neosvetljenje diode za vrednost koja je približno jednaka vrednosti struje kratkog spoja. U tom slučaju je struja osvetljenje fotodiode data izrazom:

$$I = I_d - I_L = I_0 \cdot \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right) - I_L \quad (61)$$

Može se zaključiti da se solarna ćelija ponaša kao izvor konstantne struje. Ukoliko se postavi fotodioda u elektronski sistem dat na sledećoj slici



Slika (35) Ekvivalentna šema fotodiode

Ukoliko je fotodioda postavljena u ovakav poredak, tada važi:

- R_s – zavisi od materijala i tehnologije izrade i ova vrednost otpora mora biti što manja. Realna vrednost ekvivalentnog unutrašnjeg otpora mora uvek biti manji od jednog omu.
- R_p – mora biti što veće da bi bilo izvan konstantne vrednosti i često se može zanemariti.

Struja kratkog spoja I_{ks} za slučaj kada je $U=0$ V i elektromotorna sila ε kada je $I=0$ A su osnovni električni parametri solarne ćelije:

$$I_{ks} = -I_L \quad \varepsilon = U(I=0) = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_L}{I_{ks}}\right) = f(I_L) \quad (62)$$

Elektromotorna sila ε raste sa osvetljeničtu, pri čemu za realnu solarnu ćeliju vrednost otpora R_s nije zanemarljivo i u tom slučaju je izraz za struju kratkog spoja:

$$I_{ks} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(U+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - I_L \quad (63)$$

U ovom slučaju je snaga ćelije je $P = U \cdot I$ pri čemu ako se uzima da je $I = |-I|$

$$P = U \cdot I = U \cdot I_0 \cdot \left(e^{\frac{q(U+IR_s)}{kT}} - 1 \right) - U \cdot I_L \quad (64)$$

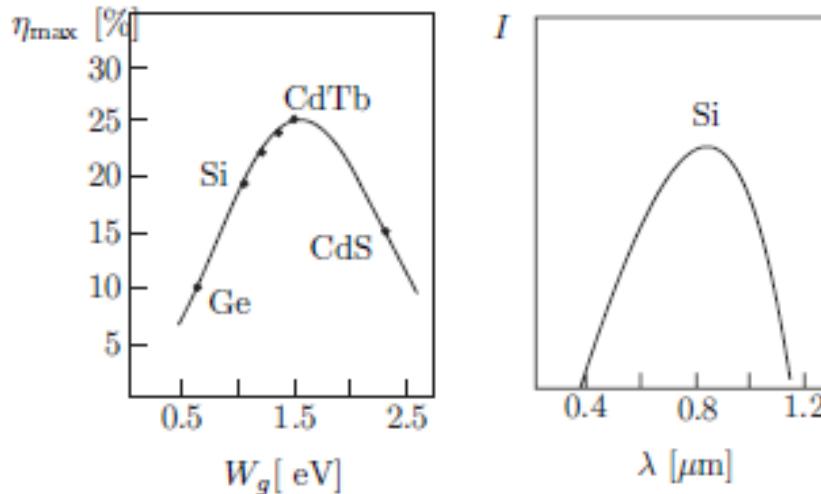
Maksimalna vrednost snage je dato obrascem $P_m = U_m \cdot I_m$ što je označeno na naponsko – strujnoj karakteristici, a može se dobiti kao ekstrem odnosa zavisnosti u formi $P = f(U, I)$, ali se može dobiti i kao oblik $P_m = \varepsilon \cdot I_{ks} \cdot F$ pri čemu je F – faktor punjenja koji pokazuje koliko se realna solarna ćelija približava idealnoj, odnosno slučaj kada je $F_{id} \equiv 1$. U suštini F je odnos površine provodnika sa stranama U_m i I_m i pravouganika sa stranama ε i kada je I_{ks} na naponskoj – amper karakteristici, pri čemu je faktor F , dat u obliku

$$F = \frac{U_m \cdot I_m}{\varepsilon \cdot I_{ks}} \quad (65)$$

Koeficijent korisnog dejstva solarne ćelije - η je zapravo odnos između maksimalne snage solarne ćelije P_m i ulazne snage Sunčevog zračenja P_u , što se može zapisati u obliku:

$$\eta = \frac{P_m}{P_u} = \frac{P_m}{q \cdot A} = \frac{\varepsilon \cdot I_{ks} \cdot F}{q \cdot A} \quad (66)$$

q – predstavlja stepen ozračenosti, A – je površina fotonaponske diode – ćelije, η - stepen korisnog dejstva zavisi od širine zabranjene zone W_g – odnosno zavisi od površinskih karakteristika materijala o koji se vrši proces fotonaponske konverzije i spektralne osetljivosti, u smislu apsorpcije za silicijum je maksimum efikasnosti postignut, ukoliko je $\lambda = 800\text{nm}$ i stepen efikasnosti, odnosno dobijena jačina struje na izlazu fotonaponske diode brzo opada na zanemarljivu vrednost kada je talasna dužina 400 nm i kada je 1100 nm.



Slika (36) Grafici zavisnosti stepena maksimalnog korisnog dejstva od širine zabranjene zone PN spoja fododiode i zavisnost jačine struje na izlazu u odnosu na talasnu dužinu upadne svetlosti

Tipične karakteristike silicijumske solarne ćelije su:

$$\epsilon = 0.57\text{V} \quad R_s = 0.96\Omega \quad F = 0.82 \quad \eta = 0.1$$

U slučaju generisanja para elektron – positron, neophodno je da je $h\nu \geq W_g$ odnosno da je $\lambda \leq \frac{h \cdot c}{W_g}$. Smanjenje W_g proširuje opseg λ , pri čemu kako jačina struje I_0 raste sa smanjenjem smanjuje i elektromotornu silu ϵ . Prvi od navedenih efekata vrši povećanje η a drugi smanjuje stepen efikasnosti. U praksi se danas koriste fotonaponski elementi koji imaju optimalan stepen efikasnosti koji je oko 13%, veoma dobra efikasnost je do 19%, ali su ovi fotonaponski elementi skuplji. Na taj način se u praksi balansira između stepena efikasnosti i cene kako bi se postigao najveći stepen korisnosti. Osnovni cilj buduće izrade fotonaponskih elemenata je da se naprave komponente koje imaju što manju cenu, bez obzira na efikasnost.

Za vrednost maksimalnu efikasnost: $W_g = 1.5\text{eV}$, $\eta_{max} = 25\%$ pri $\lambda_{max} = 830\text{nm}$

3.4.1. Stepen iskorišćenja fotonaponskih ćelija

Kod najboljih silicijumskih ćelija stepen iskorišćenja ne prelazi 18%. Ostatak energije koji predstavlja gubitak pri transformaciji, raspodeljuje se na druge načine. Gubitak energije usled refleksije fotona na površini ćelije, apsorpcije na zadnjem kontaktu ili jednostavno prolaskom kroz fotoćeliju iznosi oko 4%. U Sunčevom spektru određeni broj fotona ima energiju koja je manja od širine zabranjene zone, tako da veći broj fotona imaju energiju koja

je manja od širine zabranjene zone, tako da oni nisu u stanju da pobude elektrone i ne doprinose stvaranju fotostruje. Gubitak na ovaj način iznosi približno 23%. Takođe, određeni broj fotona ima energiju koja je veća od 1.1 eV, što je vrednost zabranjene zone silicijuma i bez obzira što ovi fotoni generišu par elektron – šupljina, predaju kristalu fotonaponskog elementa i više energije nego što je potrebno i taj višak predstavlja gubitak od oko 33%. Energija elektrona koja se koristi je uvek manja od one koja mu je predata prilikom pobuđivanja, što je novi gubitak od 17%. Zbog eksponencijalne strujno – naponske karakteristike faktor ispune – F je uvek manji od jedinice, odnosno javlja se gubitak od 5%. Naposletku, deo proizvedenih elektrona uopšte ne stigne do elektroda, jer se usput rekombinuju. Gubici se mogu javiti i u slučaju prisutnog serijskog otpora elektronske komponente ekvivalentne šeme, što je zajedno sa još 5% gubitaka.

Neki od ovih gubitaka su uslovljeni fundamentalnim fizičkim zakonitostima i ne mogu se smanjiti, a neki zavise od tehnologije izrade fotonaponskih karakteristika. Uz maksimalno smanjenje ovih drugih faktora, maksimalni stepen iskorišćenosti silicijumskih ćelija mogao bi da dostigne 22%. Velika zavisnost stepena iskorišćenja je i od energetskog procepa, koji nije najpovoljniji kod silicijuma. U slučaju galijum – arsenida čija širina iznosi 1.39 eV teorijski maksimalni stepen iskorišćenja dostiže 29%.

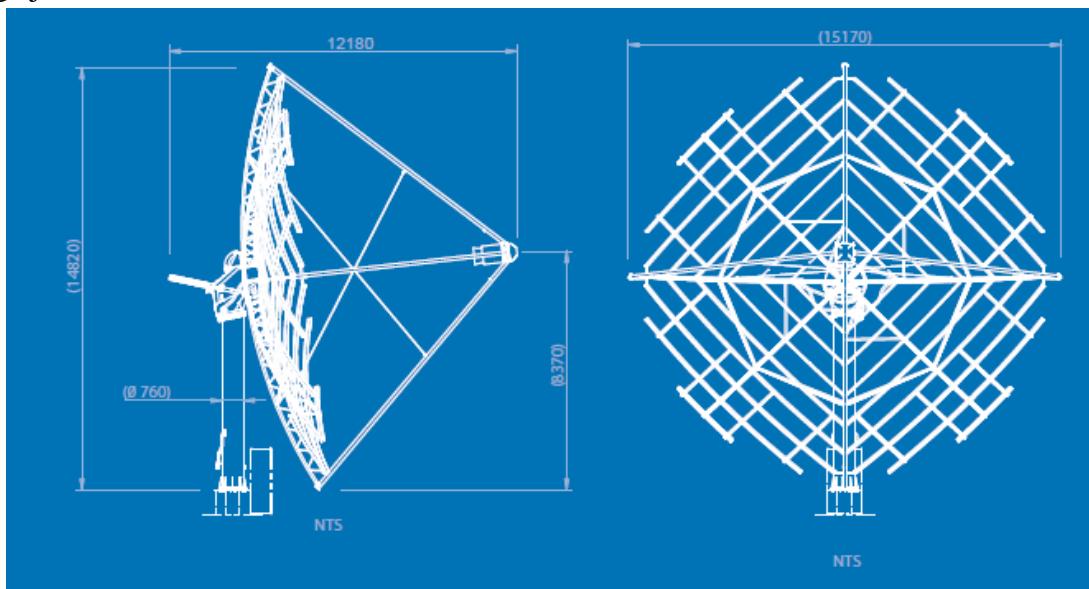
Zbog činjenice, da je veliki broj elektrona ima ili premalu ili prevelu energiju, odnosno ukupno preko 50% i da upravo oni u velikoj meri učestvuju u gubicima, cilj daljih istraživanja je da se napravi ćelija koja bi koristila širi energetski spektar fotona. Od sredine 80-tih godina radi se na stvaranju solarne ćelije koja se sastoji od nekoliko slojeva – praktično je više solarnih ćelija naslagano jedna na drugu, pri čemu svaka od njih maksimalni stepen iskorišćenja postiže samo pri određenoj vrednosti upadne svetlosti. Najbolji rezultati su postignuti sa ćelijom galijum – arsenida i galijum – antimonida. Foto-struju u gornjem delu ćelije stvaraju fotoni vidljivog dela spekta, dok se u donjem delu elektroni pobuđuju infracrvenim zračenjem, pri čemu vidljiva svetlost učestvuje sa 46% a infracrvena sa 49% odnosa, osim za veće napone u odnosu na silicijumske ćelije čiji je napon od 1 – 1.2 V i ovako koncipirane ćelije imaju maksimalni stepen iskorišćenja od 37%. Moguće je koristiti koncentratori, odnosno sočiva, ili ogledala za fokusiranje svetlosti kako bi se uvećao stepen korinog dejstva. Može se reći da ćelija može apsorbovati svetlost sa mnogo veće površine u odnosu na aktivnu pv-kolektorsku površinu, odnosno može biti mnogo manjih dimenzija u odnosu na ćelije od drugih materijala, uz isti učinak, ono što je pogodno je da ove ćelije mogu raditi na temperaturama do 150°C.

3.4.2. Koncept fotonaponske solarne elektrane

Fotonaponska solarna elektrana, takođe može da koristi kolimator, ali se u ovom slučaju solarna energija, odnosno energija fotona pretvara direktno u električnu energiju u procesu fotonaponske konverzije. Sa kolimacijom snopa zračenja moguće je napraviti visok stepen fluksa fotona i umesto jednog poluprovodničkog sloja koji izvodi fotonaponski efekat, moguće je izvesti mrežu fotonaponskih poluprovodnika gde svetlost vrši fotoefekat po dubini omogućavajući visok stepen efikasnosti. Time se vrši ušteda, jer nije potrebno napraviti veliku površinu fotonaponskog elementa, već manju površinu. Sistem fokusirajućih ogledala koji se stalno usmerava normalno ka pravcu upada Sunčevih zraka, drastično povećavaju

efikasnost u odnosu na statične PV – fotoploče. Za standardne fotonaponske elemente, sa svom pratećom elektronikom cena po 1 kW snage je od 6700 do 9000 EUR, a za kolinisane fotonaponske elemente cena je oko 3 puta manja po 1 kW instalirane snage, čime se skraćuje period povratka investicije.

Kolinatorski fotonaponski sistemi su podesni za korišćenje u oblastima gde ima veliki broj sunčanih sati, sa čistom atmosferom, a to su pretežno pustinjski predeli. Pošto elektroenergetski sistemi zemalja su povezani, moguće se efikasno vršiti transport električne energije iz pretežno pustinjskih zemalja do zemalja EU, gde je daleko veća potrošnja. Takođe za fotonaponske sisteme nije potrebna akumulacija energije, kakav je problem kod solarne energije, već efikasno sprovesti električnu energiju do mesta potrošnje. Sa druge stane izgradnja velikih ogledala koja su kompaktna nije preporučljiva jer su vetrovi intenzivni i pesak u pustinjama može da napravi oštećenja na staklu, stoga se ogledala prave tako da su manja i da imaju mogućnost propuštanja vazduha. Zaštitini slojevi preko refleksionih folija, ili preko stakala omogućavaju bolju zaštitu za manje refleksione sisteme, odnosno za manja ogledala. Kod ovih sistema neophodno je da se ustanove pozitivne i negativne strane pojedinih položaja kolimatora i kako da se pojedine pojave izbegnu. U ovom radu biće razmatran kolimatorski PV sistem CS500 – 5, za uslove normiranog prinosa solarne energije da je od 1000 W/m^2 na 25°C , gde je procenjena vrednost izlazne snage od 35 kW u odnosu na risiver. Kako bi se dobila izlazna snaga PV sistema od 1 kW, u proseku sadrži 15 m^2 solarnih panela efikasnosti 13%, tako da za 35 kW površina potrebna da se dobije ovolika snaga je 525 m^2 .



