

# Efekti izgradnje FN elektrana u proizvodnim pogonima Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli

MERIM M. ALIČIĆ, JP Elektroprivreda BiH,

Rudnik uglja „Kreka“, Tuzla, Bosna i Hercegovina

IZUDIN I. DELIĆ, Univerzitet u Tuzli

Mašinski fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina

ZAKIR A. ŠABIĆ, JP Elektroprivreda BiH,

Rudnik uglja „Kreka“, Tuzla, Bosna i Hercegovina

ALMIS M. ALIČIĆ, Univerzitet u Sarajevu, Klinički centar, Sarajevo

Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 621.311.243

622.69(497.6)

DOI: 10.5937/tehnika2206693A

*Korišćenje obnovljivih izvora energije nameće se kao imperativ za konkurentnost i stabilnu energetske politiku firmi. Osnovna proizvodna oprema u Rudniku uglja „Kreka“ u Tuzli posjeduje pogone na električnu energiju, čije ukupno vršno opterećenje iznosi 12 MW, a troškovi za električnu energiju, na godišnjem nivou prelaze 3,5 miliona €. U radu je analizirana pogodnost infrastrukturnih objekata i devastiranih površina Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli za izgradnju fotonaponskih elektrana i efekti ovakvih postrojenja. Rezultati analize pokazuju značajni resurs za instalaciju fotonaponskih elektrana kapaciteta od 230 MW. Proizvodnja električne energije iz ovih fotonaponskih elektrana omogućuje umanjenje emisije u vazduh za 190 t/god emisija čestica, za  $316,2 \cdot 10^3$  t/god emisija CO<sub>2</sub>, za 58,15 t/god emisija SO<sub>2</sub> i za 251,9 t/god emisija NO<sub>x</sub>. Subvencioniranim otkupom električne energije moguć je povrat investicije u roku do 6 godina.*

**Ključne reči:** FN elektrane, karbonski otisak, efikasnost, obnovljiva energija

## 1. UVOD

Ekološki pritisak na uglj, kao fosilno gorivo i poslovanje rudarstva kao privredne grane u kontekstu globalnih prilika i politika se neminovno mijenja. Sektor proizvodnje električne energije pod pritiskom politika dekarbonizacije i strateškim pravcima razvoja Energetske zajednice Jugoistočne Evrope doživljava, svojevrsnu, prinudnu transformaciju. Međunarodni sporazumi, čija potpisnica je Bosna i Hercegovina, zahtijevaju smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i povećanje energetske efikasnosti, pa se nameće obaveza za povećanjem dijela energije dobijene iz obnovljivih izvora u ukupnom energetske zbiru.

Ovaj rad ima za cilj da pokaže pozitivne efekte koje može ostvariti jedno privredno društvo tradicionalne proizvodnje uglja korištenjem resursa površina

infrastrukturnih objekata kao i devastirane zemljišne površine za instalaciju fotonaponskih (FN) elektrana.

Fotonaponski efekat je pojava emisije elektrona iz metala pod dejstvom svjetlosti, pri kojoj se generiše napon ili električna struja [1].

Fotonaponski ili fotoelektrični efekat otkrio je francuski fizičar A. E. Becquerel 1839. god. Albert Einstein je 1905 god. objasnio fotoelektrični efekat, zbog čega je dobio i Nobelovu nagradu iz fizike 1921. godine. Prvi moderni fotonaponski panel proizveden je 1954. u Bell laboratoriju (današnji AT&T Bell Laboratories) [2].

Fotonaponska ćelija je poluprovodnički uređaj, koji sunčevu energiju direktno pretvara u električnu pomoću fotoelektričnog efekta, sa efikasnošću koja varira od 15 - 20%. U početku fotonaponski sistemi koristili su se samo na satelitima, zbog svoje relativno visoke cijene. Prvi satelit na koji se postavlja fotonaponski sistem, bio je Vanguard 1, lansiran u svemir 1958. godine, uz prvobitni plan napajanja satelita. Nakon toga, fotonaponske ćelije se uveliko primjenjuju kao izvor napajanja satelita. Monokristalne ploče napravljene od silicija mogu pretvoriti 1000 W/m<sup>2</sup>

---

Adresa autora: Merim Aličić, JP Elektroprivreda BiH, Rudnik uglja „Kreka“, Tuzla, Mije Keroševića 1, Bosna i Hercegovina

e-mail: merim.alicic@gmail.com

Rad primljen: 03.11.2022.

Rad prihvaćen: 20.12.2022.

sunčevog zračenja u 140 W električne energije s površinom ploče od 1 m<sup>2</sup> [3].

Svaki fotonaponski modul je ocjenjen svojom jedosmjernom izlaznom snagom u standardnim ispitnim uslovima i obično se kreće u intervalu od 100 – 365 W. Efikasnost modula definiše površinu modula sa istom nazivnom izlaznom snagom - modul od 8% efikasnosti od 230 W ima dvostruko veću površinu od modula sa 16% efikasnosti iste snage. Postoji nekoliko komercijalno dostupnih solarnih modula koji imaju efikasnost veću od 24% [4, 5]. Redno-paralelnom vezom solarnih ćelija nastaju solarni moduli sa većim vrijednostima napona i struje. Po definiciji, solarni moduli (površine reda veličine 1 m<sup>2</sup>) predstavljaju grupu solarnih ćelija, dok solarni panel predstavlja više povezanih modula i može imati instaliranu snagu od nekoliko kW pa do nekoliko MW. Elementi i struktura fotonaponskog sistema je prikazana na slici 1.



Slika 1 - Elementi i struktura fotonaponskog sistema [6]

## 2. KAPACITETI ZA IZGRADNJU FN ELEKTRANA U RUDNIKU UGLJA „KREKA“ U TUZLI

### 2.1. Procjena snage sunčevog zračenja za Bosnu i Hercegovinu

S obzirom da nisu vršena adekvatna dugoročna mjerenja solarne iradijacije na teritoriji BiH, kako bi se izvršila procjena potencijala solarne energije, usrednjene su dostupne vrijednosti i ustanovljeno je da

Tabela 1. Prosečni godišnji broj sunčanih sati u nekim gradovima u BiH [8,9]

Stanica	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Suma
Bihać	65	103	151	177	244	264	300	274	171	127	79	47	2002
Bugojno	67	93	137	151	189	221	245	241	151	123	71	49	1738
Gradačac	67	100	162	192	259	278	303	290	192	155	91	47	2136
Jajce	56	76	125	152	192	215	238	219	148	124	78	36	1658
Livno	122	140	185	190	255	289	326	308	219	183	120	102	2439
Mostar	125	135	176	184	259	288	332	312	227	176	115	109	2439
Sanski Most	68	103	151	172	232	251	282	269	168	132	80	51	1958
Sarajevo	80	101	149	154	200	240	257	240	171	152	94	58	1895
Tuzla	72	91	152	171	218	235	262	261	174	147	89	54	1928
Zenica	54	92	148	164	215	240	270	252	151	114	63	39	1802

baza podataka o solarnoj iradijaciji, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), ima zadovoljavajuće podatke o godišnjoj solarnoj iradijaciji na teritoriji BiH, slika 2.



