

ŠOLSKI CENTER VELENJE  
GIMNAZIJA  
Trg Mladosti 3, 3320 Velenje  
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA  
**MOŽNOSTI UPORABE HLADILNEGA STOLPA, BLOKA 6 TEŠ,  
V ENERGETSKE NAMENE**

Tematsko področje: APLIKATIVNI INOVACIJSKI PREDLOGI IN PROJEKTI

Avtor:

Jan Vodušek, 1. letnik

Mentor:

Matjaž Žerak, univ. dipl. inž.

Velenje, 2013

## **MENTORSTVO**

Raziskovalna naloga je bila opravljena na ŠC Velenje, Gimnaziji.

Mentor: Matjaž Žerak, univ. dipl. inž.

Datum predstavitve:

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)

ŠD ŠC Velenje, Gimnazija, 2012/13  
KG Fotonapetostni moduli/hladilni stolp bloka 6 TEŠ/sledilna fotonapetostna elektrarna  
AV VODUŠEK, Jan  
KZ 3320 Velenje, SLO, Trg Mladosti 3  
ZA ŠC Velenje, Gimnazija, Velenje  
LI 2013  
IN MOŽNOSTI UPORABE HLADILNEGA STOLPA, BLOKA 6 TEŠ, V  
ENERGETSKE NAMENE  
TD RAZISKOVALNA NALOGA  
OP VI, 26 s, 8 tab., 5 slike, 2 grafa, 4 skice  
IJ SL  
JI SL

AI Blok 6 je zadnje čase velikokrat omenjen projekt. Del njega je hladilni stolp, ki se dviga 152,7 m nad Šaleško dolino. Z njegovo višino in celodnevni izpostavljenosti soncu se pojavlja vprašanje, ali bi bilo mogoče stolp izkoristiti energetske tudi iz strani FN energije z izgradnjo FN elektrarne. To smo se podali raziskati.

Pogoji in razmere na stolpu bi lahko imele posledice na delovanje FN elektrarne. Z analizo podatkov in primerjavo le teh smo zavrgli nevarnost. Rešili smo problem senčenja modulov med sabo (moduli so zaradi boljšega izkoristka pod naklonom) in senčenja iz strani bodočih izpuhov elektrarne (ti bi lahko povzročili senco na steni hladilnega stolpa). Izračunali smo rentabilnost ter zaokrožili celotno smiselnost in učinkovitost elektrarne (primerjava investicije z dobičkom). Preverili smo možnost sledilne FN elektrarne (s posebno tehniko tirov bi lahko FN moduli sledili soncu tekom dneva). Prav tako pa smo se pozanimali o predpisih, ki urejajo izgradnjo FN elektrarne. S posebno tehniko pritrdjevanja (oblika stolpa in nagnjenost modulov zaradi senčenja), bi bila izgradnja mogoča.

## KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

ND ŠC Velenje, Gimnazija, 2012/13  
CX Photovoltaic modules / cooling tower of blok 6 / tracking photovoltaic power plant  
AU VODUŠEK, Jan  
PP 3320 Velenje, SLO, Trg mladosti 3  
PB ŠC Velenje, Gimnazija, Velenje  
PY 2013  
TI POSSIBILITY OF USING COOLING TOWER, BLOK 6 TEŠ, FOR ENERGY PURPOSES  
DT RESEARCH WORK  
NO IV, 26 p., 8 fig., 5 photos, 2 charts, 4 sketches  
LA SL  
AL EN

AB The construction of blok 6 at the Termoelektrarna Šoštanj has been mentioned quite often recently. A part of this new construction is a cooling tower, rising 152,7 m over the Šaleška dolina. Its height and its daily exposure to the sun arouse the question of a possibility of using the tower to gain the photovoltaic energy by constructing a photovoltaic power plant and that soon became the goal of this research work.