Slika (37) Prikaz dimenzija fotonaponske kolektorske jedinice 35kW tipa CS500 – 5

Solarni PV kolimatorski sistemi koriste gustu poluprovodničku mrežu, kroz koju prolazi sunčevu kolimisano zračenje. Provodničke jedinice imaju trostruk izlaz i operišu na 40% stepena efikasnosti, a ako izračunamo i pretvaranje u AC električnu energiju onda 30% solarne svetlosti koje padne na ogledalski sistem antene se pretvara u električnu energiju, što je daleko veće u odnosu na 13 ili 17% stepena korisnosti što se javlja u ravnim PV kolektorima. Kako bi se poboljšali prinosi energije, potreban je odnos kolimacije od više od 500 puta, odnosno intenzitet ozračivanja da bude više od 500 puta. Ovakav tip PV kolektora,

omogućava snižavanje i stabilniju temperaturu pri radu, veći stepen konverzije i veći iznos izlazne električne energije i veću stabilnost i duži operativni vek. Poluprovodnički slojevi na kojima se vrši fotonaponska konverzija, u 3D imaju za sada je 30%, ali je predviđeno da će doći do uvećanja energetske efikasnosti do 2020-te godine sa unapređenjem poluprovodničkih elemenata, da će biti od 45% do 50%. Teoretičari kvantne fizike predviđaju, da fokusirana svetlost predstavlja veći energetski izvor sa fokusiranim magnetnim poljem i budućnost ovih sistema je iskorišćenje potencijalne energije magnetnog polja. Smatra se da bi sistem koji bi iskoristio magnetnu energiju izgledao kao žiroskop.

Povećanje površine ogledala, ili uvećanje broja ogledala za jedan fokusirajući sistem povećava prinos električne energije na treći stepen, a broj jedinica fokusirajućeg sistema u kompleksu za celu pv solarnu elektranu može biti do nekoliko stotina, tako da se dobija snaga od nekoliko desetina MW. Jedinica solarnog koncentratora sadrži za model CS500 – 5 sadrži 112 ogledala fokusirano na solarni risiver, a težina od 6 tona omogućava lako praćenje pravca Sunčevog zračenja. Poluprovodnička pv – rešetka se mora hladiti gde bi ukupna toploizmenjivačka snaga hlađenja bila od 1400W do 2700W, što je mala vrednost jer se najveći deo energije fotona troši na fotoelektrični efekat.



Slika (38) Izgled pv kolimatorskog kolektora instaliranog u Australiji

Iznosi snage 1000W/m^2 na 25°C	35 kW_{DC}	Ulazna struja	100 A
Maksimalni iznos snage	40 kW_{DC}	Ukupan iznos efikasnosti	95.5%
Izlazna voltaža	$380\text{-}440\text{ V}_{\text{DC}}$	Faktor snage	>0.97
Jačina struje	92 A	Vrednost harmoničkih distorzija	<5%
Ulazna struja – maksimalan napon	600 V _{DC}	Snaga hlađenja	1.4 – 2.7 kW

Tabela (14) parametri rada pv kolimatorskog kolektora CS500 – 5

Koncept pv solarnih kolimatorskih sistema je ušteda u veličini zemljišta, koja je potrebna da bi se instalirao kapacitet od 1MW je 0.4ha, dok je u slučaju klasičnih pv solarnih ploča potrebna površina zemljišta je 1.1 ha/MW.

4. Biomasa

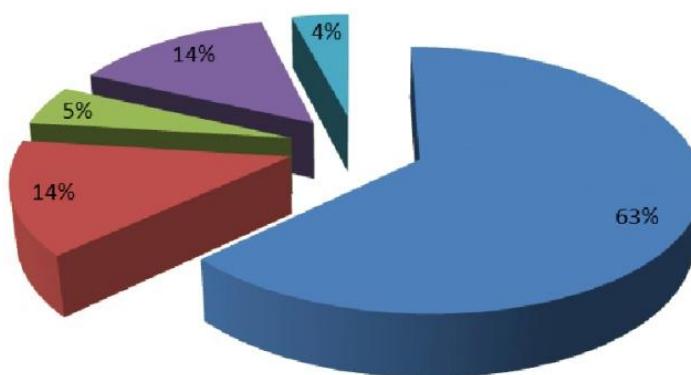
4.1. Nastajanje biomase i definicija biomase

Obnovljivi izvori energije predstavljaju izvore koji se dobijaju u prirodi i imaju sposobnost obnavljanja; u celosti, ili delimično efikasnom i ekološki prihvatljivom upotrebom prirodnih, ili veštački izazvanih procesa.

Obnovljivi izvor energije klasificuju se u nekoliko osnovnih grupa:

- biomasa –biogas/metan, peleti, briketi, biogoriva (biodizel - I, II i III generacije, bioetanol - I i II generacije, biometanol, helio-agrokultura, biobutan, biopropan),
- geotermalna energija,
- energija vode (hidropotencijal),
- energija vetra,
- sunčeva (solarna) energija.

■ biomasa ■ hidropotencijal ■ energija vetra ■ solarna ■ geotermalna



Slika (39) Udeo potencijala OIE u Republici Srbiji (%)

Biomasa je organska supstanca biljnog ili životinjskog porekla i predstavlja jedan od izvora obnovljive energije koji se koristi u procesima sagorevanja ili se konvertuje u sistemima za proizvodnju energije (toplote i električne).

Prema Direktivi EU broj 2003/30/EC od 08.05.2003., član 2., BIOMASA je biorazgradiva frakcija proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (uključujući i biljne i životinjske supstance), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradive frakcije iz komunalnog i industrijskog otpada čije je korišćenje u energetici dopušteno, u skladu sa odgovarajućim propisom iz oblasti zaštite životne sredine.

Biomasa je javlja u prirodi ili kao nus proizvod čovekovih delatnosti u više pojavnih oblika od kojih su neki:

- otpad biljnog porekla iz poljoprivrede i šumarstva,
- otpad biljnog porekla iz prehrambene industrije (za proizvodnju toplotne energije),
- vlaknasti biljni otpad iz proizvodnje celuloze i papira iz celuloze (za proizvodnju toplotne energije iz proceda ko-insineracije),

- otpad poreklom iz drvno prerađivačke industrije (osim drvnog otpada koji može da sadrži halogenovana organska jedinjenja ili teške metale poreklom iz sredstava za zaštitu drveta).

4.2. Mogućnosti korišćenja biomase u energetske svrhe

Biomasa se javlja u: čvrstom (briketirana biomasa), tečnom (biodizel, bioetanol, biometanol) i gasovitom agregatnom stanju npr. biogas, deponijski gas). Biomasa biljnog porekla predstavlja produkt procesa fotosinteze u biljnim organizmima. Biomasa životinjskog porekla nastaje kao produkt- ostatak u procesu ishrane životinja. Ovako objašnjen pojam je veoma širok, ali osnovni koncept je da se biomasa stalno troši i obnavlja, u ciklusu kruženja materije i proticanja energije u prirodi. Čovek, svojim akvinostima, povećava količinu biomase koja kruži u životnoj sredini. Biomasu čine proizvodi biljnog i životinjskog porekla (neiskorišćeni delovi drvno-prerađivačke industrije, poljoprivredne proizvodnje, prehrambene industrije, komunalnog otpada organskog porekla i sl.).

U poljoprivrednoj proizvodnji ostaje velika količina neiskorišćene biomase. Takođe, u ratarskom proizvodnom procesu ostaju značajne količine bio otpada: ostaci pri rezidbi stabala voća, vinove loze i maslina, slama, kukuruzovina, stabljike suncokreta, i sl. Pažljivo planiranim postupkom upravljanja šumskim potencijalom, povećava se prinos biomase koji se može ostvariti iz oblasti šumarstva, odnosno ostatak biomase koja se dobija iz drvno-prerađivačke industrije. Republika Srbija, koja je pretežno poljoprivredna zemlja, poseduje veliki potencijal korišćenja biomase poreklom od poljoprivrede, šumarstva i industrije prerade drveta. Tehnički iskoristiv godišnji energetski potencijal biomase u Republici Srbiji iznosi oko 2.7 Mtoe⁴. Energetski potencijal biomase od šumarstva i drvne industrije (seča drveća i ostaci od drveća proizvedeni u toku primarne i/ili industrijske prerade drveta) se procenjuje na približno 1.0 Mtoe, dok bi oko 1.7 Mtoe potiče od poljoprivredne biomase (poljoprivrednog otpada i ostataka iz ratarstva, uključujući i tečno stajsko đubrivo). Biomasa se tradicionalno koristi za proizvodnju toplotne energije i procenjena je na 0.3 Mtoe 2008. godine⁵, što je ekvivalent energiji prirodnog gasa u vrednosti od 637.000.000 USD.

U Nacrtu Akcionog plana za biomasu, kao najperspektivnije mogućnosti za korišćenje biomase u Republici Srbiji navode se:

- zagrevanje stambenih jedinica i industrijskih pogona korišćenjem peleta ili briketa poreklom od biomase,
- ko-sagorevanje ili potpuna zamena loženja mazuta ili uglja u toplanama,
- proizvodnja električne struje korišćenjem ostataka iz poljoprivrede i drvne industrije i
- proizvodnja biogoriva.

Osnovne termoenergetske karakteristike drveta su: toplotna moć, sadržaj VOC-ova, IR, količina i sastav pepela, gustina, vlažnost drveta, itd. Upotrebljena vrednost drveta kao energenta može se adekvatno proceniti ukoliko je moguće izračunati njegovu gornju toplotnu moć.

⁴ 1 Mtoe – million tona ekvivalentne lake nafte je izraz za vrednost energije $1 \text{ Mtoe} = 41.86 \cdot 10^{15} \text{ J}$

⁵ Akcioni plan za biomasu 2010. – 2012. , Vlada Republike Srbije, 2010.

4.2.1. Potencijal drvne biomase u termoenergetske svrhe

Gornja toplotna moć drveta, realizuje se kada je drvo u absolutno suvom stanju, i razlikuje se kod različitih vrsta drveta⁶. Ove razlike su u korelaciji sa učešćem osnovnih komponenata i ekstraktiva u strukturi drveta. Drvo u absolutno suvom stanju sastoji se od ugljenika, vodonika i kiseonika. Osim ovih osnovnih elemenata u sastav drveta u manjem procentu ulaze azot, sumpor kao i mikroelementi, koji su osnovni sastojci pepela nakon sagorevanja drveta. Elementarni hemijski sastav drveta zavisi od: vrste drveta, starosti drveta i dela drveta odakle se uzima uzorak. Stvarni energetski efekti, koji bi se dobili sagorevanjem, su uvek manji od energetskog potencijala ili gornje toplotne moći.

Toplotni potencijal drveta direktno zavisi od njegove vlažnosti koja predstavlja najvažniji faktor u ispitivanju sagorevanja biomase. Drveni otpadak ima:

- **Spoljnu navlaženost**, ako je drveni otpadak ležao u vodi, ili je bio zalivan vodom, ili ako je bilo pod uticajem snega ili leda. Ova navlaženost se otklanja otapanjem i cedenjem.
- **Sopstvenu vlažnost**, u kojoj razlikujemo vodu u lumenima i sudovima ćelija tzv. *slobodnu vodu* i vodu higroskopno vezanu za zidove ćelije, tzv. *vezanu vodu*. Sopstvena vlažnost se otklanja prirodnim ili industrijskim sušenjem u preradi biomase radi dobijanja briketa.

Obe vrste sušenja imaju svoje prednosti i mane. Osnovne mane prirodnog sušenja dužina su dugo vreme potrebno za sušenje i neravnomerno sušenje, a kod industrijskog sušenja mana je veliki utrošak energije. Prilikom proučavanja kvaliteta drvne mase, uobičajeno je da se relativno učešće vlage u drvetu računa u odnosu na absolutno suvu materiju.

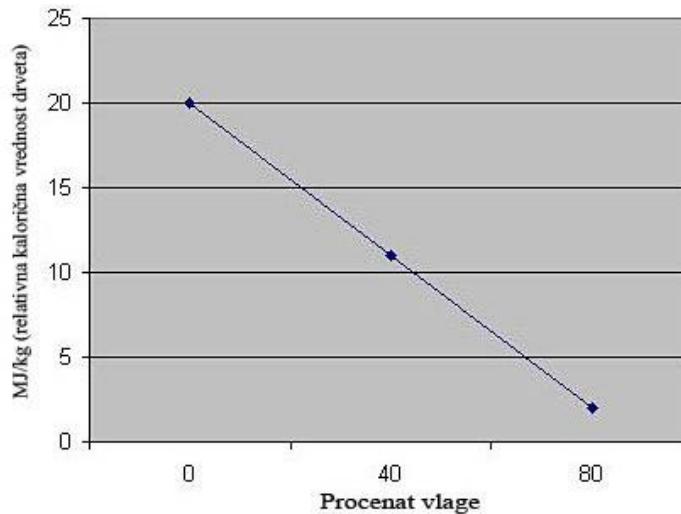
Drvo povećane vlažnosti ima nižu toplotnu moć i manju efikasnost pri sagorevanju. Vlaga pri sagorevanju predstavlja nekoristan sastojak koji dodatno smanjuje toplotnu moć drveta. Deo toplote oslobođene sagorevanjem drveta koristi se za isparavanje vlage i pregrevanje vodene pare do temperature u ložištu. U ložištu kotla troši se približno 2500kJ/kg za isparavanje vode i nešto manja količina toplote za njeno pregrevanje. Na ovu količinu oslobođene vode treba dodati i vodu nastalu sagorevanjem vodonika iz goriva. Takođe, ukupnom iznosu energije potrebnom za preradu biomase, neophodno je dodati i energiju potrebnu za sušenje drveta.

Gorivo	Vlažnost (%)	Gornja toplotna moć (MJ/kg)	Stepen iskorišćenja ložišta (%)	Korisna toplota (MJ/kg)
Drvno	0	19,8	80	15,8
	10	17,8	78	13,9
	40	14,5	74	12,1
	70	12	72	8,6

Tabela (15) Karakteristične vrednosti korisne toplote u zavisnosti od udela vlažnosti u sagoreloj drvnoj biomasi

Povećanjem procentualnog učešća vode u ukupnoj zapremini drvne biomase smanjuje se korisna toplotna moć.

⁶ M.Brkić, M.Tešić, T.Furman, M.Martinov, T.Janić: „Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranje otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine”-studija; Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad 2007. godine,



Slika (40) Funkcionalna zavisnost gornje toplotne vrednosti drvne biomase topole od udela vlažnosti

Isparljivi sastojci u drvetu su uglavnom laki ugljovodonici. Maseno učešće volatila u drvetu određuje se merenjem čvrstog ostatka nakon sedmominsutnog zagrevanja uzorka drveta u peći, na temperaturi od 900°C i to bez prisustva kiseonika. Srednje maseno učešće volatila u domaćim vrstama drveta je oko 75%, koksног ostatka od 15% do 20%, a pepela do 0.6%. Navedene vrednosti se razlikuju za različite vrste drveća i delove stabla odakle se uzima uzorak. Najčešći elementi koji ostaju nakon sagorevanja drveta u obliku pepela su: kalijum, natrijum, magnezijum koji čine od 0.5% do 4% mase drveta. S obzirom na to da se najveći deo sakupljene drvne biomase u Nacionalnom parku Fruška gora dobija prikupljanjem otpalih grana i starih i obolelih stabala (koje sadrže više mineralnih materija nego ogoljena oblovina) može se očekivati da dobijena biomasa koja ima povećan procenat mineralnih materija.