Slika 2 - PVGIS: Prosječan nivo godišnje optimalne solarne iradijacije u Bosni i Hercegovini [kWh/m<sup>2</sup>] [7]

Za određivanje srednje vrijednosti solarne iradijacije u Bosni i Hercegovini, korišćeni su srednji podaci o godišnjoj iradijaciji za 10 najvećih gradova. Takvim postupkom se dobija vrijednost od  $\bar{W}_t = 1328$  kWh/m<sup>2</sup> godišnje.

Meteorološki podaci daju prosječnu vrijednost broja sunčanih sati za 10 odabranih gradova u BiH koji su prikazani tabelom 1. [7]. Srednja godišnja vrijednost sunčanih sati iz tabele 1 iznosi 1999,5 h. Na bazi ovako određenih podataka, dobivena je srednja snaga sunčevog zračenja koju BiH prima po metru kvadratnom, prema izrazu (1):

$$\bar{P}_{SI} = \frac{\bar{W}_t}{B_{SSG}} = 0,664 \frac{kW}{m^2} \quad (1)$$

gde je:

$\bar{P}_{SI}$  - srednja snaga sunčevog zračenja [kW/m<sup>2</sup>]

$\bar{W}_t$  - srednja vrednost solarne iradijacije [kWh/m<sup>2</sup>]

$B_{SSG}$  - prosječni godišnji broj sunčanih sati [h].

## 2.2. Procjena iznosa površine pogodne za instalisanje FN elektrane

S ciljem povećanja energetske efikasnosti, smanjena troškova poslovanja, zaštite okoline te alternativnog načina snadbijevanja električnom energijom, izvršena je tehnoekonomska analiza izgradnje FN elektrana na infrastrukturnim objektima i devastiranim površinama - zemljištima Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli.

Kod procjene površine pogodne za instalisanje FN elektrane korišćeni su sljedeći parametri:

- položaj objekta SJEVER-JUG;
- efektivna površina objekta;
- površina zemljišta;
- efektivna površina zemljišta;

- potreban broj FN panela;
- jedinična snaga FN panela 240 W;
- instalirana snaga kW.
- količina insolacije kWh.

### 2.2.1. Pregled infrastrukturnih objekata Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli

U sklopu Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli infrastrukturni objekti se nalaze u ograncima preduzeća: Rudnik „Dubrave“ u Dubravama, Rudnik „Šikulje“ u Lukavcu, Rudnik „Mramor“ u Mramoru, Rudnik „Bukinje“ u Bukinju, Pogon „Radionice“ Šiški Brod, Željeznički prevoz u Bukinju, Drumski prevoz u Mramoru i Direkcija Rudnika „Kreka“ u Tuzli. Na slici je dat prikaz objekata pogodnih za instalaciju fotonaponskih panela.



*Rudnik Dubrave*



*Rudnik Šikulje*



*Rudnik Mramor*



*Rudnik Bukinje*



*Pogon Radionice Šiški Brod*



*Drumski prevoz*



*Željeznički prevoz*



*Direkcija Rudnika uglja Kreka*

Slika 3 - Infrastrukturni objekti pogodni za instaliranje fotonaponskih panela

Prema procenjenim podacima za površine pogodnih lokacija izračunata je ukupna snaga potencijalnih elektrana. Kod instalacije FN panela na ravnim terenima za 1 m<sup>2</sup> instalacije solarnog modula se prosječno koristi 2,5 m<sup>2</sup> površine terena ( $m=0,4$ ), da bi se eliminisala sjena, a na površinama kosih krovova tretirati ćemo kao 1:1 ( $m=1$ ). Kada se ovako određene površine ( $A$ ), pomnože sa dobivenom procenjenom snagom sunčevog zračenja po metru kvadratnom ( $P_{SI}$ ), i koeficijentom efikasnosti solarnih modula, dobiva se snaga kojom bi elektrane raspolagale, izraz (2).

$$P_{SE} = m \cdot A \cdot \overline{P_{SI}} \cdot \eta \quad (2)$$

$m$  – koeficijent zauzetosti površine [-]

$A$  – površina za instalaciju FN panela [m<sup>2</sup>]

$\eta$  – stepen efikasnosti panela [%].

Na tržištu su dostupne monokristalne solarne ćelije koje imaju efikasnost od 14% do 21% [10]. Za ovu analizu korišten je koeficijent efikasnosti od 16%. U tabelama 2 – 9 dat je prikaz instalirane snage na pojedinačnim infrastrukturnim objektima. Razmatrani su samo objekti povoljni za postavljanje solarnih kolektora (vijek objekta, orijentacija, i sl.)

Tabela 2. FN potencijal instalirane snage na objektima Rudnika „Dubrave“

R.br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
1	Radionica	7625/2	1906,25
2	Kupatila	2182/2	545,5
3	Dispečerski	871/2	217,75
4	Uprava	1761	440,25
5	Magacin	5966/2	1491,5
6	Hitna pomoć	1212/2	303
7	Restoran	1010	252,5
UKUPNO		11 699	5156,75

Tabela 3. FN potencijal instalirane snage na objektima Rudnika „Šikulje“

R.br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
1	Radionica	1536	384
2	Kupatila	1216	304
3	Četa	253	63,25
4	Uprava I	423/2	105,75
5	Uprava II	268/2	67
6	Kotlovnica	357	89,25
7	Magacin	527	131,75
8	Klasirnica	497/2	124,25
9	Predklasirnica	634/2	158,5
10	Restoran	404	101
11.	Mehanička	250	62,5
UKUPNO		5 453	1591,25

Tabela 4. FN potencijal instalirane snage na objektima Rudnika „Mramor“

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana Snaga kW
1.	Uprava	496	124
2.	Separacija	371	92,75
3.	Separacija II	71	17,75
4.	Ambulanta	189	47,25
5.	Restoran	981	245,25
UKUPNO		1 300	527,00