The operation of the photovoltaic power plant could be endangered by the conditions and situations on the tower. By analyzing and comparing the data any expected dangers were omitted. The problems of module shading (for better efficiency the modules are under certain inclination) and the shading, due to the possible exhaust fumes of the power plant which could cause a shadow on the wall of the cooling tower, have been solved. The economic viability and the complete efficiency and rationality of the power plant have been calculated by comparing the investment and the profit. The possible usage of a sun tracking power plant, using special modules built on rails to follow the sun during the day, has been examined. At the same time the regulations, provided to construct a photovoltaic power plant, have been taken into consideration. We have reached a conclusion that with a special technique of attachment? (the shape of the tower and the inclination of the modules due to the shading) a construction of such power plant is possible.

## KAZALO

MENTORSTVO .....	II
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI) .....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD) .....	IV
KAZALO .....	V
KAZALO TABEL, GRAFOV, SLIK IN SKIC .....	VI
1 UVOD .....	1
2 PREGLED OBJAV .....	2
2.1. Fotonapetostne celice .....	2
2.2. Fotonapetostni moduli .....	2
2.3. BISOL PeakPerformance 250-260 Wp (MONOKRISTALNI) .....	2
2.4. Izplen sončne elektrarne .....	3
Graf 1: Učinkovitost glede na naklonski kot FN modulov (Kirchensteiner, 2012). .....	4
2.5. Sledilne sončne elektrarne .....	4
2.6. Hladilni stolp bloka 6 TEŠ .....	5
2.7. Osnovni podatki o hladilnem stolpu bloka 6 TEŠ .....	5
2.8. Veter v Šaleški dolini .....	6
3 MATERIAL IN METODE DELO .....	7
3.1 Problem senčenja po obeh oseh .....	7
3.1.1. Vertikalno senčenje na vertikalni površini .....	8
3.1.2. Vertikalno senčenje na površini z naklonom .....	9
3.2 Letni izplen fiksne elektrarne .....	11
3.3 Možnosti sledilne elektrarne .....	16
Graf 2: dnevna primerjava moči sledilnih FN elektrarn po vrsti sledenja soncu (Radanovič, 2011). .....	17
3.3.1 Pasivna enosna sledilna FN elektrarna na krožnem izseku 60° .....	17
3.4 Reševanje problema o senčenju modulov iz strani izpuhov hladilnega stolpa .....	20
3.5 Pogoji na steni hladilnega stolpa in ostale omejitve .....	20
4 REZULTATI IN RAZPRAVA .....	22
4.1 Rentabilnost FN elektrarne .....	22
4.2 Senčenje FN modulov .....	23
4.3 Sledilna FN elektrarna in njena rentabilnost .....	24
4.4 Pogoji na stolpu in ostale omejitve. ....	24
5 ZAKLJUČEK .....	25
6 POVZETEK .....	26
7 ZAHVALA .....	27
8 VIRI IN LITERATURA .....	28

## KAZALO TABEL, GRAFOV, SLIK IN SKIC

### Kazalo tabel

Tabela 1: Električne lastnosti pri STC (AM 1,5, 1000 W/m <sup>2</sup> , 25°C).....	2
Tabela 2: Temperaturne lastnosti .....	2
Tabela 3: Mehanske lastnosti .....	3
Tabela 4: Osnovni podatki o hladilnem stolpu.....	5
Tabela 5 : Podatki o specifikacijah FN modula.....	7
Tabela 6: Izračun števila FN modulov v vrsti na stolpu.....	13
Tabela 7: Izračun števila FN modulov v vrsti pri sledilni elektrarni.....	17
Tabela 8:Primerjava fiksne in sledilne FN elektrarne na hladilnem stolpu.....	22

### Kazalo grafov

Graf 1: Učinkovitost glede na naklonski kot FN modulov.....	4
Graf 2: dnevna primerjava moči sledilnih FN elektrarn po vrsti sledenja soncu .....	17

### Kazalo slik

Slika 1: Letno sončno obsevanje v Slovenij.....	3
Slika 2: Sledilna FN elektrarna.....	5
Slika 3: Hladilni stolp bloka 6 TEŠ .....	6
Slika 4: Hladilni stolp v času okoli 21. decembra ob 12.00 .....	12
Slika 5: Vetrna roža za AMP Šoštanj .....	20