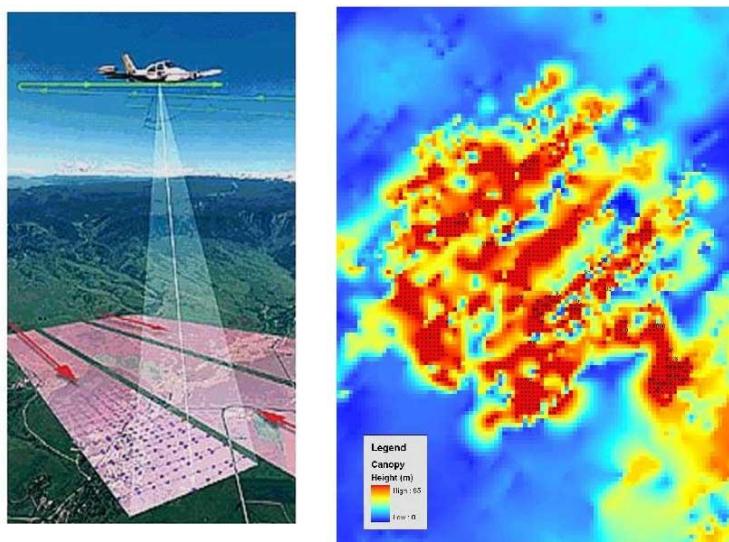
Sakupljena drvna biomasa iz Nacionalnog parka je u odnosu na kvalitet niža vrednosti od kvaliteta drvne biomase koja se može sakupiti iz primarne drvne industrije, odnosno iz pilana. Ipak, drvna masa sakupljena na teritoriji Nacionalnog parka može se efikasno iskoristiti za dobijanje visokokvalitetnih briketa koji bi zadovoljili postavljene ptCEN/TS-14961 standarde.

Vrsta	Relativna toplota	Lako za sagorevanje	Lako za komadanje	Prisutan dim	Izbacuje iskre	Aroma pri sagorevanju	Donja kalorična vrednost (MJ/kg)	Gustina (kg/m ³)	Generalna ocena
Jasen	Visoka	Da	Da	Ne	Ne	Minimaln.	13.11	670	Odlično
Hrast	Visoka	Da	Ne	Ne	Ne	Delimično	14.28	590-930	Odlično
Bukva	Visoka	Da	Da	Ne	Ne	Min	14.11	680-720	Odlično
Javor	Visoko	Da	Ne	Ne	Ne	Nema	14.17	755	Odlično
Brest	Srednje	Srednje	Ne	Srednje	Ne	Srednje	14.13	690	Srednje
Lipa	Nisko	Da	Da	Srednje	Ne	Nema	14.2	560	Srednje
Bagrem	Visoko	Slabo	Ne	Nema	Nema	Min	15.22	520-733	Dobro
Grab	Visoko	Ne	Ne	Nema	Nema	Nema	14.14	/	Odlično
Topola	Nisko	Da	Da	srednje	Ne	Nema	13.73	710	Srednje

Tabela (16) Podaci o karakteristikama materijala različitih vrsta drveta i o načinu sagorevanja, kao i kaloričnoj vrednosti prilikom sagorevanja za 20% prisutne vlažnosti

Maseni koeficijenti i relativne gustine su podaci koji su dati za drvnu biomasu koja sadrži oko 20% vlažnosti. Ukoliko se smanji stepen vlažnosti, smanjuje se relativna gustina, a kalorična vrednost (Donja kalorična vrednost MJ/kg) se povećava. Ukoliko se posmatra primena drvne biomase u proizvodnji briketa, drvna biomasa koja je prerađena i briketirana daje mnogo bolje rezultate pri sagorevanju. Obično se biomasa industrijski suši na 12% vlažnosti, kada se primenjuje u procesu dobijanja briketa. Generalno gledano, meko drveće je lako i ono sagoreva lako i relativno brzo, sa vatrom visoke temperature, sa tendencijom da bacanja iskre. Tvrdo drveće po osobinama sagorevanja je takvo da teško počinje da gori, ali nakon toga sagorevanje je dugotrajnije i ravnomerno raspoređeno po površini drveta. Sećeno drvo u sebi sadrži veoma veliki sadržaj vlažnosti, nekad i više od 60% težine drveta predstavlja voda, te je zato neophodno tehnički rešiti proces sušenja u smislu prilagođavanja drvne otpadne biomase pre samog postupka briketiranja. Ovo se najčešće vrši primenom „rotacionih bubanj” sušilica ili upotreboom sušilica koje u isto vreme vrše sitnjene i sušenje-dinamička metoda sušenja biomase.

Francuska, Švedska i Danska su precizno analizirale svoje šumske fondove upotrebom LiDAR sistema, kako bi definisale mere održivog gazdovanja šuma. Naredna slika prikazuje koncept LiDAR snimanja iz aviona, koja služi za procenu količine drvne biomase, gde se na osnovu dobijenih snimaka-slika desno mogu odrediti područija u kojima je šuma bolesna ili oblasti u kojima je preporučljiva seča šuma.



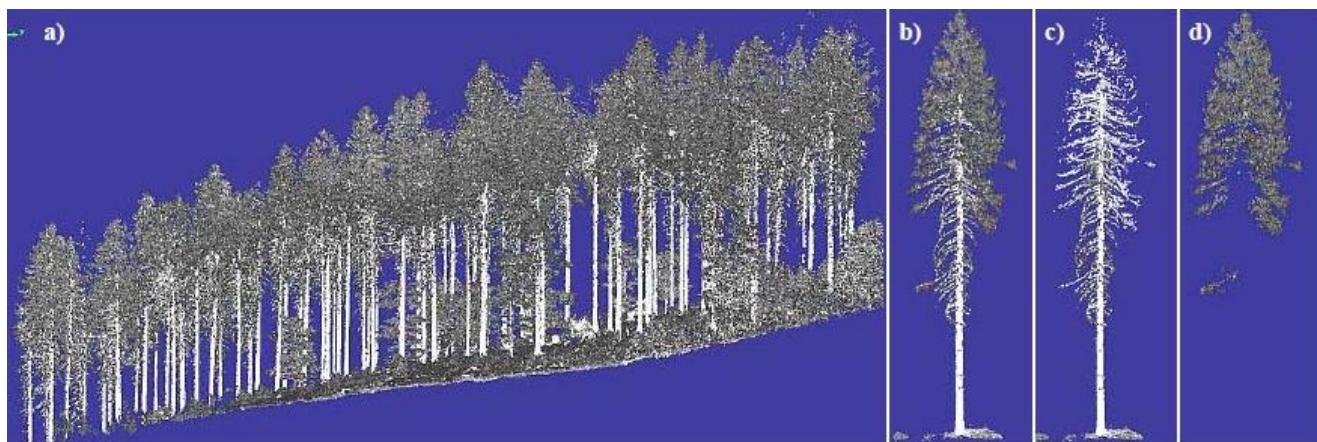
Slika (41) Princip snimanja šumskih površina LiDAR metodom i dobijeni snimak

LiDAR je tehnika snimanja šuma putem lasera, koji radi na talasnim dužinama $\lambda = 900 - 1064\text{nm}$. u kombinaciji sa digitalnim snimanjem termičkih i vizuelnih slika šuma. Kombinacijom ovih tehnika mogu se dobiti precizniji podaci za analizu obolelih drveća i druge značajne informacije, kao što je dostupna količina drvne otpadne biomase. Snimanjem se dobijaju trodimenzionalni modeli krošnji drveća i moguće je dobiti procenu količine biomase u krošnjama drveta, što je primaran izvor drvne otpadne biomase sa teritorije Nacionalnog parka „Fruška gora”. Može se navesti primer upotrebe i merenja LiDAR na borovim drvećem u Norveškoj. Instrument snimanja Ilris-3d Optech Kanada, a režim snimanja je frekvencija laserskog snopa od 2500Hz. Rezultati snimanja zavise od ugla

snimanja sa zemlje i računarskih programa-softvera koji vrše propagaciju dostupne količine biomase.

	Starost	Debljina stabla	Visina	Br. drveća/ha	Dužina žive krošnje m	Dužina mrtve krošnje	Broj grana	Relativan odnos biomase%
Tip 1 drveća	100-110	0,53	40m	160	16,4(43)	6,0(26)	10	11%-sa lišćem 13,2%
Tip 2 drveća	75	37	29m	420	13,2(37)	3,0(21)	8	10,8% / 12.8%

Tabela (17) Osnovni rezultati LiDAR snimanja za dve generacije biljaka. Snimanje je izvršeno nad šumom crnog bora u Norveškoj



Slika (42) prikaz je infracrveni snimak jednog malog područja šume crnog bora u Norveškoj, čiji rezultati su navedeni u predhodnoj tabeli; a.-prikazan je kombinovani snimak dobijen LiDAR snimanjem; b-snimak pojedinačnog drveta, gde je snimljeno i stablo i krošnja, c-izdvojen snimak grana i stabala bez lišća i d-izdvojen snimak listova.

Rezultat ovog merenja je dobijanje kvadratne funkcije u kojoj je zavisan parametar masa suve drvne biomase, a nezavisan parametar ove kvadratne jednačine je debljina stabla drveta:

$$M_{sdm} = 21.297 - 6.953D + 0.74D^2 \quad (67)$$

D- je prsna debljina stabla -srednja vrednost prečnika stabla na 1.3m visine od površine zemljišta; M_{sdm} -je količina drvne biomase koja sadrži malu količinu vlage. Podatak koji se dobija relacijom 1. se izražava u kilogramima, a u okviru formule se koristi prsna debljina u centimetrima.

Merna nesigurnost podatka prsne debljine stabla zavisi od broja stabala čija prsna debljina izmerena-n, a u formuli se uzima srednja vrednost izmerenih prsnih debljina-D. Merna nesigurnost usrednjene vrednosti prsne debljine je:

$$D + \delta(D) = \sqrt{\sum_{i=1}^n D^2 / n} \quad (68)$$

$\delta(D)$ -je merna nesigurnost izračunate srednje vrednosti prsne debljine drveća. Merna nesigurnost se odnosi na mogućnost varijacije podatka pri usrednjivanju vrednosti za prsnu debljinu. Relacija broj 1 i 2 biće upotrebljene za proveru vrednosti dobijene otpadne drvne biomase dobijenu izračunavanjem na osnovu srednje vrednosti prsne debljine (u daljem tekstu M_{PV}) i vrednosti količine drvne otpadne biomase dobenu merenjem od strane Javnog

preduzeća „Nacionalni park Fruška gora” (u daljem tekstu M_{NP}) po jednom hektaru⁷. Upoređivanjem rezultata preliminarnih merenja iz projekta potvrđano je da se dobija malo relativno odstupanje između vrednosti M_{PV} i M_{NP} stoga, je moguće koristiti podatak o prsnoj debljini-D da bi se dobila orijentaciona količina drvne biomase, a time i količina otpadne drvne biomase. Kako bi se relacija () iskoristila za izračunavanje podatka o količini otpadne drvne biomase po jednom hektaru potreban je podatak o srednjoj vrednosti drveća po jednom hektaru.

Prema podacima merenja LiDAR metodom u Norveškoj, koja su delom navedeni u tabeli 4. može se izračunati srednja vrednost biomase koju nose grane, lišće i ostaci u samoj šumi i utvrditi koliko je procentualno učešće otpadne drvne biomase u odnosu na ukupnu količinu drvne biomase. Na osnovu tabele () može se zaključiti dadrvnu otpadnu biomasu čini ukupno oko 13%-sto je šumski ostatak bez kore, odnosno 11%-tanke grane i 2%-lišće u maloj količini, ovaj procenat šumskog ostatka je moguće naći u šumi nakon seče drveta.

Panjevi i korenje posećenih stabala su neracionalni za korišćenje u svojstvu drvne otpadne biomase zato što je potrebna velika količina energije da bi složena mehanizacija izvršila vađenje korena i panjeva iz zemlje. Zato se po pravilu, panjevi i korenje ostavljaju u zemlji, i njihova količina biomase je oko 18% od ukupne zapremine drveta.

	Procenat ostatka	komentar
kora od oblovine	4%	ostaje u šumi
šumski ostatak sa korom	9%	ostaje u šumi delimično se koristi
grane sa korom	11%	ostaje u šumi delimično se koristi
panjevi sa korenom	18%	ostaje u šumi
Lišće	2%	ostaje u šumi
Korisni ostatak	56%	
Ukupno korisno iz šume	max. 23%, optimalno 19%	korisno

Tabela (18) Udeo ostataka koji ostaju u šumi nakon seče šume ove vrednosti su potvrđene merenjem LiDAR metodom

Prema vrednostima iz tabele () i osnovnim karakteristikama šuma Nacionalnog parka Fruška gora i ukupne površine može se teorijski izračunati kolika je količina drvnog ostatka. Podaci značajni za teorijsko izračunavanje količine drvnog ostatka su:

- Površina pokrivena šumom - 23066.82 ha;
- Površina šuma u kojima važi II stepen zaštite šuma-15455 ha (67%);
- Površina šuma u kojima važi III stepen zaštite šuma-5305 ha (29.3%);
- Srednja vrednost zapremine drvne biomase po hektaru- $245m^3/ha$;
- Srednja vrednost prinosa – zapreminski prirast drvne mase- $6.22m^3/ha/god$ i
- Procenat površine sa kojih je moguće vršiti sakupljanje drvne biomase – 65%

⁷ Podaci i merenje iz Projekta „Mogućnosti primene otpadne drvne biomase kao izvora energije u Vojvodini”

Dobijena vrednost za srednju vrednost gustine za drvnu biomasu je 624.84 kg/m^3 , što je izračunato preko udela pojedinih vrsta drveća u ukupnom šumskom fondu Nacionalnog parka Fruška gora i vrednosti gustine tabela (). Prema uslovima koji su zadati zakonskim odredbama može se izvesti zaključak da 1/3 od otpalih granja se ne može sakupiti, radi očuvanja biodiverziteta, a panjeve i samo lišće nije praktično sakupljati. Takođe je korisno sakupiti drvnu otpadnu biomasu od starih i obolelih stabala, koja se planski krče. Procenat drvne otpadne biomase od ukupnog procenta drvne biomase je prema navedenim uslovima je 10.4%. Od ovog procenta se može prema podatku o srednjoj vrednosti prinosa drvne biomase izračunati prinos dostupne količina drvne biomase za jednu godinu.

Dobijena teorijska vrednost za količinu drvne otpadne biomase koja je podesna za sakupljanje na teritoriji Nacionalnog parka Fruška gora je 8730 m^3 5454.22 tone godišnje. Dobijena vrednost je količina drvne otpadne biomase koja se obnovi u roku od godinu dana, što bi bio slučaj kada bi se na teritoriji Nacionalnog parka sistematično sakupljaodrvni otpad.