Tabela 5. FN potencijal instalirane snage na objektima Rudnika „Bukinje“

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana Snaga kW
1.	Upravna	1822	455,5
2.	Vanjski prom.	295	73,75
3.	Magacin	347	86,75
4.	Prozivaona	410	102,5
5.	Kompresorska	733	183,25
UKUPNO		3 607	901,75

Tabela 6. Moguća instalirana snaga FN elektrane pogona „Radionice“

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana Snaga kW
1.	Radionica	1407	351,75
2.	Uprava I	248	62
3.	Uprava II	172	43
4.	Magacin	630	157,5
5.	Uprava III	129	32,25
6.	Radionica	311	77,75
7.	Restoran	930	232,5
UKUPNO		3 827	956,75

Tabela 7. FN potencijal instalirane snage na objektima Željeznički prevoz

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
1.	Uprava	172	43
2.	Ložiona	1116	279
3.	Radiona	261	65,25
4.	Magacin	230	57,5
5.	Kancelarije	108	27
UKUPNO		1887	471,75

Tabela 8. FN potencijal instalirane snage na objektima pogona „Drumski prevoz“

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
1.	Uprava	180	45
2.	Kotlovnica	50	12,5
3.	Magacin	71/2	17,75
4.	Radionica	110/2	27,5
5.	Hala	562/2	140,5
UKUPNO		601	243,25

Iz predstavljenih podataka može se zaključiti da kada su u pitanju infrastrukturni objekti ukupan

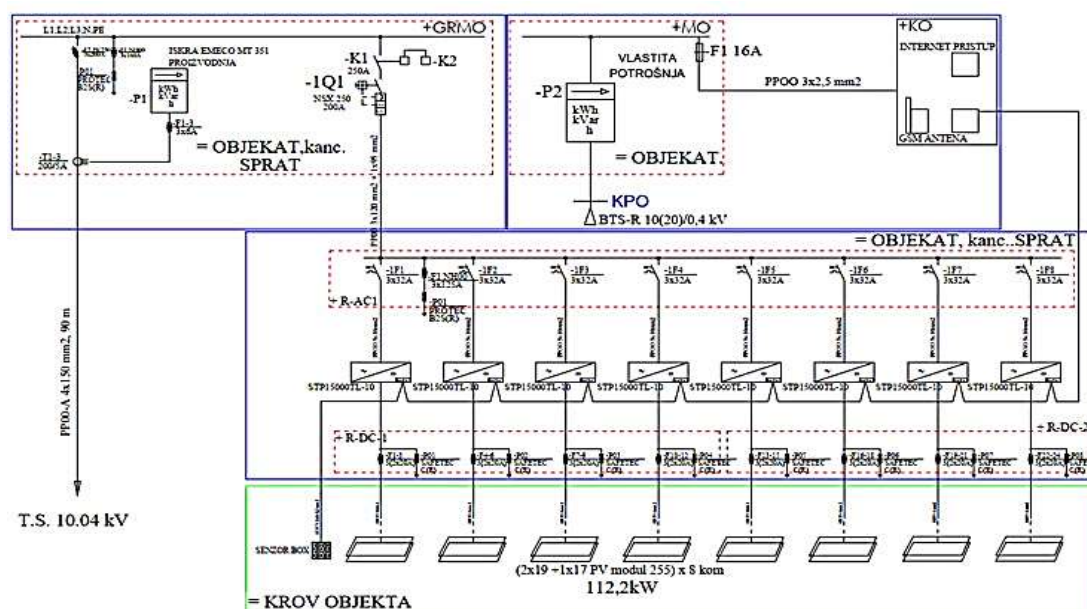
raspoloživi kapacitet za instalaciju FN panela iznosi 12,13 MW.

Tabela 9. FN potencijal instalirane snage na objektima Direkcija Rudnika uglja „Kreka“

R. br.	Naziv objekta	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
1.	Direkcija	9134	2283,5
UKUPNO		9 134	2283,5

Gdje se ističe objekat Direkcije sa raspoloživim kapacitetom od 2,28 MW i objekti pogona Rudnika „Dubrave“ raspoloživog kapaciteta 5,15 MW.

FN paneli predviđeni su za postavljanje na krov objekata, te je na slici 4 prikazana jednopolna šema FN elektrane za instalaciju na objekat.



Slika 4 - Jednopolna šema FN elektrane na objektu Rudniku „Kreka“ u Tuzli [11]

### 2.2.2. Analiza izgradnje FN elektrana na devastiranim površinama - zemljištima rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli

Ukupne površine infastrukturnih objekata prelaze 50.000 m<sup>2</sup>, dok devastirane površine - zemljišta čine nekoliko miliona m<sup>2</sup>. Nakon eksploatacije uglja, dio površina se rekultiviše u skladu sa propisima, međutim značajne devastirane površine - zemljišta ( $\geq 3$  miliona m<sup>2</sup>) ostaju neiskorištene.

U tabeli 10 dat je prikaz potencijala kapaciteta FN elektrana koje bi mogle da se izgrade na devastiranim površinama - zemljištima Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli:

- Zemljište Pogona Rekultivacija,
- Zemljište Rudnika „Dubrave“,
- Zemljište Rudnika „Šikulje“,
- Zemljište Rudnika „Mramor“,

- Zemljište Rudnika „Bukinje“.

Kod instalacije FN panela na tlu, na zemljište koje je nakon eksploatacije uglja ostalo neiskorišteno, a pogodno je za ovu namjenu, na osnovu tabele 9. može se zaključiti da su raspoloživi kapaciteti značajni i po nekoliko desetina MW.

Tabela 10. Moguća instalirana snaga FN elektrane na devastiranom zemljištu

Naziv	Površina parcela m <sup>2</sup>	Površina FN panela m <sup>2</sup>	Instalirana snaga kW
Pogon rekultivacije	1456565	728282	72828,2
Dubrave I	165 227	82 613	8261,3
Dubrave II-odlagalište	90 239	45 117	4511,7
Šikulje	362803	181398	18139,8
Bukinje	64 358	32 179	3217,9
Mramor	75 807	37 903	3790,3

Instalacija FN elektrane na ovakvim lokacijama zahtjeva dodatna ulaganja u energetska infrastrukturu jer su lokacije udaljene od postojeće distributivne mreže.