### Kazalo skic

Skica 1:Vertikalno senčenje .....	9
Skica 2: Vertikalno senčenje na površini z naklonom.....	11
Skica 3: razporeditev modulov na stolpu .....	13
Skica 4: Tloris stolpa s vrisanim središčnim kotom in sončnimi žarki. ....	16

## 1 UVOD

Blok 6 Termoelektrarne Šoštanj je zadnja leta eden naj odmevnejših projektov. Z njim bi zmanjšali količino izpustov in posodobili sistem pridobivanja električne energije. Pri projektu sta načrtovana dva objekta velikih dimenzij. Eden od njiju je hladilni stolp. Dviga se 152,7 m nad Šaleško dolino in je tako izpostavljen sončnemu sevanju. Vendar pa je vse prej kot »zelen«. Termoelektrarne s svojim onesnaževanjem okolja povzročajo precejšen spor med energetiki in okoljevarstveniki.

Razvitost FN tehnologije bi lahko omogočala še boljši izkoristek hladilnega stolpa ter mu dodala vrednost zelene energije. Tako bi lahko tudi v Šaleški dolini izkoriščali obnovljive energetske vire. S tem bi rešili tudi precejšen del okoljske spornosti s termoelektrarno in popeljali Šaleško dolino v obdobje okolju prijaznih energetskih virov. Ideja nam je padla v naročje ko smo opazovali izgradnjo hladilnega stolpa in njegovo problemsko spornost z okoljem. Na stolpu bi lahko uporabili tehnologijo sončne elektrarne. Vsekakor pa pogoji na stolpu niso idealni, zato se je pojavilo nekaj problemov, ki so bili glavne uporne točke za nastanek hipotez. Te smo skrbno oblikovali in jih nato uporabili pri delu. Hipoteze so:

1. Fiksna FN elektrarna na hladilnem stolpu bloka 6 bi bila rentabilna.
2. Sledilna FN elektrarna na hladilnem stolpu bloka 6 bi bila rentabilna.
3. Sistem sledilne FN elektrarne na hladilnem stolpu bloka 6 bi bil bolj učinkovit kot sistem fiksne FN elektrarne.
4. Hladilni stolp bloka 6 je primeren prostor za postavitve FN elektrarne z okoljskega zakonodajnega vidika.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1. Fotonapetostne celice

Pri fotovoltaičnem pojavu oziroma fotonapetostni pretvorbi energije pride do neposredne pretvorbe sončne energije v električno. Do pretvorbe sončne energije pride v tako imenovanih sončnih celicah. Sončne celice so v osnovi zgrajene iz polprevodniških diod velikih površin, ki so zgrajene iz dveh različnih tipov polprevodniške plasti. Eno izmed teh dveh plasti imenujemo polprevodnik tipa p. Drugo plast imenujemo plast tipa n. Ko dva različna tipa polprevodnikov staknemo skupaj, pride do pojava difuzije nabojev preko stične površine. Elektroni v polprevodniku tipa n začnejo prodirati v polprevodnik tipa p, medtem ko vrzeli iz polprevodnika tipa p prodirajo v polprevodnik tipa n. Ob robu spoja tipa n nastane pozitivni prostorski naboj, ob robu spoja tipa p pa negativni prostorski naboj. Če takšno zasnovo priključimo na zunanjo napetost, po njej steče električni tok (Rotovnik s sod, 2009).

### 2.2. Fotonapetostni moduli

Več povezanih fotonapetostnih celic predstavlja modul, ta je osnova za vsako fotonapetostno elektrarno. Te pa moramo združiti v nize in polja modulov, da dobimo sončno elektrarno. V urbanih okoljih fotonapetostne sisteme povezujemo z javnim elektroenergetskim omrežjem - v tem primeru govorimo o z omrežjem povezanih fotonapetostnih sistemih. Fotonapetostni moduli so lahko tudi sestavni deli bivalnih ali poslovnih objektov (Fotonapetostni moduli, 2010).