4.2.2. Procena količine otpadne agro – biomase

Za razliku od šumske, odnosno drvne biomase, koja zahteva merenja potencijala količine drvne biomase, za agro – biomasu je lakše proceniti koliki je ukupna dostupna količina biomase i koliki je njen energetski potencijal. Podaci o dostupnim količinama zavise od setve useva, što je proces koji je kontrolisan agrarnom proizvodnjom i precizno vođenje analiza posejanih površina vode ka preciznom utvrđivanju potencijala agro-biomase. Osnovni energetski potencijal agrobiomase je prisustvo lignoceluloznih materija, odnosno prisutnost elemenata C – ugljenika, H – vodonika i O – kiseonika, gde se direktnim merenjem prisutnosti ovih elemenata izračunava se kolika je kalorijska vrednost.

U objedinjenoj studiji Pokrajinskog sekretarijata za Energetiku i mineralne sirovine, Izvršnog veća Autonomne Pokrajine Vojvodine, data je precizna analiza potencijala poljoprivredne biomase u Vojvodini i Srbiji, koja ima za cilj implementaciju modernih tehnoloških postupaka za obradu biomase i korišćenje u termoenergetskim svrham.

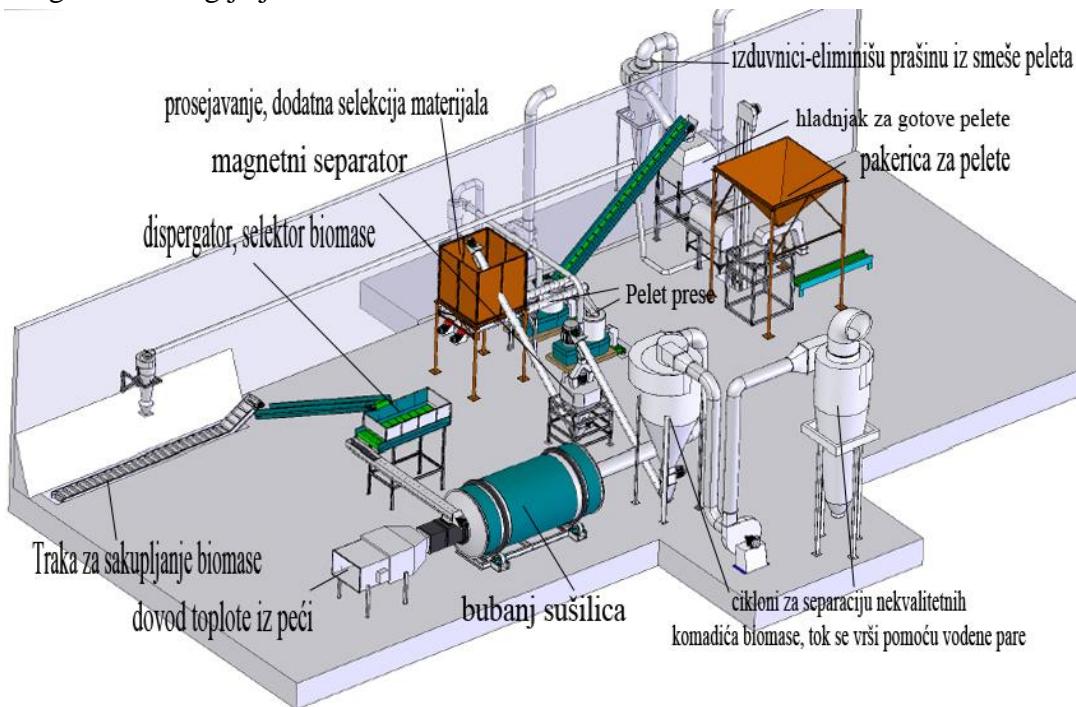
Biomasa	Biomasa za sagorevanje (25%) u 10^3 t	Donja topotna moć (MJ/kg)	Ekvivalentna vrednost lake nafte u ktoe
Pšenična slama	743,75	14	247,92
Ječmena slama	103,13	14,2	34,87
Ovsena slama	6,4	14,5	2,21
Ražena slama	3	14	1
Kukuruzovina	1787,5	13,5	574,55
Semenski ostatak kukuruza	21,56	13,85	7,11
Oklasak	357	14,7	124,95
Stabljika suncokreta	200	14,5	69,05
Ljuske suncokreta	30	17,55	12,54
Slama od soje	80	15,7	29,9
Slama od uljane repice	75	17,4	31,07
Stabljika od hmelja	1,98	14	0,66
Stabljika duvana	0,26	13,85	0,09
Rezidba u voćnjacima	289,44	14,15	97,5
Rezidba u vinogradima	71,55	14	23,85
Stajnjak	110	23	60,24
Ukupno	3880,57	14,26	$1317,51 = 54,4 \cdot 10^{15} \text{ J}$

Tabela (19) Energetski potencijali agro – biomase u Srbiji

4.2.3. Postupak briketiranja i peletiranja biomase

Briketiranje-peletiranje – Tehnologija briketiranja peletiranja je postupak prilikom kojeg se usitnjeni materijal pod visokim pritiskom pretvara u kompaktnu formu velike zapremske mase, pogodne za dalju manipulaciju i korišćenje. Konačan proizvod briketiranja naziva se briket, odnosno ako je drugačiji sistem proizvodnje onda se naziva pelet. Prema odnosu veličine može se reći da proces briketiranja i peletiranja predstavlja meru povećanja gustine energije, radi oblikovanja drvne, odnosno agro – biomase u formu koja je prihvatljiva za upotrebu peći na biomasu manje snage od 15kW do 150kW. Za peći veće snage, moguće je bez predhodnog procesa peletiranja koristiti biomasa, ukoliko je dostupna u regionu. Zadrvnu biomasu, u formi drvenog čipsa, što su granulirani komadi drvne biomase veličine do 12 mm, ekonomski prihvatljivo rastojanje eksploracije do mesta upotrebe je do 100 km, a za agrobiomasu ekonomski prihvatljivo rastojanje je do 50km. Pelete omogućavaju da se ekonomski prihvatljiva rastojanja od mesta obrade do mesta upotrebe produže na 1600km i međunarodno tržište peleta je zato veoma dobro organizovano i bez obzira na međunarodne ekonomske uslove, pelete, kao biogorivo su uvek tražene.

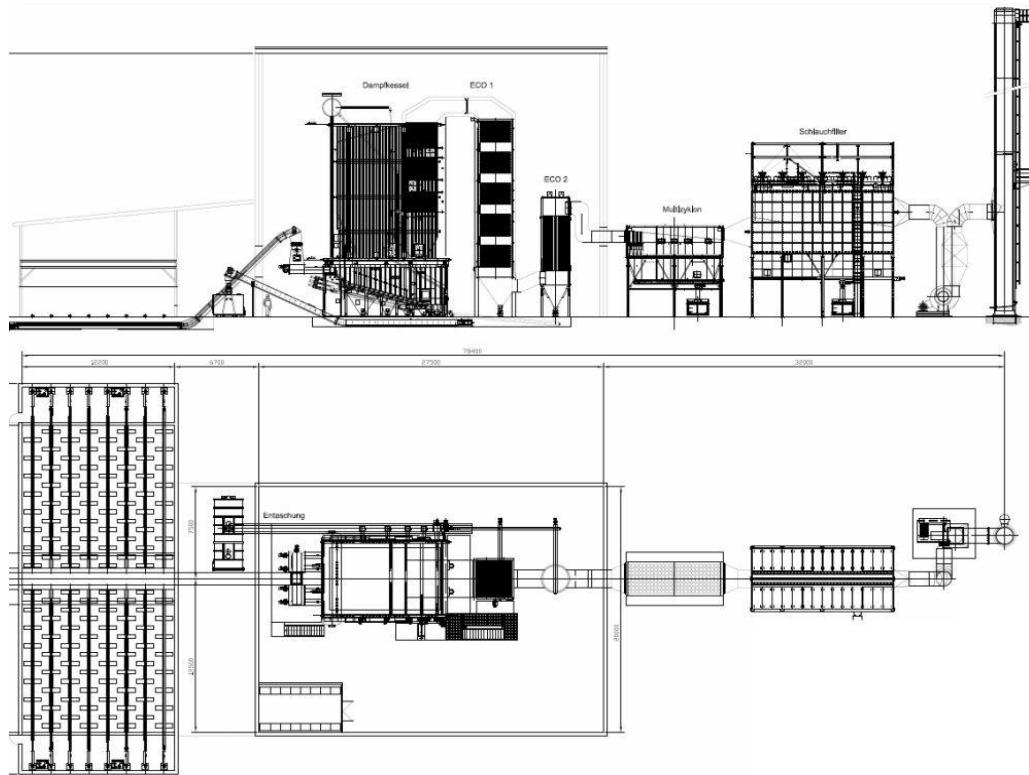
U slučaju agrobiomase koja nije prerađena, gustina energije je 4.8 GJ/m^3 , a u slučaju drvne biomase u neprerađenoj formi, gustina energije je 9.2 GJ/m^3 . Kada se u procesu peletiranja dobije proizvod – pelete u proseku se potroši 23% biomase, ali se ona selektira na kvalitetnu i biomasu sa manjim kvalitetom, koji se sagoreva, radi dobijanja toplotne energije u procesu peletiranja, tada je gustina energije 16 GJ/m^3 za drvene pelete, odnosno za agropelete gustina energije je 14.2 GJ/m^3 .



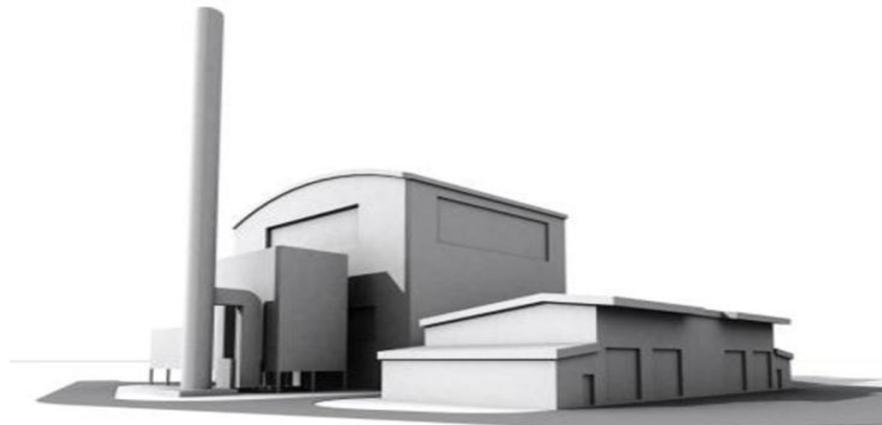
Slika (43) prikaz modernog koncepta pelet postrojenja kapaciteta 3 t/h, instalirano u Hrtkovcima, projekat GREEN – GROUP i firme Angler

4.2.4. Praktična upotreba biomase radi dobijanja energije

Razmatranje projekta Termoelektrana – toplana CHP na biomasu snage 19MWe – Laktaši Republika Srpska. Tehnologija kogeneracije toplove na biomasu (kombinovanu drvnu i poljoprivrednu) preko parnog kotla i parne turbine, gde postoji sistem za dodatan izvor toplove mazut sa izlaznom snagom 17,5 MW. Kotao se bazira na gorioniku na 2 goriva – **co-firing** sistem, koji može u budućnosti da radi na prirodnim gasima. Biomasa u procesu sagorevanja zagreva parni kotao i energiju, u vidu vodene pare preusmeravaju toplotu na parne turbine za generisanje električne energije. Biomasa kao izvori energije zasnovan je na određenoj dostupnoj količini - drvene biomase, obrađeno u drvnu sečku u regionu gde se instalira TE-TO. Pokretanje turbine u potpunom kondenzacionom režimu, tj u toku ne-grejnog dela sezone, odnosno prosečno oko 6000 sati što omogućava proizvodnju 41,600 MWh toplotne energije, odnosno oko **150,000 GJ/god** što bi trebalo da se isporučuje u toku grejne sezone, što je oko 2,300 sati godišnje. U ovom periodu proizvodnja električne energije se vrši na snazi od 15MW -električne. Kotao se isporučuje sa dva gorionika -2 vrste goriva za sagorevanje prirodnog gasa, kao opcije u budućnosti. Kao varijantu br 2 dodatno je ponuđen kompletan program za grejanje na ugalj, snagom od 17 MW. U okviru sistema proizvodnje i isporuke toplotne i električne energije zahteva postavljanje komunikacionih kablova i raznih komunikacionih sistema sa transfer stanicama na centralu dispečerskog resursa. Co-firing sistem omogućava da ako se u regionu lokacije instaliranja TE-TO da se koristi pored biomase i prirodni gas ili po opciji da bude angažovana dodatna proizvodnja uglja.



Slika (44) Šema parnog kotla na drvnu biomasu



Slika (45) Vizuelni prikaz postrojenja

1. Sistem za kogeneraciju na drvnu biomasu		
Snaga generatora na terminalima u MW parna kondenzaciona turbina		19 MW
Parametri kotla	Potrošnja drvne biomase-čipsa na sat (za 10MJ/kg)	6 tona
	Mak. pritisak i temperatura pare u bar / ° C	64 bar / 480 ° C*
	Količina pare t / h	66,8 t/h
	Potrošnja goriva u 10MJ/kg kalorijske vrednosti	22500 kg/h
	Sopstvena potrošnja postrojenja max / min kW u	1859/1280 kW
Parametri pare pre turbine	Količina pare tona / sat.	21,5 t/h
	Pritisak pare (bar)	61,44 bar
	Temperatura pare (° C)	475 C
Dovođenje toplice	Toplotna snaga za regulaciju u MW sistem	21 MW
	Dobijena količina toplice za 2000 sati rada - GJ / god	151200 GJ
	Mak. snaga generatora na terminalima u punom	15 MW
Ostali parametri turbosetu	Pritisak turbine (bar)	0,051 bar
	Potrošnja vode za hlađenje	57,86 t/h
	Potrošnja električne energije u turbosetu kW	320 kW

2. Kotao na mazut	
Očekivana snaga kotla	17,5 MW

3. Voda-cevi kotla ugalj fluidizovanim krevet bojler:		
Snaga generatora na terminalima u MW parna kondenzaciona turbina		17 MW
Toplotna snaga kotla minimalna fluidizovanim krevet		4 MW
Parametri kotla	Dizajn pritisak	6 bar
	Efikasnost kotla pri nominalnoj snazi	86 – 88 %
	Gradijent temperature vode	70/110 C
	Minimalna temperatura vode	70 C
	Maksimalna temperatura vode	110 C
	Maksimalna količina pare na najvećem rasponu snage i raspon temperature od 40 ° C	365500 kg/h
Parametri pare pre turbine	Granulacija veličina usitnjjenog uglja	0 – 20 mm
	Sadržaj sumpora maks:	1,7% od cele mase
	Vlažnost	6,5 %
	Potrošnja goriva na 8 toplotne vrednosti, MJ / kg	8895 kg/h
Dimnih	Protok dimnih gasova (pri maksimalnoj snazi)	32000 Nm ³ /h
	Temperatura dimnih gasova na izlazu iz kotla	180 C
Vazduha za sagorevanje	Zapreminski protok vazduha (pri maks. snazi)	30478 Nm ³ /h
	Nominalna temperatura	20 C
	Hidraulički otpor kotla mak	50 kPa
	Instalirana električne energija - potrošnja	260 kW
	Koeficijent tekuće potrošnje	0,77
	Zapremina vode u kotlu	16 m ³