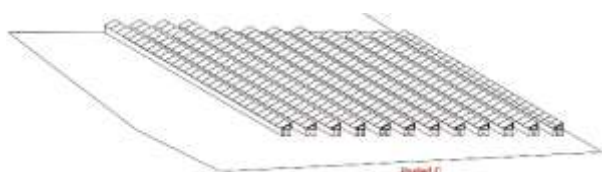
Ovim se značajno podižu troškovi po jedinici inst-

aliranog kapaciteta, a i uslozjava proces realizacije projekata (saglasnosti, izmjena regulacionih i prostornih planova i sl.).

Na slici 5 dat je primjer gde se devastirano zemljište može iskoristiti za izgradnju FN elektrane.



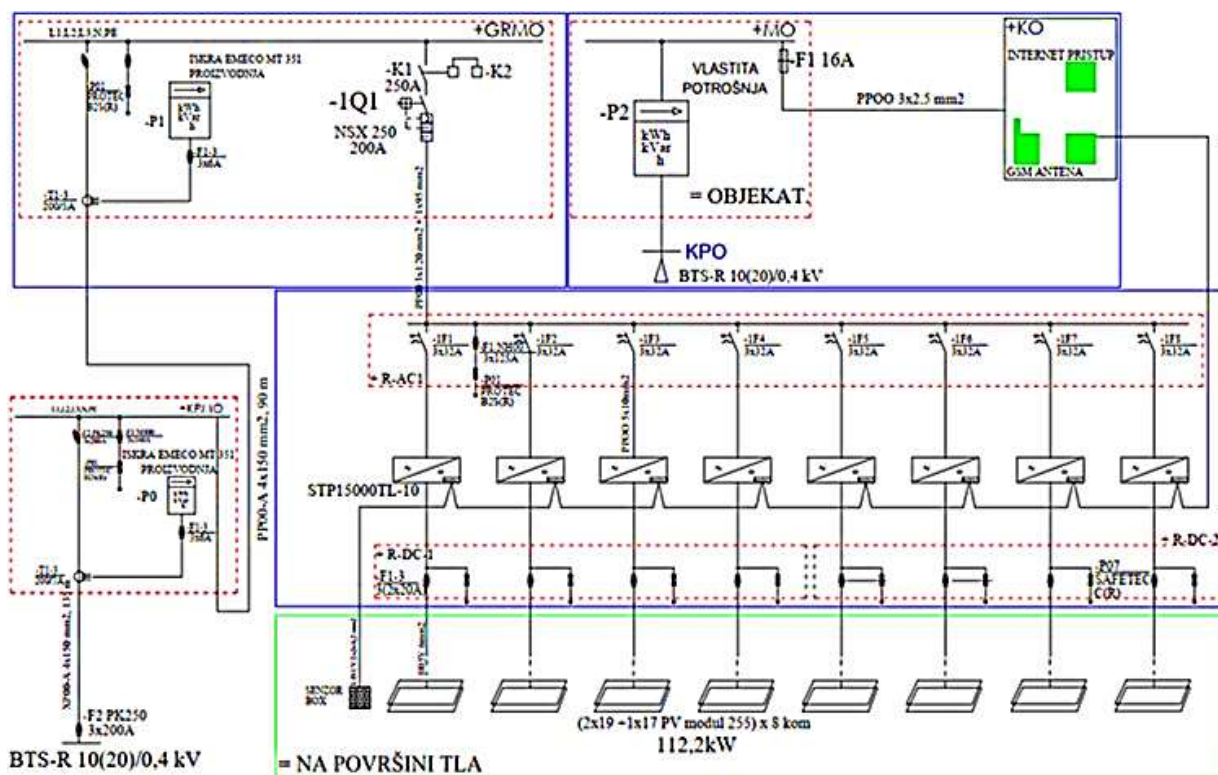
Slika 5 - Primjer devastirane površine površinskog kopa Rudnik Dubrave



Slika 6 - Idejno rešenje FN elektrane na zemljištu Rudniku uglja „Kreka“ u Tuzli [11]

Idejno rješenje postavljanja FN elektrane na jednoj od parcela koja je prethodno razmatrana, je prikazano kroz šemu postavljanja na slici 6. Vodeći računa o rasporedu panela u FN elektrani, njihovoj orijentaciji za maksimalno iskorištavanje potencijala razmatrane

lokacije, dolazimo do mogućnosti instalacije FN panela kapaciteta od 16,52 MW. Povezivanje fotonaoponskih panela na tlu se razlikuje od povezivanja na krovu objekta pa je jednopolna šema FN elektrane na zemljištu Rudnika Kreka u Tuzli prikazano na slici 7.



Slika 7 - Jednopolna šema FN elektrane na zemljištu Rudnika „Kreka“ uTuzli [11]

### 3. BENEFITI INSTALACIJE I KORIŠĆENJA FN ELEKTRANA

#### 3.1. Proizvodnja električne energije

Za proračun proizvodnje električne energije iz fotonaponskih elektrana izgrađenih na infrastrukturnim objektima i devastiranim površinama – zemljištima Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli korišćen je softver PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Interactive Maps on-line kalkulator [12].



Slika 8 - Prikaz interfejsa PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) on-line kalkulatora

Na slici 8 dat je prikaz korisničkog interfejsa on-line kalkulatora PVGIS. Odabirom geografske lokacije dobijaju se podaci o mogućnosti proizvodnje električne energije pomoću fotonaponskih panela.

U tabeli 11 i tabeli 12 dati su podaci o količini godišnje insolacije za lokacije planiranih FN elektrana.

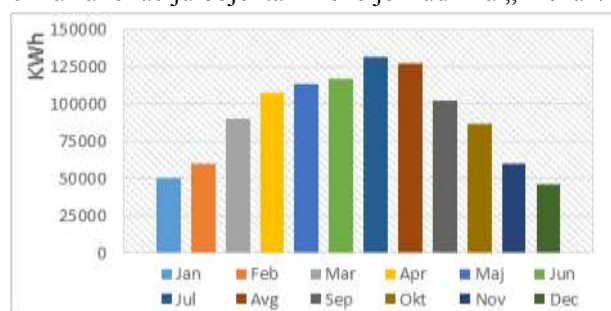
Tabela 11. PVGIS podaci za infrastrukturne objekte Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli

R. br.	Naziv objekta	Geograf. lokacija	Nadmorska visina, mnv	Količina insolacije kWh/m <sup>2</sup>
1.	Direkcija	44.5348 18.6531	222	1501,23
2.	Rudnik Dubrave	44.4857 18.7100	240	1501,97
3.	Rudnik Šikulje	44.5573 18.4919	222	1507,69
4.	Rudnik Mramor	44.5746 18.5663	211	1507,83
5.	Rudnik Bukinje	44.5343 18.6057	211	1506,28
6.	Pogon Radionice	44.5328 18.5739	272	1506,80
7.	Drumski prevoz	44.5586 18.5694	227	1506,91
8.	Željeznički prevoz	44.5316 18.6060	272	1506,28

Tabela 12. PVGIS podaci za zemljišta Rudnika „Kreka“ u Tuzli

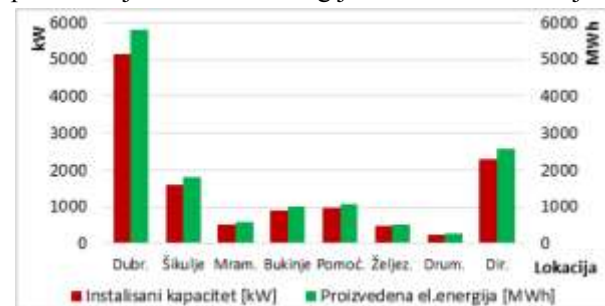
R. br.	Naziv objekta	Geograf. lokacija	Nadmorska visina, mnv	Količina insolacije, kWh/m <sup>2</sup>
1.	Rudnik Dubrave I	44.4857 18.7100	274	1501,97
2.	Rudnik Dubrave II	44.4857 18.7100	240	1501,97
3.	Rudnik Šikulje	44.5573 18.4919	240	1507,69
4.	Rudnik Mramor	44.5746 18.5663	211	1507,83
5.	Rudnik Bukinje	44.5343 18.6057	211	1506,28
6.	Rekultivacija	44.5296 18.5730	272	1506,21

Na osnovu podataka iz on-line kalkulatora za mesečne vrijednosti insolacije može se za svaku lokaciju i veličinu FN elektrane odrediti moguća godišnja proizvodnja električne energije. Tako na slici 9. dat je prikaz proizvodnje električne energije po mjesecima za lokaciju objekta Direkcije Rudnika „Kreka“.



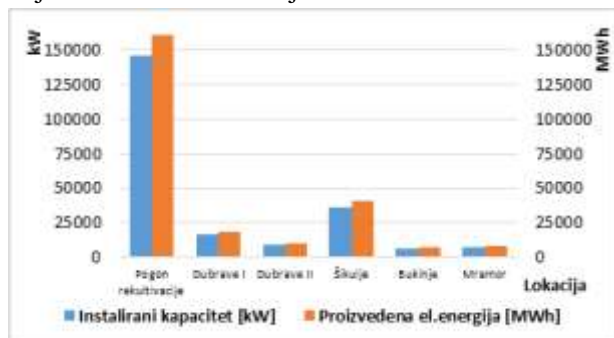
Slika 9 - Mjesečna proizvodnja električne energije iz FN elektrane za lokaciju Direkcija Rudnika „Kreka“

Koristeći podatke o solarnoj insolaciji za svaku lokaciju, o površini objekata povoljnih za instalaciju fotonaponskih modula i mogući instalirani kapacitet dolazimo do vrednosti proizvedene električne energije za svaku od lokacija. Na slici 10 prikazana je vrednost instaliranog kapaciteta FE elektrane i moguća godišnja proizvodnja električne energije za svaku od lokacija.



Slika 10 - Proizvodnja električne energije iz FN elektrane na infrastrukturnim objektima

Dok je na slici 11 dat prikaz moguće proizvodnje električne energije za lokacije devastiranih površina, koje su razmatrane u ovoj analizi.



Slika 11 - Proizvodnja električne energije iz FN elektrana na devastiranim površinama

### 3.2. Smanjenje štetnih emisija u vazduh

Proizvodnjom električne energije iz FN elektrana umanjila bi se potreba za električnom energijom proizvedenom fosilnim gorivima. Ovo bi posljedično dovelo do smanjenja štetnih emisija u vazduh.

Na osnovu godišnje vrijednosti proizvedene energije iz FN jedinica, ako se pretpostavi da je ta količina trebala biti proizvedena iz elektrana na fosilna goriva mogu se izračunati štetne emisije u vazduh.

Proračun se sprovodi uzimajući u obzir prosečni procentualni sastav u uglju sumpora (S), azota (N), isparljivih materija (VM), pepela (A) i karbona (C) koji se zasniva na hemijskoj analizi uglja. Kalkulacije su zasnovane na pretpostavci potpunog sagorevanja uglja.

Za izračunavanje isporučene toplote  $Q_{isp}$  potrebno je poznavati proizvedenu količinu električne energije i prosječnu efikasnost termoenergetskog postrojenja. Vrijednost efikasnosti termoenergetskog postrojenja od 32% je preuzeta iz strateških dokumenata razvoja Elektroprivrede Federacije BiH.

$$Q_{isp} = \frac{P_{ins}}{\eta} \quad (3)$$

gdje je:

Tabela 13. Proizvedena energija i utrošeni uglj

Potreban kapacitet	DTV uglja [14]	Eta [13]	Isporučena toplotna energija, $Q_g$	Faktor rasp. FTE	Godišnja proizvodnja E	Potrošnja uglja, $m_c$	Godišnja potrošnja uglja, $m_{cg}$
MW	MJ/kg	%	MW		GWh	kg/s	kg x10 <sup>6</sup>
40,55	10,68	0,32	126,73	0,74	262,88	11,87	276,91

Na osnovu podataka o kvaliteti uglja i poznati procentualni sadržaj sumpora (S), azota (N), pepela, karbona (C), godišnja emisija SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ispuštene

$Q_{isp}$  isporučena toplotna energija ugljem [kJ/s]

$\eta$  stepen iskorištenja postrojenja [%] i

$P_{ins}$  instalisani kapaciteti postrojenja [kJ/s].

Nakon postizanja teoretske maksimalne isporučene toplote kada termoenergetsko postrojenje radi prema nazivnom kapacitetu tokom cijele godine uz pretpostavku potpunog sagorijevanja, stopa potrošnje uglja izračunata je korišćenjem prosječne donje toplotne vrijednosti ( $H_d$ ) uglja u kJ/kg.