### 2.3. BISOL PeakPerformance 250-260 Wp (MONOKRISTALNI)

Tabela 1: Električne lastnosti pri STC (AM 1,5, 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C) (bisol peakperformance, 2011)

Vršna moč [W]	265
Kratkostični tok [A]	910
Napetost odprtih sponk [V]	38,5
Tok vršne moči [A]	8,50
Napetost vršne moči [V]	31,2
Učinkovitost pretvorbe celic [%]	18,1
Učinkovitost pretvorbe modulov [%]	16,2
Toleranca izhodiščne moči [W]	0/+5
Najvišji rezervni tok [A]	13
Maksimalna sistemska napetost [V]	1000

Tabela 2: Temperaturne lastnosti (bisol peakperformance, 2011)

Temperaturni koeficient toka [mA/°C]	+4,5
Temperaturni koeficient napetosti [mV/°C]	-132
Temperaturni koeficient moči [%/°C]	-0,35
NOCT [°C]	44
Temperaturni razpon	-40°C do +85°C

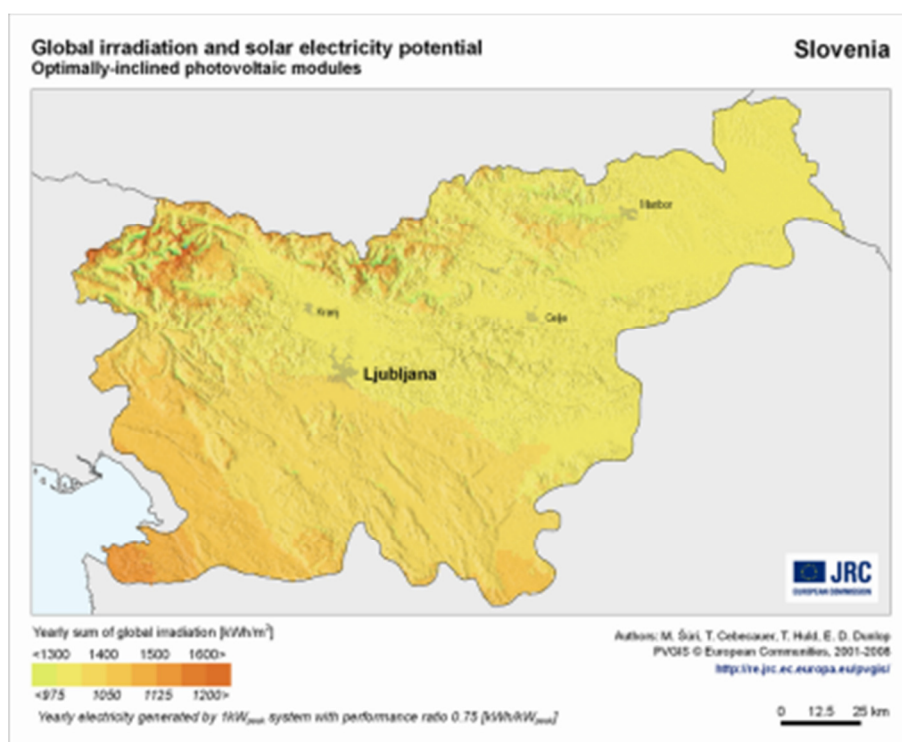


Tabela 3: Mehanske lastnosti (bisol peakperformance, 2011)

Višina x širina x debelina	1,649 mm x 991 mm x 40 mm
Masa	18,5 kg
Sončne celice	60 monokristalnih serijsko vezanih / 156mm x 156mm
Električni priključki	TE Connectivity (IP 65/IP 67) s tremi obvodnimi diodami
Okvir	Eloksiran aluminij z luknjami za odvodnjavanje/čvrsto zasidrani kotniki
Steklo	3,2 mm debelo steklo z antirefleksnim slojem/visoka prosojnost/nizka vsebnost železa
Mehanska odpornost	Toča/premer: 25mm/83km/h

#### 2.4. Izplen sončne elektrarne

Izplen sončne elektrarne je odvisen od sončnega obsevanja, položaja oziroma lege FN generatorja in izkoristka FN modulov in razsmernikov. Sončno obsevanje nam pove koliko kilovatnih ur sončne energije pade na kvadratni meter zemeljskega površja v določenem času. Zaradi letnih časov se dnevna, tedenska in mesečna obsevanja razlikujejo med seboj. Povprečno letno obsevanje za Slovenijo je 1000-1200 kWh/m<sup>2</sup> letno.