Tabela (20) Osobine rada u TE-TO u opcijama za instaliranu upotrebu drvne biomase, mazuta i uglja

Instaliranje TE-TO zahteva prilagođavanje infrastrukture:

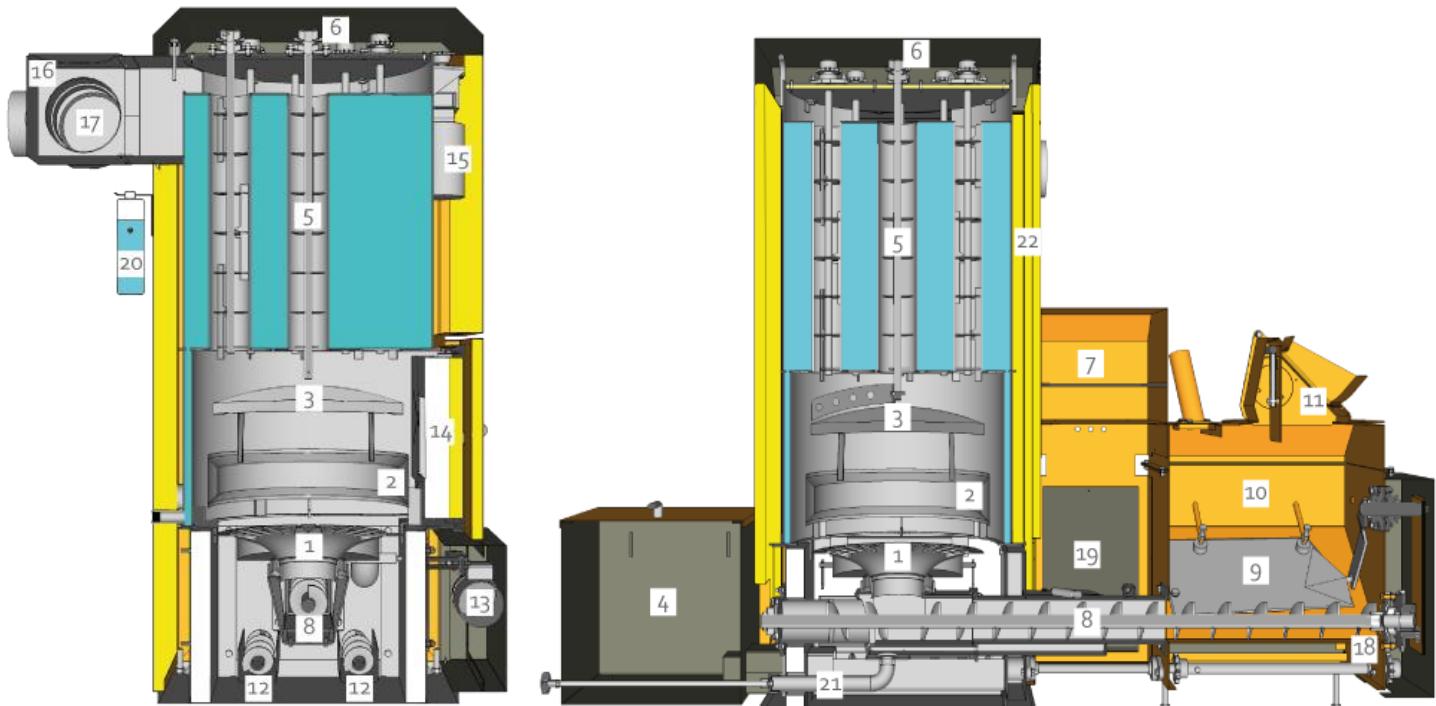
- Zemljani radovi
- Građevinski radovi
- Vodovod i kanalizacija
- Otvoreni tretman obrade goriva i komunikacije
- Izgradnja kotlarnice i spremište za maziva (kod ugalja) i ustanova u postrojenju
- Izgradnja prostorije skladištenja i odeljenja za transport uglja
- Izgradnja podstanica i visok napon podstanice

Veza sa elektrodistribucijom TC-S sisteme i unapređenje trafostanica, koje su u Srbiji i susednim zemljama neefikasni. Cena za instaliranje kotla na biomasu za celo odljenjenje TE-TO, zajedno sa svom pratećom infrastrukturom za 19 MW el. snage je oko 24 miliona EUR. Druga opcija za instaliranje TE-TO je da bude postavljen gorionik na mazut, odakle se mogu videti odnosi troškova za postavljanje TE-TO na drvnu biomasu, na mazut ili na ugalj, čime se može videti koliki je odnos navratnosti investiranja u upotrebu buiomase. Ukoliko se čitavom sistemu dodaju gorionici i tehnika za upotrebu mazuta za grejanje, u tom slučaju cena instalacije bila bi 31.5 miliona EUR i u slučaju za instaliranje sistema za efikasno sagorevanje uglja radi dobijanja električne i toplotne energije, cena implementacije elektrane TE-TO odeljenja bila bi 34 miliona EUR.

Snaga postrojenja	19 MW elekt.
Kalorijska vrednost goriva	10 MJ/kg
Cena goriva	25 Euro/t
Potrošnja u satu	22500 kg/h
Troškovi rada po jednom satu	563 Eur/h
Godišnja potrošnja goriva	180 000 tona/god
Godišnji troškovi goriva	1,200,000 Eur/god
Instalirano. Električna snaga (na kotlu)	1859 kW
Sopstvena neposredna potrošnja (kotao)	1280 kW
Prosečno vreme sopstvene potrošnje električne energije. uključen kondenzator (200 kW) i turboaset	1900 kW/h
Cena po 1 kW EE	0,0700 Euro/kWh
Troškovi EE po satu	133 Euro/kWh
Godišnji troškovi EE	1 064 000 €
Troškovi operative po satu	696 €
Broj radnih sati h / god.	8000 h./god
Godišnja zarada od el.energije	5 564 000 Euro/god
Godišnji režijski troškovi, popravke i održavanje	220 000 Euro/god
Ukupni troškovi	5,784,000 Euro/god
Količine prodate energije GJ / godinu	150 000 GJ/god
Cena po GJ toplotne energije	11,6 Euro/GJ
Prinos za prodaju toplote / godišnje	1 740 000 Euro/god
Prosečna snaga. proizvodnja po satu u	18000 kW
Cena otkupa po feed-in tarifi kW EE	0,070 Eur/kWh
Godišnji prihod za prodaju EE	10 080 000 Euro/god
Ukupni godišnji prihodi	11,820,000 EUR
Period isplativosti	4.12 god

Tabela (21) ekonomski posmatranje rada na biomasu, sa stepenima uštede

Sistemi manje snage za dobijanje toplotne energije iz biomase – posmatranje peći modela snage 50 kW, odnosno tehnološki uslovi za adekvatan proces sagorevanja biomase



Slika (46) Unutrašnja šema kotla na biomasu snage 50kW: 1. Primarni gorionik sa pokretnom rešetkom, 2. Sekundarna kruna za dodatno sagorevanje, 3. Deflektor, 4. Džep u kome se akumulira pepeo, 5. Turbulatori

razmenjivač topline, 6. Vrtložni disk, 7. Kontrolni panel - kontrolni sistem, 8. Kondicioner za dodavanje goriva, 9. Remeni mehanizam, 10. Srednji kontejner za gorivo, 11. Pokretni odvajač prema srednjoj komori, 12. Kondicioner za pepeo, 13. Rešetke motora, 14. Servisna vrata kotla, 15. Vrtložni pogonski motor, 16. Proširenje dimnjaka, 17. Izduvni ventilator, 17. Kondicioner za pepeo, 18. Dodatan pribor, 19. Primarni i sekundarni ventilator, 20. Paljenja ventilatora, 21. Odeljak za gašenje uređaja, 22. Spremiste sa senzorima za gašenje požara, 23. Vazduh za čišćenje kanala, 24. Postavljena izolacija za Dual kotao



Slika (47) vizuelni prikaz peći od 500 kW i peći od 150 kW, namenjene za sagorevanje drvne sečke

Cena peći za sagorevanje drvne biomase je oko 140 EUR/kW instalirane snage, sa instalacijom i implementacijom. Peći su obično predviđene za jedan vid sagorevanja biomase i taj vid biomase treba da ostane stalno u toku rada.

Biogas predstavlja produkt anaerobne digestije biomase, koja je u tečnom ili polutečnom stanju, gde osnovni energetski nosilac u biogasu je metan CH₄ koji pri sagorevanju nosi čak 40MJ/m³, tako da biogas se može koristiti u proizvodnji električne energije, ali se prečišćanjem biogasa mogu dobiti produkti koji se koriste u hemijskoj industriji, ali i za moguća pogonska goriva. Biomasa koja se može koristiti za anaerobni digestiju je jednaka 25% od svih prinosa biomase u Srbiji što nastaje poljoprivrednom proizvodnjom, što je oko $3 \cdot 10^6$ tona/god. Metan ima veliki negativan uticaj na životnu okolinu, posebno na ozonski omotač. Biogas nastaje anaerobnim procesom metabolizma bakterija, ili procesom fermentacije razgradivih bioloških materija, kao što su tečni stajnjak, ostaci iz kanalizacije ili ostaci od biljnih prerađevina i sa deponija (u vidu deponijskog gasa). Bez obzira na način dobijanja biogasa, biogas se sastoji od mešavine metana (koji je najveći energetski nosilac, sa udelom od oko 60%), ugljen dioksida, vodonikdisulfida i drugih komponenti. U industriji metan se koristi u hemijskim procesima, kao izvor vodonika, metanola i acetatnih kiselina. Sagorevanje metana se vrši u fazama. Ukoliko se utvrdi energetski bilans hemijske reakcije sagorevanja metana dobija se:

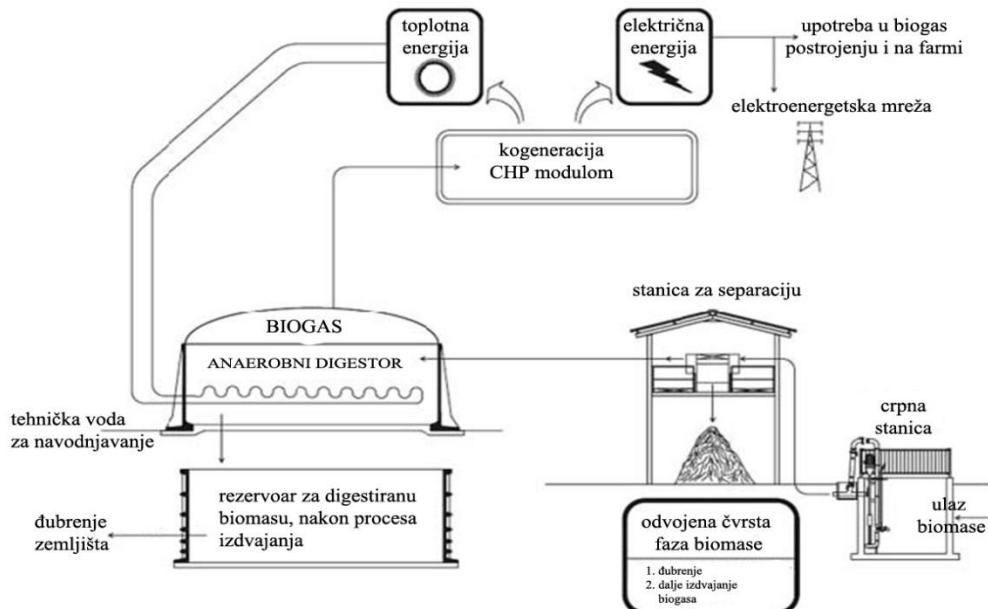


Razlog ove visoke vrednosti oslobođenje energije je hemijska veza između ugljenika i vodonika koja je najjača među ugljovodonicima. Pri prečišćavanju biogasa u metan, eliminiše se vodonikdisulfid koji izaziva koroziju pri dodiru sa metalnim površinama, tako upotreba neprečišćenog biogasa skraćuje vek upotrebe priključnih instalacija i sagorevanjem se vrši korozija delova gasnog generatora. U mnogim gradovima gde je prisutno korišćenje biogasa,

odnosno metana, instalirani su cevovodi metana koji služe za grejanje domaćinstava umesto prirodnog gasa, s tim što je potrebno u instalacijama takve vrste veoma pažljivo dizajnirati peći i gorionike. Metan pri većim vrednostima pritiska, na primer od oko 150 do 200 bar-a može da se koristi kao gorivo za automobile. Procena je da pri sagorevanju metana na istoj radnoj zapremini kao i bezolovni benzin, da se pri sagorevanju stvara za 15% veća snaga. Prema brojnim radovima vezanim za ovu oblast, razrađen je mikrobiološki proces dobijanja biogasa, sa povećanim udelom metana. Ovaj proces se komercijalno koristi nekoliko godina i daje vrlo dobre rezultate. Uslov za primenu ovog postupka je održavanje temperature i pritiska u posebnim spremištima gde se skladišti tečni stajnjak, kako bi bakterije koje vrše anaerobnu fermentaciju postigle maksimum. Bakterije koje se koriste za dobijanje biogasa su:

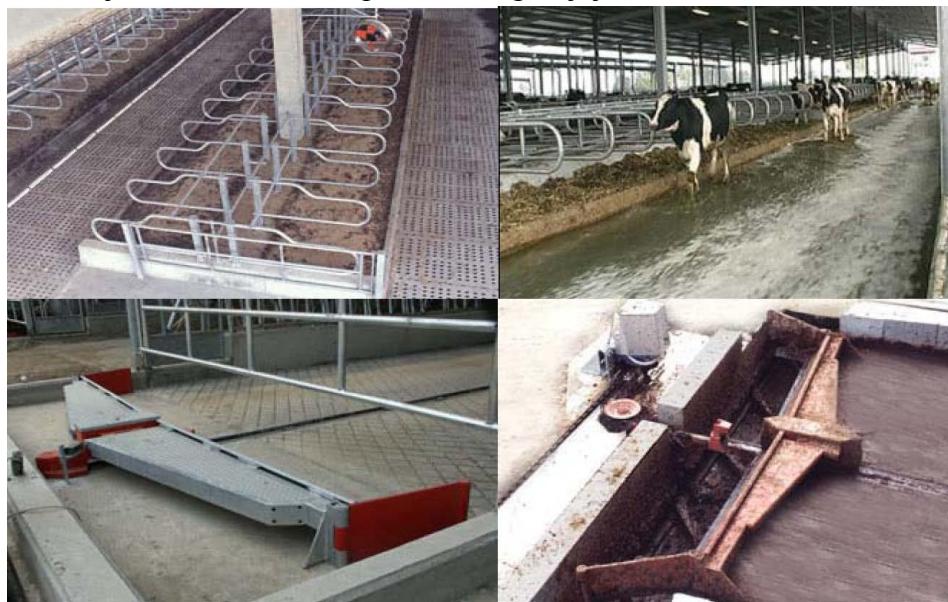
- Hidrolitičke bakterije, razgrađuju makromolekule organskih ostataka u jednostavnije supstance, koje dalje treba razgraditi.
- Acedogene bakterije, koriste jednostavnu organsku materiju koje su nastale procesom hidrolitičkih bakterija kao substrat i one procesom daju organske kiseline koje reprezentuju substrat bakterija koje su naredne u ciklusu.
- Acetogene bakterije, je obavezan proces nakon dobijenih supstanci koje koriste produkte acedogenih bakterija kao substrat da bi proizvele acetat, ili ugljen dioksid.
- Homacetogena bakterija služi da bi se sintetizovao acetat, preko ugljen dioksida i vodonika
- Na kraju procesa, najvažnije komponente su metanogene bakterije. One se mogu podeliti u dve grupe.