Termoenergetsko postrojenje koristi uglj lokalnog karaktera pa je time smanjen eksterni trošak koji uključuje rudarenje i transport uglja do postrojenja. Za analizu je uzeta prosječna aproksimativna analiza uglja iz lokalnog izvora. Podaci o izvoru uglja i njegovoj kaloričnosti koja se koristi za predviđeni instalirani kapacitet, kao i vrijednosti proizvedene energije i pri tom utrošeni uglj dati su u tabeli 10.

Stopa potrošnje uglja izračunata je korišćenjem odnosa isporučene toplote energije i donje toplotne vrijednosti uglja:

$$m_c = \frac{Q_{isp}}{H_d} \quad (4)$$

gdje je:

$m_c$  maseni protok uglja [kg/s] i

$H_d$  donja toplotna vrijednost uglja [kJ/kg].

Stopa potrošnje uglja  $m_c$  pomnožena sa odgovarajućim vremenskim faktorom i prosječnim faktorom raspoloživosti termoenergetskog postrojenja korišćena je za izračun godišnje potrošnje uglja prema jednačini (5)

$$m_{cg} = m_c \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot FTE \quad (5)$$

gdje je:

$m_{cg}$  godišnja potrošnja goriva [kg],

$m_c$  maseni protok uglja [kg/s] i

$FTE$  faktor reapoloživosti termoenergetskog postrojenja (TEP-a).

Faktor raspoloživosti TEP-a je preuzet iz strategije razvoja energetike FBiH. [13]

čestice PM i emisija CO<sub>2</sub> izračunava se pomoću obrasca standardnog sagorijevanja prema narednim izrazima.



Godišnja količina oslobođenog sumpor dioksida (SO<sub>2</sub>), data je jednačinom (6) [29]

$$m_S = \%S \cdot m_{god} \cdot \left( steh \frac{SO_2}{S} \right) \cdot (1 - \eta_{ods}) \quad (6)$$

gdje je:

$m_S$  godišnja količina sumpor dioksida [kg]

$\%S$  procentni udio sumpora u uglju [%],

$steh \frac{SO_2}{S}$  stehiometrijski omjer molekularnih masa SO<sub>2</sub>/S, iznosi 64/32=2

$\eta_{ods}$  stepen iskorištenja uređaja za odsumporavanje [%].

Godišnja količina oslobođenih azotnih oksida (NO<sub>x</sub>) [30], izračunata je jednačinom (7)

$$m_N = \frac{m_{god} \cdot H_d \cdot EF_{NOx}}{1000000} \quad (7)$$

gdje je:

$H_d$  donja toplotna moć uglja [MJ/kg],

$EF_{NOx}$  faktor emisije NO<sub>x</sub> za termoenergetska postrojenja iznosi 85,2 [g/GJ] za lignit.

Godišnja količina oslobođenih čestica (PM) [27], se može izračunati prema jednačini (8)

Tabela 14. Komponente u uglju i moguća godišnja emisija

Postrojenje	Sadržaj u uglju [%] [15]					Godišnja emisija [t]			
	S	N	C	pepeo	vlaga	ms	mN	mCO x 1000	MPM
TE Tuzla (lignit)	0,21	0,51	30,18	17,24	39,20	58,15	251,97	316,21	190,96

### 3.3. Tehnoekonomska analiza

Izvršena je tehnokonomska analiza izgradnje i proizvodnje električne energije iz FN elektrana sa pogodnih površina infrastrukturnih objekata i površinama-zemljišta Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli. Trenutne cijene na svjetskom tržištu za izgradnju fotonaopskih elektrana se kreću do 2.000 KM/1kW snage FN elektrane.

Garantovana cijena otkupa električne energije po odluci FERK-a (Regulatorni odbor za električnu energiju Federacije Bosne i Hercegovine) se izračunava na osnovu: snage elektrane, referentne cijene od 0,1226 KM/kWh i tarifnog koeficijenta, tabela 15.

Tabela 15. Pregled otkupnih cijena električne energije iz solarnih elektrana -FERK [16]

SOLARNE ELEKTRANE	Referentna cijena [KM/kWh]	Tarifni koef.	Garantovana cijena [KM]
do 10 kW	0,1226	7,50	0,9195
10 kW - 30 kW	0,1226	6,60	0,8092
30 kW - 150 kW	0,1226	6,00	0,7356
150 kW - 1 MW	0,1226	4,20	0,5149
1 MW - 10 MW	0,1226	3,80	0,4659
preko 10 MW	0,1226	3,00	0,3678

$$m_{PM} = 0,8 \cdot \%A \cdot m_{god} \cdot (1 - \eta_{EF}) \quad (8)$$

gdje je:

$\%A$  procenta pepela u uglju [%],

0,8 udio letećeg pepela u ukupnom pepelu i

$\eta_{EF}$  efikasnost elektrostatskog filtera [%].

Godišnja količina oslobođenog ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) [31], računa se prema jednačini (9)

$$m_C = FE_C \cdot H_d \cdot O_C \cdot \frac{44}{12} \cdot m_{god} \quad (9)$$

gdje je:

$FE_C$  faktor emisije ugljika [kgC/GJ], za lignit 27.5,

$H_d$  donja toplotna vrijednost [MJ/kg],

$O_C$  udio oksidirajućeg karbona [%],

$\frac{44}{12}$  stehiometrijski odnos CO<sub>2</sub> i C

$m_{god}$  godišnja količina sagorjelog goriva [kg].

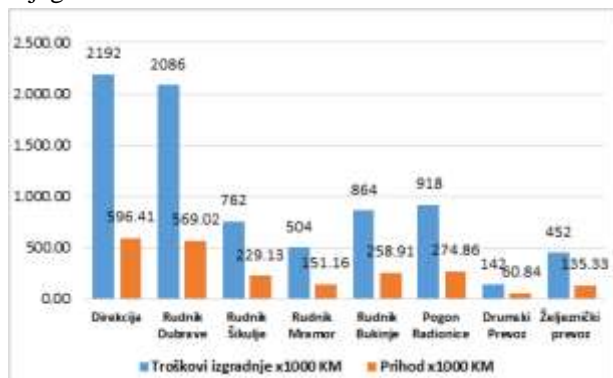
Pojedinosti o komponentama uglja na osnovu izvršenih analiza i moguće oslobođenim emisijama na dimnjaku termoenergetskog postrojenja detaljnije je prikazano u tabeli 11.