Prva grupa metanogene bakterije je ona koje izdvajaju metan i ugljen dioksid počevši od acetatne kiseline, a nazvane su acetoklastična bakterija. Druga grupa je hidrogentropična bakterija, koja proizvodi metan preko ugljen dioksida i vodonika. Upotrebo novih metoda za anaerobnu digestiju, takozvanim IC procesom kontinuiranog protoka biomase omogućava se da za prinos od 15000 tona tečnog stajnjaka u toku godine da je toplotna energija biogasa tolika da može zameniti malu elektranu kapaciteta 1MW.



Slika (48) postupak prerade tečne biomase u procesu dobijanja biogasa i kogeneracije

Način konstrukcije grejača, ili sistema hlađenja spremišta, kao i konstrukcija gumenog pokrivača nad skladištnim prostorom i konstrukcija priključaka spremišta su najvažniji elementi konstrukcije spremišta – biodigestora za različite vrste stajnjaka, a uslove skladištenja diktiraju upotrebljene bakterije. Kako bi se obezbedio maksimum prinosa biogasa potrebno je obezbediti stalan priliv svežeg stajnjaka.



Slika (49) princip primarnog sakupljanja tečne biomase na farmi krava

Periodi skladištenja biomase zavise od uslova skladištenja i tipa biomase, gde je period skladištenja od 60 do 90 dana, primarne separacije, a oko 100 dana se vrši sekundarna separacija. Za to vreme, potrebno je održavati ravnometernu temperaturu u spremištu i težnja je da je pritisak unutar spremišta konstantan sa ravnotežom pH vrednosti koje su od 4.2 do 4.7. Anaerobnim metabolizmom koristi se sakupljena spojena tečna i čvrsta faza. Prvo se spojene tečna i čvrsta faza skladiše u cilindričnom spremištu, sa posebnim sistemom za mešanje, koji meša po helikoidnoj osi po centru spremišta. Spoljašnja cirkularna pumpa omogućava premeštanje tečnog stajnjaka iz donjeg dela spremišta u gornji deo, a na taj način se dobija ravnometerna raspodela topote unutar spremišta.

U Nemačkoj za oblikovanje pravilnog procesa anaerobne digestije koristi se IC model protoka biomase, sa kontinuiranim protokom i sa flokulacijom biomase, gde se u primarnoj i u sekundarnom procesu skladištenja izdvaja metana. Ovakav oblik proizvodnje omogućava da se dobije maksimum u odnosu cene instalacije naspram vrednosti energije koja se dobije. Sistem zadržava celokupnu masu čvrste faze stajnjaka, što omogućava da se poveća prinos biogasa na količinu sakupljenog stajnjaka. Nakon izdvajanja biogasa potrebno je biogas prečistiti kako bi se eliminisao vodonikdisulfid koji vrši intenzivnu koriziju na sklopove metalnih uređaja i da bi se eliminisao ugljendioksid.

Sistem proizvodnje biogasa sa prerađivačkom industrijom omogućava stalno snabdevanje toplotom i farme i sistema za dobijanje biogasa i prerađivačke industrije. Na taj način gotovo da nema potrebe da ovakav sistem koji objedinjuje proizvodnju da dobija dodatnu električnu energiju, što opet zavisi od potrebe spregnute prerađivačko -prehrambene industrije. Ukoliko su manji zahtevi za energijom od strane industrije postoji mogućnost i doprinosa elektroenergetskom sektoru.



Slika (50) proizvodnja biogasa u okolini Ostrave – Češka projekat GREEN GROUP-e

Izvođenje instalacija za biogas se isplate za manje od 8 godina troškovi instaliranja su oko 2700 EUR/kW instalirane električne snage za IC metod kontinuiranog protoka tečne biomase. Proračunati podatak o gustini energije jedinice mase stajnjaka je 0.27kWh/kg·dnevno – za jedan dan skladištenja.

- Ulagane komponente: stajnjak i druga biomase, voda, silaža, el.energija
- Izlazne komponente: topotna energija, električna energija, organsko đubrivo, voda za zalivanje, prečišćeni biogas za vozila

Ekonomski tabeli za biogas postrojenje kapaciteta 5000 kW	
Ukupna snaga postrojenja	5000 kW
Električna snaga	2300 – 3000 kW
Broj radnih sati	7000 h/god
Cena goriva (zavisi od dogovora sa ostalim uzgajivačima koka nosilja)	4 EUR/t
Količina potrebne biomase 1 god	75,000 tona
Ukupna cena za donošenje biomase	300,000 EUR/god
Sopstvena potrošnja el.energije postrojenja	520 kW/h
Cena električne energije	0.052 EUR/kWh
Troškovi el.energije po 1 radnom satu	27.04 EUR/h
Ukupni troškovi električne energije za rad	190,000 EUR/god
Potrošnja vode u postrojenju – procena u vrednosti	65,000 EUR/god
Operativni troškovi po radnom satu	45 EUR/h
Troškovi održavanja sistema i standardizacije	180,000 EUR/god
Ukupni troškovi pri radu	1,050,000 EUR/god
Količina topotne energije proizvedene	63,000 GJ/god
Cena GJ topotne energije	10.4 EUR/GJ
Prihodi od topotne energije	655,200 EUR/god
Količina električne energije proizvedena	16,100,000 kWh/god
Cena 1kWh po feed in tarifi za biogas postrojenje	0.12 EUR/kWh
Ukupan prihod od prodaje električne energije	1,932,000 EUR/god
Prihod od đubriva	250,000 EUR/god
Ukupan prihod	2,837,200 EUR/god
Ukupna zarada	1,787,200 EUR/god
Cena izvođenja radova i implementacije	9,400,000 EUR
Isplativost investicije	5.14 god

Tabela (22) Ekonomski tabeli korišćenja procesa proizvodnje biogasa u postrojenju kombinovane snage 5MW, 2.6MW električne i 1.8MW termičke snage

5. Zaštita životne sredine upotrebom OIE u odnosu na fosilna goriva

Sa aspekta zaštite životne sredine, biomasa predstavlja CO₂ neutralan izvor energije. Ukoliko se adekvatno koristi, biomasa je održivo gorivo, koje može znatno da utiče na smanjenje neto emisije ugljenika iz CO₂, u poređenju sa primenom fosilnih goriva u energetske svrhe. Tako, u procesu fotosinteze, količina ugljendioksida-CO₂ koju biljka usvoji iz atmosfere identična je količini CO₂ koja se oslobodi prilikom sagorevanja biomase biljnog porekla. Naredna slika prikazuje princip kruženja ugljendioksida u prirodi korišćenjem drvene biomase kao obnovljivog izvora energije.



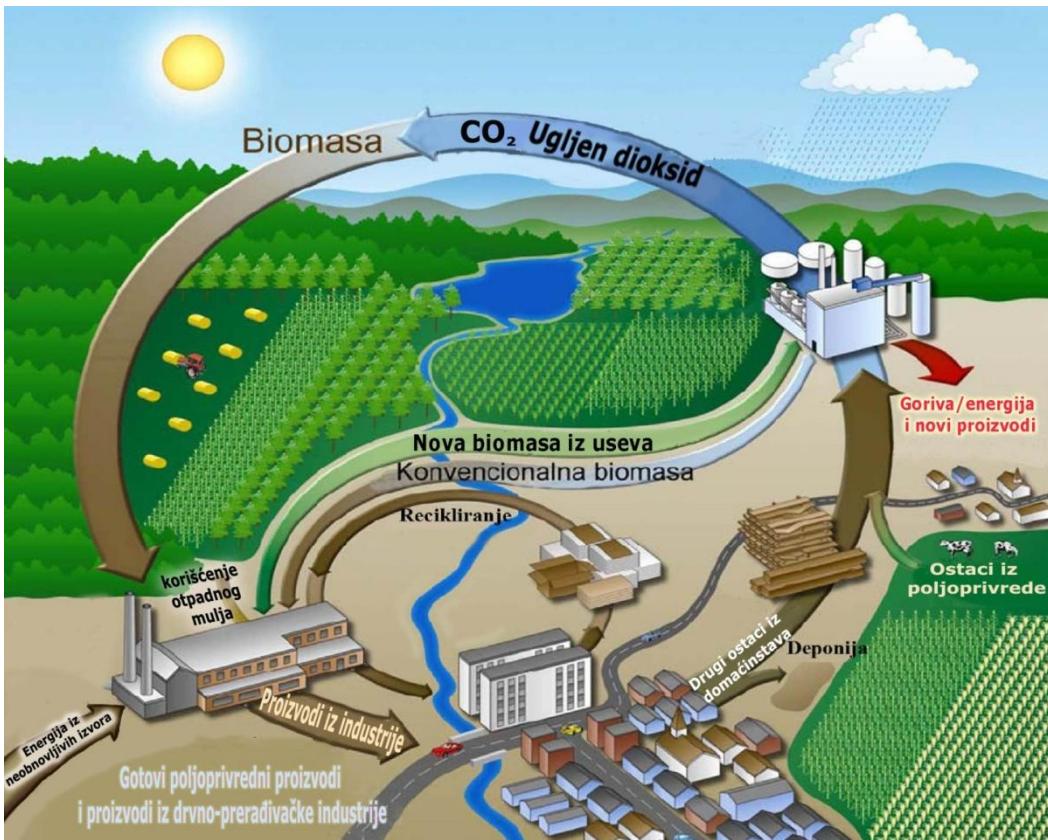
Slika (51) Kruženje CO₂ u procesu sagorevanja OIE

Kao što se vidi iz slike, razlika u količini ugljendioksida konačno koji ulazi u proces i količine CO₂ u produktu je ista. Za razliku od navedenog procesa, korišćenjem fosilnih goriva- neobnovljivih izvora energije kao energenta, u procesu sagorevanja svega 0.28kg npr. lignita u atmosferu se oslobodi 1kg CO₂.



Slika (52) Kruženje CO₂ u procesu sagorevanja fosilnih goriva

Za razliku od navedenog procesa sagorevanja drvne biomase, pri sagorevanju fosilnih goriva oslobođaju se nove količine CO₂, što doprinosi efektu „staklene bašte”. Iz svega navedenog može se zaključiti da je sagorevanje drvne biomase CO₂ neutralno i da će intenzivnije korišćenje OIE umesto fosilnih goriva dovesti do smanjenja emisija CO₂. Na narednoj slici prikazano je kruženje biomase u prirodi u kontekstu njenog korišćenja i obnavljanja, na kojoj se jasno vidi i tok CO₂ korišćenog/oslobodenog prilikom ovog procesa.



Slika (53) Kruženje biomase i CO₂ u primeni OIE, što važi i za ostala štetna jedinjenja

Biomasa (iz biljaka) sadrži CO₂ iz atmosfere, apsorbovan u procesu fotosinteze. U procesu truljenja organskih materija –iz ostataka biljaka, ugljenik se vraća ponovo u atmosferu u vidu ugljen-dioksida i/ili metana. U procesu oksidacije u atmosferi od metana ponovo nastaje ugljen-dioksid, čime se kruženje ugljenika u prirodi zatvara. Od svih goriva koja su danas u upotrebi jedino biogorivo zadovoljava kriterijum zatvorenog sistema, na primer u pogledu stvaranja ugljen – dioksida i čvrstih materijalnih produkata sagorevanja. Ugljenik se oslobođa u formi ugljendioksida i stepen emisije ugljendioksida je približan uglju, međutim, najveći deo ovog ugljenika naredna generacija biljaka upija procesom fotosinteze, ili se ugljenik upija preko minerala iz zemljišta. Kružno kretanje materije kao što je prikazano zadovoljavaju pored ugljenika i sumpor i azot kao najprisutniji osnovni elementi u jedinjenjima koje vrše određen stepen zagadženja. S obzirom da je količina azota i sumpora, koja se oslobođi pri sagorevanju briketa/peleta daleko manja od uglja, naročito lignita, uticaj jedinjenja sumpora SO₂ i azota – NO_x je daleko manji u odnosu na dobijanje energije pomoću uglja. Najveći deo atoma sumpora i azota koji se oslobođio u atmosferu, pada nazad na tlo i naredne generacije biljaka upijaju ove elemente u formi minerala. Ulaz u proces sagorevanja predstavlja biomasu kao gorivo, i vazduh (odnosno kiseonik). Izlaz iz procesa sagorevanja čine: dobijena energija, pepeo i gasoviti produkti sagorevanja sa ugljen dioksidom kao glavnim predstavnikom. Biljni svet procesom fotosinteze vezuje ugljendioksid i uz pomoć sunčeve energije izgrađuje svoju masu. Čvrsti materijalni ostatak – pepeo, takođe, kao đubrivo učestvuje u izgradnji nove biljne mase. Na taj način se vrši recikliranje ugljendioksida i čvrstih produkata u prirodi tako da se pritom ne remeti postojeća ravnoteža, a za sistem se kaže da je zatvoren. Potrebna su dodatna ispitivanja na ovom polju, kako bi se

utvrdilo koliki je stepen povećanja štetnih elemenata u prirodi sagorevanjem briketa/peleta. Ugljenik koji formalno predstavlja višak i nalazi se van kružnog toka materije prikazan na slici 3. je ugljenik koji biljka upija iz zemljišta u formi minerala, a odnos količine ovog ugljenika u odnosu na ugljenik koji je dobijen procesom fotosinteze je do 10%. Sa ekološkog stanovišta prednosti primene biogoriva u odnosu na fosilna su:

- ogromne količine dostupne biomase – 0.5 miliona t drvene biomase i oko 1.4 miliona t poljoprivredne biomase koja se može briketirati/peletirati u toku godine,
- nema emisije ugljovodonika, kao nepotpunih produkata sagorevanja,
- količina pepela posle sagorevanja je 2 – 7 puta manja kod briketa/peleta u odnosu na pepeo koji se dobija sagorevanjem uglja u domaćinstvima, a ovaj pepeo se može dalje koristiti za đubrenje zemljišta,
- sadržaj sumpora u proizvodu dobijenog iz biomase je oko 6 – 12 puta manji od sumpora koji se oslobodi sagorevanjem uglja, a to znači da će isto toliko puta manje biti oslobođanje sumpordioksida prilikom sagorevanja i time se štiti zemljište i vazduh
- energetska vrednost energenata OIE je bliska energetskoj vrednosti fosilnih goriva koje ovi energenti zamjenjuju i moguća je njihova jednostavna i praktična upotreba,
- mali udio azotnih jedinjenja u isparenjima koje ostavljaju biomasa, azotna jedinjenja u pepelu služe za đubrenje zemljišta
- Srbija obiluje znatnim količinama lignocelulozne materije u poljoprivrednim ostanacima koja se može koristiti kao biomasa,
- nabavka energenata može da bude sukcesivna, kao i svakog drugog proizvoda, u stvarištima u količinama koja odgovara potrebi domaćinstava
- relativno veliki potencijal u geotermalnoj energiji 1.2 GW
- povoljno mesto Srbije na mapi vetrova, koji su većim delom povoljni za vetrogeneratore
- Srbija ima relativno povoljan prinos u sunčevoj energiji od $1100 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$

Iz ovih razloga biomasa, pored drugih alternativnih izvora energije dobija na značaju kao resurs za dobijanje „čiste energije“. Međutim, i pored mnogih prednosti koje poseduju u eksploataciji biogoriva na bazi biomase imaju i određene nepogodnosti za primenu. Neka od njih su:

- manipulacioni i ekonomski problemi sa sakupljanjem, pakovanjem i skladištenjem biomase,
- periodičnost nastanka biomase,
- mala zapreminska masa i toplotna moć biomase svedena na jedinicu zapremine,
- razuđenost u prostoru,
- nepovoljan oblik i visoka vlažnost biomase,
- ekonomske investicije postrojenja za sagorevanje biomase su zнатна,

Stepen zaštite životne sredine upotrebom briketa/peleta može se utvrditi preko parametara pojedinih štetnih jedinjenja koji su utvrđeni kao maksimalne da bi dobijeni proizvodi zadovoljavali standarde EU. Napomena je da navedeni podaci za biomasu nisu formalni zagađivači, već da se sistemom kruženja materije u prirodi vraćaju nazad u

zemljište, za razliku od fosilnih goriva koji veštački povećavaju koncentraciju ovih elemenata u prirodi.

Obnovljivi izvori energije imaju zadatak da koriste ekološki prihvatljive načine za dobijanje energije. Ukoliko se na pravilan način koriste obnovljivi izvori energije, onda upotreba energije veta, sunčeva energija, geotermalna energija i energija malih vodotokova ne stvara zagađenje, ali svaki od navedenih OIE ima određen uticaj na prirodu. Ukupno Srbija proizvodi oko 34 milijardi kWh godišnje, što nije maksimum u proizvodnji energije, ali starost sistema ne dozvoljava veću opterećenost. Zato se sa svakom narednom godinom povećava energetski deficit u električnoj energiji i zato se u brojnim programima razvoja energetike u Srbiji razmatraju sistemi OIE, kao dodatni proizvodni kapaciteti.

Faktori zagadenja životne sredine:

Ugljen-dioksid CO₂, nastaje kao osnovni produkt sagorevanja energenata, bilo da su u pitanju fosilna goriva ili energenti koji spadaju u OIE. Sistemom difuzije dolazi do viših slojeva atmosfere-do troposfere gde reaguje sa ozonom. Hemijski se može kombinovati sa atomima kiseonika iz ozona, pa time dolazi do oštećenja ozonskog omotača. Glavni nepovoljan efekat CO₂, je povećanje apsorpcije sunčevog zračenja pri rasejanju sunčeve svetlosti o molekul ugljen-dioksida. U višim slojevima atmosfere CO₂ ima faktor vreme reagovanja sa ozonskim omotačem, koje se za CO₂ procenjuje da je ovaj period reagovanja oko 108 godina. Ovaj podatak kazuje koliko je neki molekul agresivan prema ozonu-O₃ i što je ovo vreme duže to ozonski omotač ima duži vremenski period da se obnovi. Kjoto sporazum i težnja zemalja da uvedu sisteme OIE, vodi ka smanjenju emisije CO₂, a pojedini oblici proizvodnje alternativnih goriva omogućava i upotrebu CO₂ u proizvodnji alternativnog goriva, to se odnosi na biodizel-III generacije i helio-agrokulturu.

Ugljen-monoksid CO, nastaje kada dolazi do sagorevanja organske materije, ali u slučaju kada nema dovoljne količine kiseonika, a nastaje sagorevanjem u SUS motorima, ili grejačima koji sagorevaju fosilno gorivo. Ugljen-monoksid je za čoveka toksični gas jer izaziva trovanje u određenoj količini, Ugljen-monoksid vremenom hemijski reaguje sa kiseonikom i na taj način nastaje ugljen dioksid-CO₂. OSHA-agencija za praćenje stepena zagađenja ugljen monoksidom je ograničila dozu ugljen monoksida koji se smatra bezbednom za okolinu na ideo do $50 \cdot 10^{-6}$ u atmosferi. Ugljen monoksid se javlja i kod sistema OIE, pri sagorevanju energenata, ali se ovaj ugljenik takođe smatra da kruži u prirodi, kada naredna generacija biljaka koja se formira crpi ugljenikova jedinjenja iz atmosfere.

Nastajanje azot oksidnih jedinjenja NO_x-Sagorevanjem fosilnih goriva se oslobođa određena količina azot oksida NO_x-binarnih hemijskih jedinjenja, koji ima uticaja u formiranju kiselih kiša. Od ovih jedinjenja azotsuboksid N₂O je nepoželjan, a azotodksit NO i azotdioksid NO₂ u većim količinama mogu biti veoma toksični. Ova jedinjenja nastaju pri sagorevanju fosilnih goriva na visokim temperaturama $>400^{\circ}\text{C}$, kada dolazi do endotermične reakcije azota i kiseonika. Ovaj proces nastaje u SUS motorima, kotlovima TE i drugim sistemima koji razvijaju temperaturu, tako da se emisija NO_x jedinjenja očekuje i u sistemima OIE. Azotna jedinjenja formiraju aerosoli sa vodenom parom, amonijakom, pri difuznom kretanju kroz atmosferu i kada se formiraju veće i masivnije čestice. Primer štetnog dejstva

NO_x jedinjenja je kada se nađe molekul azotoksida u atmosferi, ukoliko deluje sunčevo zračenje na molekul, dolazi do povećanja energije u molekulu i nastaje fotohemski smog, koji je veoma veliki zagađivač u atmosferi u okolini TE. Zbog velike energije koju nosi sunčev zrak u toku leta ovaj smog je učestao u ovom periodu godine. Ova jedinjenja su izražena pri sagorevanju prirodnog gasa, uglja koji ima visok udeo azotnih jedinjenja, a u sistemima OIE azot može da ima značajan udeo, što zavisi od upotrebljene sirovine koja se koristi za dobijanje energije. Konkretno, kod sistema OIE azot je izražen pri upotrebi biomase, međutim azot kod sistema OIE funkcioniše na isti način kao i ugljenik, pošto biljke crpe azot iz zemljišta koji je dospeo u zemljište npr. kiselim kišama, tako da se stvara zatvoren ciklus kruženja azota u prirodi, slično ugljeniku.

Oslobađanjem sumpor-oksida SO_x, dovodi do pojave sulfurizacije tla kada čestice sumpora padnu na zemljište u formi kisele kiše. Sumporna jedinjenja nastaju sagorevanjem uglja i nafte koji u svom sastavu već sadrži sumpor. U određenom procentu sumpor je pozitivan za rast biljaka da se nađe u zemljištu u formi minerala, međutim često u okolini TE je velika količina sumpora koji šteti životu svetu. Što se tiče tehnologije u elektranama na ugalj u SAD se razvija sistem koji će omogućiti da SO₂ ostane u samoj elektrani, gde je jedna od oblika reakcija C_aO+SO₂=C_aSO₃, tako da je moguće koristiti kalcijumoksid kao medijum za vezivanje sumpor dioksida. Zbog tipa goriva koje Kina pretežno koristi, a to je lignit, kineske TE se smatraju najvećim zagađivačem sa SO_x jedinjenjima sa oslobođenom masom jedinjenja od 25.49 miliona tona. U Srbiji se isto oslobodi pretežno velika količina sumpornih jedinjenja, zbog upotrebe niskokaloričnog lignita kao energenta. Izvesna količina se oslobađa prilikom sagorevanja biomase i moguće je da jedan deo supornih jedinjenja vrši direktno smanjenje stepena zaštite životne sredine, ali je merenjima utvrđeno da veći deo jedinjenja učestvuje u zatvorenom toku.

Metan CH₄ -ima veliki negativan uticaj na životnu okolinu, posebno na ozonski omotač, zato što je molekulu metana potreban kiseonik kako bi hemijski reagovao. Radi ekonomičnije poljoprivredne proizvodnje, zaštite životne sredine i dobijanja električne energije preporučljivo je uvesti proces proizvodnje biogasa generalno u upotrebu u poljoprivrednu proizvodnju. Istraživanja su pokazala da metana u atmosferu ima 25 puta veći štetni uticaj na staklenu baštu od ugljen-dioksida, ukoliko se posmatra period od 100 god, a da je u proračunu uzeto da je ista vrednost mase oslobođenog ugljendioksida i metana sa površine. Metan ima brži efekat na ozonski omotač (metanu je potreban kiseonik da bi se pretvorio u ugljendioksid koji je hemijski stabilniji od metana, a lančano taj ugljendioksid utiče na ozonski omotač) u trajanju od 8.4 godine, dok ugljendioksid ima daleko duži vremenski period dejstva od preko 100 godina. U odnosu na period od pre 200 godina, koncentracija metana je za 50% veća, a povećanje koncentracije je nastalo upravo usled povećanja industrijske i poljoprivredne proizvodnje.

Emisija žive Hg- količine oslobođene žive u proizvodnji el. energije TE imaju male vrednosti, ali ipak je potrebno obratiti pažnju na mogućnost akumuliranja veće količine žive na jednom mestu u okolini TE. Živa se nalazi u uglju, u malim količinama, lignit ima nešto veću količinu žive u odnosu na mrki i kameni ugalj. Kada se oslobodi u prirodi živa se

kombinuje sa sumporom i daje jedinjenje HgS. Takođe i druga jedinjenja žive, naročito oksid žive HgO štetno deluju na respiratorični sistem. Velika količina žive je svake godine oslobođeno proizvodnjom električne energije elektroprivrede Kine, oko 200 tona godišnje. Srbija prema strukturi elektroenergetskog sistema je sličan sa kineskim, jer se pretežno proizvodnja el. energije bazira na niskokaloričnom lignitu, te će u skoroj budućnosti biti potrebno pažljivije analizirati emisiju žive iz Termoelektrana.

Štetan uticaj arsena – Ispitivane su količine arsena u taložnom pepelu Kostolačkih termoelektrana, uporedno sa jalovinom iz rudnika lignita (Ćirikovac) i nezagađenom zemljištu u široj okolini. Merenjem koncentracija je utvrđena količina arsena od 33.3mg/kg u taložnom pepelu, deset godina posle taloženja ukazuju na povišene vrednosti, ali su one manje nego u pepelu drugih ugljeva. Količine arsena u pomenutim biljkama predstavljaju opasnost da arsen udje u lanac ishrane i dovede do hroničnih arsеноza kod ljudi i životinja, koje odnose na smetnje pri radu unutrašnjih organa, a ukoliko dođe do velikih količina arsena može doći do toksifikacije. Arsen se statistički javlja i u emisiji iz sistema OIE, ali je tek potrebno izvršiti spektralne analize količine arsena iz sistema obnovljivih izvora energije. Količina od >80mg/kg se smatra toksičnom.

Termička kontaminacija – uticaj viška topoteke koja se oslobađa u prirodi radi hlađenja sistema energetike, naročito je potrebno uzeti u obzir, ukoliko se uvede Nuklearna energija. Negativan uticaj na živi svet koji menja celokupan ekosistem na lokalnom nivou, gde sa izlivanjem tople vode temperature više od 60 celzijusa uništava postojeći živi svet na nekom području. Termička kontaminacija može da prouzrokuje povišenje srednje temperature vode i izvesne promene u ekosistemu, odnosno dovelo je promene biljnog sveta koji je zastupljen i dovelo je do promene ponašanja riba i odnosa između broja pojedinih vrsta životinja i njenim pritokama. Način na koji se može sprečiti ova termička kontaminacija je upotreba procesa kogeneracije – gde bi se ta topla voda koristila za predgrevanje ulazne hladne vode, još jedna od mogućnosti je grupisanje i sinergija više proizvodnih kapaciteta, jednih koji daju toplotu koji su u spregu sa sistemima kojima je potrebna toplota. Metod za smanjenje termičke kontaminacije je i izgradnja mokrih ili suvih rashladnih tornjeva, kako bi se višak toplotne energije oslobodao u vazduh.

Sumiranje zagadenja upotrebom fosilnih goriva

Oblik zagadenja	Biomasa	Lignite	Prirodni gas	Mazut	Nafta	Nukl.energija
CO ₂	0.2 – 0.6 kg/kWh*	3.65kg/kWh-4.27kg/kWh	0.21kg/kWh	0.36kg/kW h	0.29kg/kWh	nastaje pri preradi rude urana – 0.066kg/kWh
CO	52 mg/kWh	374mg/kWh	72mg/kWh	65.3mg/k Wh	59.4mg/kWh	Bez emisije – može nastati u proizvodnji komponenti
SO _x -oksidi supora	<0.7 mg/kWh	1.25mg/kWh-8.05mg/kWh	3.1µg/kWh	0.58mg/k Wh	0.54mg/kWh	Bez emisije – može nastati u preradi ruda
NO _x -oksidi azota	<0.64 mg/kWh	0.16mg/kWh-0.78mg/kWh	0.89mg/kWh	0.65mg/k Wh	0.46mg/kWh	Bez emisije – može nastati u proizvodnji komponenti
Hg-živa	<0.05 mg/kg	0.08mg/kg	0	42.3 µg/kWh	12.6µg/kWh	Bez emisije – može nastati u proizvodnji komponenti i rude
Radioaktivni el.	u tragovima	0.05mg/kWh	0	u tragovima	0	Kontrolisano odlaganje istrošenog radioak.goriva
Pepeo-ostatak	<1.5% · m _b	4.93g/kWh	12.6µg/kWh	0.9g/kWh	0.151g/kWh	0
As-arsen	<53 mg/kg	33.3mg/kg pepela	0	u tragovima	u tragovima	Bez emisije – može nastati u proizvodnji komponenti

Tabela (23) Uporedne vrednosti stepena zagadenja OIE i pojedinih vidova fosilnih goriva.

Napomena je da biomasa emituje navedene količine jedinjenja, ali da najveći deo ovih količina je vezano u procesu kružnog toka materije u prirodi, dok fosilna goriva povećavaju koncentracije u biosferi, odnosno vazduhu i u zemljишtu.

6. Poređenje troškova implementacije nuklearne i OIE

Ukoliko se predpostavi model za implementaciju nove nuklearne elektrane u Finskoj, na ostrvu Olkilouto u Baltičkom moru, koja instalira kompanija Areva, da je adekvatan model za navođenje kao adekvatne investicije u nuklearnu tehniku, moguće je uporediti odnos troškova implementacije nuklearne tehnologije sa drugim vidovima OIE.