S obzirom da je Rudnik Kreka zavisno proizvodno društvo koncerna Elektroprivrede BiH, vjerovatno bi se pristupilo dogovornoj ekonomiji i na nivou koncerna odredila otkupna cijena električne energije. Po važećim pravilnicima cijene odgovaraju onim iz tabele 16. Iz podataka o mogućoj veličini instaliranog kapaciteta u Rudniku „Kreka“, kategorisan bi bio kao proizvođač preko 10 MW sa najnižom garantovanom cijenom.

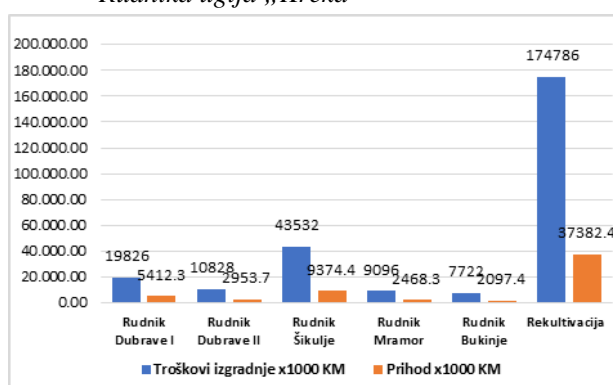
Tabela 16. Pregled otkupnih cijena električne energije iz solarnih elektrana -FERK [16]

SOLARNE ELEKTRANE	Referentna cijena [KM/kWh]	Tarifni koef.	Garantovana cijena [KM]
do 10 kW	0,1226	7,50	0,9195
10 kW - 30 kW	0,1226	6,60	0,8092
30 kW - 150 kW	0,1226	6,00	0,7356
150 kW - 1 MW	0,1226	4,20	0,5149
1 MW - 10 MW	0,1226	3,80	0,4659
preko 10 MW	0,1226	3,00	0,3678

Moguće ostvarivanje finansijskih prihoda od prodaje proizvedene električne energije je prikazano dijagramima na slikama 12 i 13.



Slika 12 - Prihod od proizvodnje električne energije iz FN elektrana na infrastrukturnim objektima Rudnika uglja „Kreka“



Slika 13 - Prihod od proizvodnje električne energije iz FN elektrana na devastiranim površinama Rudnika uglja „Kreka“

Shodno mogućnosti profita od prodaje električne energije i vrijednosti investicije u izgradnju proizvodnih kapaciteta jednostavno se izračunava prosti period povrata investicije, prema tabeli 17.

Tabela 17. Povrat novca iz FN elektrana Rudnika uglja „Kreka“

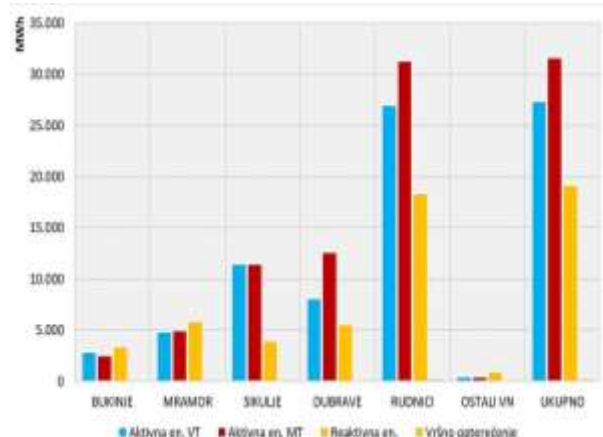
R. br.	Naziv objekta	Troškovi izgradnje KM	Prihod KM	Povrat novca god
1	Direkcija	2.192 000,00	596 411,00	3,6
2	Rudnik Dubrave	2.086 000,00	569 028,00	3,6
3	Rudnik Šikulje	762 000,00	229 134,00	3,3
4	Rudnik Mramor	504 000,00	151 164,00	3,3
5	Rudnik Bukinje	864 000,00	258 916,00	3,3

R. br.	Naziv objekta	Troškovi izgradnje KM	Prihod KM	Povrat novca god
6	Pogon Radionice	918 000,00	274 862,00	3,3
7	Drumski Prevoz	142 000,00	60 845,00	2,3
8	Željeznički prevoz	452 000,00	135 335,00	3,3
9	Rudnik Dubrave I	19.826 000,00	5.412 843,00	3,6
10	Rudnik Dubrave II	10.828 000,00	2.953 710,00	3,6
11	Rudnik Šikulje	43.532 000,00	9.374 481,00	4,6
12	Rudnik Mramor	9.096 000,00	2.468 534,00	3,6
13	Rudnik Bukinje	7.722 000,00	2.097 447,00	3,6
14	Rekultivacija	174.786 000,00	37.382 478,00	4,6

### 3.1. Supstitucija vlastite potrošnje

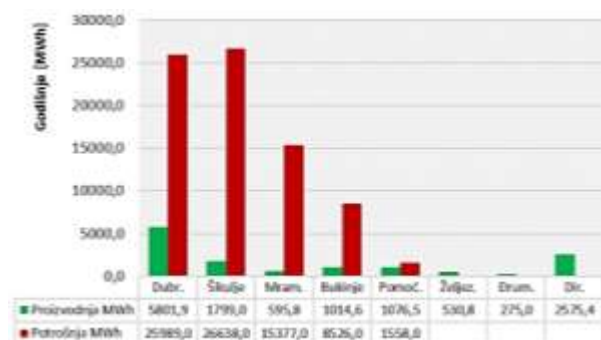
Kako su rudarske mašine i proizvodni pogoni veliki potrošači električne energije, vlastita proizvodnja bi imala značajan uticaj kako na cijenu konačnog proizvoda tako i na smanjenje zagađenja rudarskom delatnošću.

Rudnički pogoni su veliki potrošači električne energije, posebno je izražena potrošnja visikotarifne električne energije, slika 14.

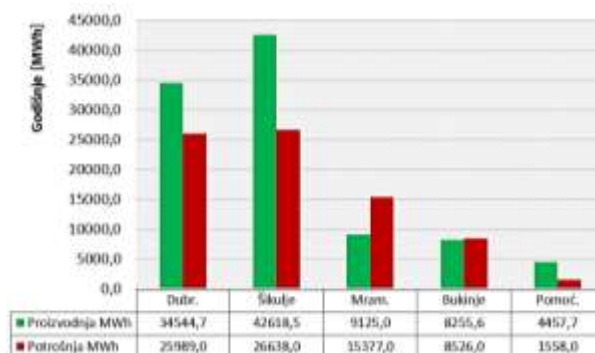


Slika 14 - Vlastita potrošnja električne energije rudnika „Kreka“

Na slici 15. prikazana je vrijednost vlastite potrošnje rudnika „Kreka“ za prosječnu godinu u usporedbi sa mogućom proizvodnjom električne energije



iz FN elektrana, kod infrastrukturnih objekata (gornja slika) i kod devastiranih površina (donja slika).



Slika 15 - Vlastita potrošnja električne energije Rudnika uglja „Kreka“

## ZAKLJUČAK

Efekti primjene obnovljivih izvora energije u rudarskoj privrednoj djelatnosti ogledaju se u prevenciji enormnog povećanja cijena električne energije, smanjenje karbonskog otiska preduzeća i zadržavanje niske cijene konačnog proizvoda kao imperativ daljnjeg razvoja ove privredne grane.

Prema izvršenim analizama raspoloživih pogodnih površina za instaliranje fotonaponskih elektrana moguće je ostvariti kapacitet od 12,13 MW na infrastrukturnim objektima i 221,49 MW na devastiranim zemljišnim površinama.

Potrošnja električne energije u rudniku „Kreka“ za 2021. godinu bila 154,7 GWh. Prema analizi moguće proizvodnje električne energije iz FN elektrana navedenog kapaciteta, prema slici 15, moguća je proizvodnja 252,72 GWh, u odnosu na potrošnju, ostvaruje se višak električne energije.

Zavisno od snage solarne elektrane i garantovane cijene otkupa električne energije zavisi i povrat uložnih sredstava u njihovu izgradnju. U slučaju izgradnje i proizvodnje električne energije iz FN elektrana sa infrastrukturnih objekata i devastiranih površina-zemljišta Rudnika uglja „Kreka“ u Tuzli, povrat uložnih sredstava je ostvariv u periodu od 2,3 godina - 4,6 godina.

Ekološki efekat izgradnje FN elektrana se ogleda u supstituciji dijela električne energije dobijene iz fosilnih goriva. Instalirane FN elektrane svojom proizvodnjom električne energije bi odgovarale kapacitetu od 40,55 MW termoenergetskog postrojenja koje sagorijeva lignit. Supstitucijom bi se smanjile emisije u vazduh čestica prašine do 190 t/god, emisije CO<sub>2</sub> za 316,2·10<sup>3</sup> t/god, emisije sumpor dioksida za 58,15 t/god. i za 251,9 t/god. emisija azotnih oksida.

FN elektrane korisniku omogućuju nezavisnu, ekonomičnu i održivu opskrbu električnom energijom. Ugradnjom FN elektrana se direktno pozitivno, kako

je prikazano u radu, utiče na usporavanje klimatskih promjena i očuvanje Zemlje.

## LITERATURA

- [1] Alfred S. *Elements of electro-biology,; or the voltaic mechanism of man; of electro-pathology, especially of the nervous system; and of electro-therapeutics* London, pp 15, 2015.
- [2] Serway Raymond A, *Physics for Scientists & Engineers*, 1990.
- [3] K. A. Tsokos, *Physics*, Fifth edition, Cambridge, 2008.
- [4] Ulanoff, L. *Elon musk and solarcity unveil 'world's most efficient' solar panel*. Mashable, 2 October 2015.
- [5] University of New South Wale. *Milestone in solar cell efficiency achieved: New record for unfocused sunlight edges closer to theoretic limits*. Science Daily, 17 May 2016.
- [6] Wang, Tien-Chin & Tsai, Su-Yuan. Solar Panel Supplier Selection for the Photovoltaic System Design by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Approaches. *Energies*. 11. 1989. 10.3390/en11081989, 2018.
- [7] T. Martinović, M. Mitrović, *Uticaj solarnih elektrana na elektroenergetski sistem BiH*, 2014.
- [8] Šuri M, Huld T. A, Dunlop E. D, Ossenbrink H. A, 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, 1295–1305.
- [9] Huld T, Müller R, Gambardella A, A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86, 1803- 1815, 2012.

- [10] <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solarpanels-on-the-market>
- [11] Šabić Z. *Idejni projekat izgradnje fotonaponskih elektrana u Rudniku uglja „Kreka“ u Tuzli*, 2021
- [12] PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Interactive Maps on-line kalkulator – Dostupno na [www.photovoltaicsoftware.com](http://www.photovoltaicsoftware.com)
- [13] Studija energetskog sektora u BiH, Energetski institut Hrvoje Požar, Hrvatska, Soluziona, Španjolska, Ekonomski institut Banjaluka, BiH, Rudarski institut Tuzla, BiH, 2009.
- [14] FIPA Energy sector B&H Investment projects: B&H energy sector (FIPA energetski sektor (2012), investicijski projekti u BiH: energetski sektor BiH). FIPA 13.11.2012; pp 1-61, 2012.
- [15] Rješenja o potvrđivanju geoloških rezervi i kvaliteta mineralne sirovine uglja u Rudniku Kreka (PK Šikulje-Up/I, br.:06-18-38/02; 17.2.2003; P.Selo-Tojšići-Up/I br.:07- 18-148/02; 7.8.2002; Bukinje-Up/I br.:06-18-7/05; 6.7.2005; Mramor-Up/I br.:07-18-186/03; 22.7.2003)
- [16] Regulatorni odbor za električnu energiju Federacije Bosne i Hercegovine – dostupno na [www.ferk.ba](http://www.ferk.ba)

## SUMMARY

### EFFECTS OF THE INSTALLATION OF FN POWER PLANTS IN THE PRODUCTION FACILITIES OF THE „KREKA“ COAL MINE IN TUZLA

*The use of renewable energy sources is imposed as an imperative for the competitiveness and stable energy policy of companies. The basic production equipment in the "Kreka" coal mine in Tuzla has electrical plants with a total peak load of 12 MW, and the costs for electrical energy exceed €3.5 million annually. The paper analyzes the suitability of infrastructure facilities and devastated areas of the Kreka Coal Mine in Tuzla for the construction of photovoltaic power plants and the effects of such plants. The results of the analysis show a significant resource for the installation of photovoltaic power plants with a capacity of 230 MW. The production of electricity from these photovoltaic power plants enables a reduction of emissions into the air by 190 t/year of particle emissions, by  $316.2 \cdot 10^3$  t/year of CO<sub>2</sub> emissions, by 58.15 t/year of SO<sub>2</sub> emissions and by 251.9 t/year of emissions NO<sub>x</sub>. With the subsidized purchase of electricity, it is possible to return the investment within 6 years.*

**Key Words:** FN power plants, carbon footprint, efficiency, renewable energy