Odnosi osnovnih parametara nuklearne energije i pojedinih vidova OIE				
Osobina	Biogas	TE-TO biomasa	Solarna toplana	Nuklearna
Ukupna snaga postrojenja	5000 kW	36,000 kW	1,557 kW	1,600,000 kW
Električna snaga	2300 – 3000 kW	18,000 kW	600 kW	1,600,000 kW
Broj radnih sati	7000 h/god	8000 h/god	8000 h/god	7500 h/god
Cena goriva	4 EUR/t	25 EUR/t	0	/
Količina goriva 1 god	75,000 tona	180,000 tona	0	/
Ukupna cena za donošenje goriva	300,000 EUR/god	1.2 M EUR/god	0	320 M EUR/god
Sopstvena potrošnja el.energije postrojenja	520 kW/h	1900 kW/h	150 kW/h	128,000 kW/h
Cena električne energije	0.052 EUR/kWh	0.052 EUR/kWh	0.052 EUR/kWh	0.052 EUR/kWh
Troškovi el.energije po 1 radnom satu	27.04 EUR/h	133 EUR/h	7.8 EUR/h	6700 EUR/h
Ukupni troškovi električne energije za rad	190,000 EUR/god	1.064 M EUR/god	62,400 EUR/god	50.2 M EUR
Potrošnja vode u postrojenju – procena u vrednosti	65,000 EUR/god	0.3 M EUR	45,000 EUR/god	20.8 M EUR
Operativni troškovi po radnom satu	45 EUR/h	700 EUR/h	14.03 EUR/h	0.053 M EUR
Troškovi održavanja sistema i standardizacije	180,000 EUR/god	0.22 M EUR/god	50,000 EUR/god	/
Ukupni troškovi pri radu	1,050,000 EUR/god	5.78 M EUR/god	207,000 EUR/god	400 M EUR/god
Količina topotne energije proizvedene	63,000 GJ/god	150,000 GJ/god	20,380 GJ/god	8640 TJ/god
Cena GJ topotne energije	10.4 EUR/GJ	10.4 EUR/GJ	10.4 EUR/GJ	10.4 EUR/GJ
Prihodi od topotne energije	655,200 EUR/god	1.74 M EUR/god	212,000 EUR/god	90 M EUR
Količina električne energije proizvedena	16,100,000 kWh/god	144 GWh/god	4,800 MWh/god	$12 \cdot 10^9$ kWh/god
Cena 1kWh	0.12 EUR/kWh	0.071 EUR/kWh	0.21 EUR/kWh	0.06 EUR/kWh
Ukupan prihod od prodate električne energije	1,932,000 EUR/god	10.22 M EUR/god	1 M EUR	720 M EUR
Prihod od đubriva	250,000 EUR/god	/	0	/
Ukupan prihod	2,837,200 EUR/god	11.96 M EUR	1.21 M EUR	810 M EUR
Ukupna zarada	1,787,200 EUR/god	6.18 M EUR	1 M EUR	410 M EUR
Cena izvođenja radova i implementacije	9,400,000 EUR	34 M EUR	7 M EUR	8000 M EUR
Isplativost investicije	5.14 god	5.5 god	7 god	19.51 god

Tabela (24) uporedne vrednosti troškova implementacije i dobiti za pojedine vidove OIE i Nuklearne energije

Odstupanje perioda isplativosti nuklearne energije u odnosu na OIE nastaje usled feed-in tarifa i subvencija država u njihovoj implementaciji. Primer za poređenju sa projektom nuklearne elektrane Areva u Finskoj možda nije adekvatan, ali je nastao nakon 2010. godine.

7. Zaključak

Zahvaljujući subvencijama i razvoju tehnologije OIE postaju pristupačni i zemlje kao što su Nemačka se odlučuju da ovim vidovima energije daju poverenje, da bude okosnica izgradnje energetike. U poglavlju 6. uzet je primer investicije kompanije Areva u nuklearnu elektranu u Finskoj, što je usamljen projekat za investiranje u nuklearnu energiju od početka „ekonomске krize“. Za ovaj uzet slučaj, gde su velike vrednosti budžeta za finaliziranje projekta, što prevazilazi duple troškove za instaliranje nuklearne elektrane.

Smatra se da će nuklearni reaktori IV generacije omogućiti napredak u upotrebi nuklearne tehnologije i da će omogućiti bezbednije i ekonomičnije korišćenje nuklearne energije, što će ublažiti prelaz sa fosilnih goriva na OIE. Novi reaktori će se početi razvijati za 15 do 20 godina, kada se smatra da će „energetska kriza“ biti sve prisutnija, usled nestajanja fosilnih goriva. Obnovljivi Izvori energije, za razliku od nuklearnih su daleko razuđeniji u prostoru, i potrebbni su značajni napor da se dovezu od mesta nalaženja do korišćenja. Gotovo svaka zemlja ima određeni vid OIE, koji može da koristi, tako da je razvoj OIE nevezan za raspodelu rudnog bogatstva, već je razvoj vezan za potencijal energije Sunca, stepen razvoja poljoprivrede i šumarstva, kretanje vazdušnih masa, prisutnost vodotokova i geotermalnih izvora u nekom regionu. Subvencije za razvoj i implementaciju OIE, rezultat su težnje zemalja da uvećaju udeo ovih izvora energije, kako bi zaposlili što veći broj ljudi i kako bi smanjili ekonomsku zavisnost u odnosu na zemlje koje su bogate sa rezervama fosilnih goriva. Za Srbiju, zemlja koja doprema najveći deo fosilnih goriva je Rusija, gde je proračunat potencijal OIE, preko biomase i prinosa energije vetra, da bi Srbija godišnje uštedela na uvozu energenata preko 600 miliona \$US, ukoliko bi se potencijal OIE iskoristio makar 50%. Angažovanje domaće građevinske industrije i domaće logistike za eksploraciju ili manipulaciju sa biomasom, ili energijom iz drugih OIE omogućava podstrek razvoju domaće privrede i stvaranju novih radnih mesta.

Nuklearna energetika, ukoliko bi se startovala u Srbiji, zahtevalo bi pripremu tehničkog osoblja za rad u nuklearnoj elektrani. Samo određeni domaći privredni subjekti bili bi angažovani i Srbija ne bi mogla da vrši eksploraciju rude urana, već bi bilo neophodno da je kupuje od velikih proizvođača, kao što je Areva, koji poseduju eksploraciju rude urana i preradu u gorive šipke. Uvećanje bezbednosnog kriterijuma za implementaciju nuklearne energije je osiguralo relativno bezbedno korišćenje nuklearne tehnike za proizvodnju energije, ali ostaje problem odlaganja istrošenog nuklearnog goriva, što će u budućnosti biti sve skuplje.

Zaštita životne sredine je prioritet koji imaju i OIE i nuklearna energija, ipak ukoliko se sagleda celokupan proces izdvajanja rude urana i radovi na instalaciji nuklearne elektrane, oslobođa se izvesna količina štetnih materija po 1kWh, dok OIE svoj stepen zaštite životne sredine ostvaruju preko činjenice da postoji proces kruženja materije u biosferi, što se pretežno utvrđuje za ugljenik – što je stručno izučeno usled nastojanja naučnika i državnih institucija da implementiraju ideju karbon – free kredita radi smanjenje emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte.

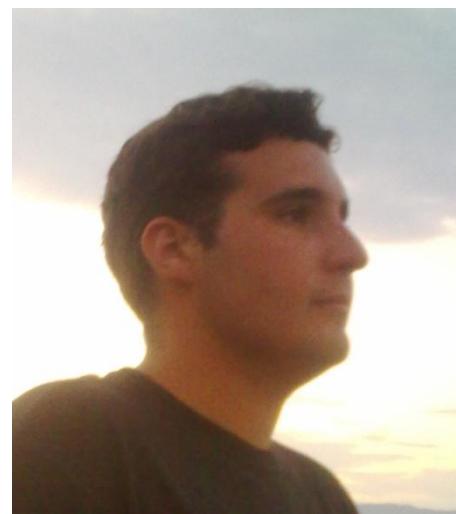
8. Literatura:

W.Helden, Materials for Cmpact Seasonal Heat Storage, IEA Solar Heating and Cooling workshop, Capetown South Africa 2010.

1. H.Marjanović: „Uloga šuma u kruženju ugljika”, projekat FP7-„Rok-For” Hrvatski šumarski institut; Zagreb 2009. godine,
2. M.Brkić, M.Tešić, T.Furman, M.Martinov, T.Janić: „Potencijali i mogućnosti briketiranja i peletiranje otpadne biomase na teritoriji pokrajine Vojvodine”-studija; Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad 2007. godine,
3. A.Stojkov: „Studija opravdanosti korišćenja drvnog otpada u Srbiji”-publikacija Energy Saving Group, USAID, Beograd 2009. godine,
4. V.Stevanović, J.Blaženčić, V.Vasić: „Biodiverzitet Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja” Biološki fakultet Beograd 1995. godine,
5. M.Obradović: „Biljnogeografska analiza flore Fruške gore” doktorska disertacija, Sarajevo 1964. godine,
6. M.Mihalj, M.Obradović, S.Parabućski, J.Đurkić, M.Anđelić: „Flora i fauna Vojvodine” naučno-istraživački projekat, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad 1976. godine,
7. M.Tešić, M.Babić, M.Martinov: „Predstojeći podsticaji za korišćenje biomase kao energenta” publikacija-Savremena poljoprivredna tehnika, Novi Sad, 2007. godine,
8. Energetski bilans Republike Srbija za 2006.godinu, Ministarstvo rудarstva i energetike
9. E.Alakangas: „New European Pellets Standard-EN 14961-1”, publikacija EUBioNet 3, Finska 2007. godine,
10. Report to the Standing Forestry Committee: „Mobilisation and efficient use of wood and wood residues for energy generation” report of Working Group II on wood mobilisation, Brussels, 2008. year,
11. B.McKeever, K.Skorg: „Woody Yard Residues-Another Wood Resource” US Department of Agriculture, Research Note, Madison WI 4.p 2003.year,
12. S.Hetch: „Potential Sustainable Wood Supply in Europe” UNECE/FAO Timber Section, Geneva, Switzerland 2008.year,
13. S. Dodić, A. Radukin – Kosanović, T. Zelenović-Vasiljević, R.Marić, S.Popov, „Mogućnosti primene otpadne drvne biomase kao izvora energije u Vojvodini” – prev. sa engleskog Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 2355 – 2360 Jun 2011

Kratka biografija

Rođen u Novom Sadu 26. jula 1982. godine. Pohađao osnovnu školu „Đura Daničić” u Novom Sadu. 1997. godine sam upisao gimnaziju „Jovan Jovanović Zmaj” prirodno-matematički smer u Novom Sadu. Po završetku gimnazije 2001. godine sam upisao studije fizike na Departmanu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Novom Sadu. 2001. Diplomirao sa srednjom ocenom 9.65, i ocenom 10 diplomskog rada iz Nuklearne fizike „Merenje koeficijenta difuzije radona kroz građevinske materijale” 2008. godine. 2009. godine upisao Master studije na Nuklearnoj fizici. U Septembru 2009. položio ECDL kurs i radio kao profesor fizike na zameni u privatnoj računarskoj gimnaziji „SMART” do juna 2010. godine. Septembra 2010. prihvatio mesto profesora fizike, optike, optičkih instrumenata i optičkih merenja u „Prvoj privatnoj optičarskoj školi Pašćan”. Od 2005. godine piše kratke radeve i analize o Obnovljivim Izvorima Energije. 2009. prihvata učešće u radu nevladine organizacije „Kvantum” i radi na projektima Obnovljivih Izvora Energije, Zaštiti životne sredine i uvećanja Energetske efikasnosti, odakle je urađeno 3 projekta i projekat „Mogućnosti primene otpadne drvne biomase kao izvora energije u Vojvodini” objavljen je u SCI međunarodnom časopisu. 2010. sudeluje u radu privatnih kompanija koje su oformile „GREEN-GROUP” www.green-group.rs implementacija OIE, gde radi na koordinaciji firmi koje se bave pojedinim sektorima energetike, preko izračunavanja energetskih bilansa, analizom stepena zaštite životne sredine i početnom finansijskom procenom za implementaciju tehnologija. Završeni su projekti Pellet postrojenje u Hrtkovcima, analiza implementacije 5 TE-TO nadrvnu biomasu u Republici Srpskoj, unapređenje rada peći na biomasu, energetski bilansi za biogas postrojenje 5MW u okolini Novog Sada, energetski dijagrami za Novosadsku TE-TO snage 320 MWe je najzahtevniji što je rađeno u saradnji sa Tenergom – Brno a.s.





UNIVERZITET U NOVOM SADU PRIRODNO – MATEMATIČKI FAKULTET KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	
Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada VR	Diplomski – master rad
Autor: AU	Aleksandar Radukin – Kosanović
Mentor: MN	Dr. Ištván Bikit, redovni profesor
Naslov rada: NR	Poređenje energetske efikasnosti, stepena zaštite životne sredine i troškova implementacije nuklearnih izvora energije i pojedinih obnovljivih izvora energije - OIE
Jezik publikacije: JP	Srpski (latinica)
Zemlja publikovanja ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje UGP	Vojvodina
Godina GO	2012
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Prirodno – matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
Fizički opis rada FO	
Naučna oblast: NO	Fizika
Naučna disciplina: ND	Nuklearna fizika
Predmetna odrednica/ključne reči PO UDK	Energetika, Obnovljivi izvori energije, Nuklearna energetika, implementacija OIE, zaštita životne sredine
Čuva se: ČU	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Nema
Izvod IZ	U radu su navedene osnovne odlike nuklearne energetike i direktno je upoređen a sa OIE, šta su prednosti i nedostaci pri implementaciji ovih vidova energije
Datum prihvatanja teme od NN veća DP	08. 06. 2012.
Datum odbrane DO	15.06.2012.
Članovi komisije: KO Predsednik: Član: Član:	Dr. Ištván Bikit, redovni prof. Dr. Dušan Mrđa, redovni prof. Dr. Radomir Kobilarov, redovni prof.



UNIVERSITY OF NOVI SAD FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS KEY WORDS DOCUMENTATION	
Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph publication
Type of record: TR	Textual printed material
Content code: CC	Final paper
Author: AU	Aleksandar Radukin – Kosanović
Menthor/comentor: MN	Ph.D. Ištvan Bikit, prof.
Title: TI	Comparison of energy efficiency, environment protection and expences of implementation of nuclear energy and certain types of Renewable Energy Sources – RES
Language of text: LT	Serbian (latin)
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year PY	2012
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovica 4, Novi Sad
Physical description: PD	
Scientific field: SF	Physics
Scientific discipline: SD	Nuclear physics
Subject/Key words SKW UC	Energetics, Renewable Surces of Energy, Nuclear energetics, Implementation of RES, Enviromental protection
Holding data: HD	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovica 4
Important note: IN	None
Abstract; AB	This paper presents basic features of nuclear energetics, and it contains direct comparison to RES, what are the benefits and lacs of process of implementation these sources of energy.
Accepted by the Scientific Board: ASB	08. 06. 2012.
Defended on: DB	15.06.2012.
Thesis defend board: DB President: Member: Member:	Ph.D. Ištvan Bikit, prof. Ph.D. Dušan Mrđa, prof. Ph.D. Radomir Kobilarov, prof