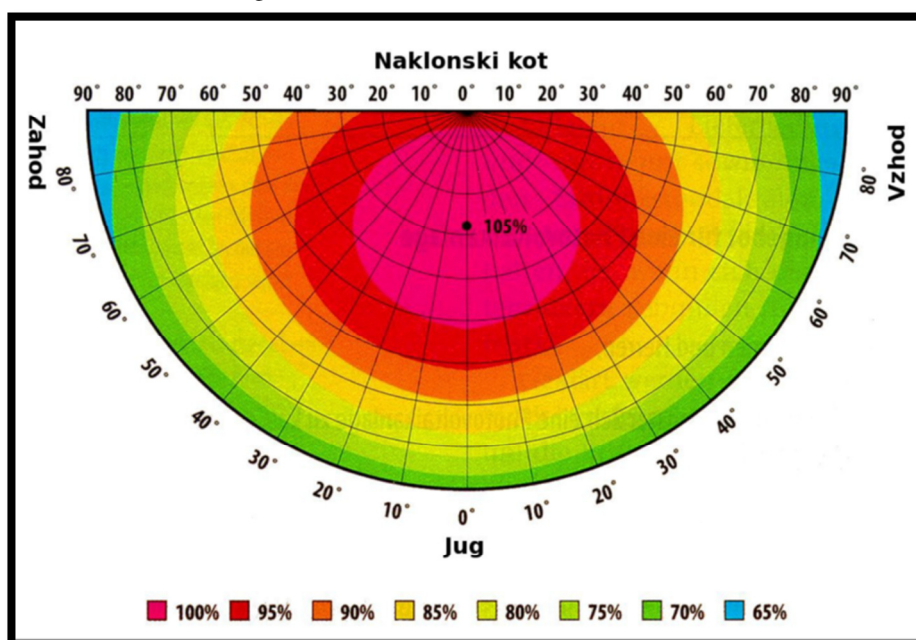


Slika 1: Letno sončno obsevanje v Sloveniji (Izkoristek sončne elektrarne, 2009)

Izplen FN elektrarne nam pove koliko kilovatnih ur električne energije pridobimo na kilovat inštalirane moči FN generatorja pri optimalni postavitvi FN generatorja. V Sloveniji je letni izplen FN generatorjev približno 1050 kilovatnih ur na kilovat inštalirane moči v primeru optimalne postavitve FN generatorja. (Fotovoltaika, Izkoristek Sončne Elektrarne!, 2009). FN generator ima največji izplen, če je sončna elektrarna usmerjena proti jugu z naklonom 32 stopinj. Koliko procentov sončne energije pa naša sončna elektrarna prejme, če je postavljena drugače? Če FN generator postavimo navpično in ga

obrnemo proti jugu prejme ta okoli 70% maksimalnega izplena. Če postavimo sončno elektrarno na ravno streho, doseže ta 90% celotne vrednosti. Seveda je takšna streha primerna tudi za postavitev solarnih sledilcev s katerimi lahko dosežemo optimalni izplen sončne energije. Na spodnji sliki je prikazano kako naklon in orientacija postavitve fotonapetostnih (FN) modulov sončne elektrarne vplivata na izplen sončne energije (Izplen sončne energije na različnih delih stavbe, 2013). Iz grafikona je razvidno da odmik  $20^\circ$  od idealnega naklona  $32^\circ$  ne zmanjša bistveno letnega izplena, prav tako pa je do odmika  $50^\circ$  od smeri proti jugu FN generator še vedno v položaju, v katerem ima 100% svojega izkoristka.

Graf 1: Učinkovitost glede na naklonski kot FN modulov (Kirchensteiner, 2012).



## 2.5. Sledilne sončne elektrarne

Posebna izvedba sončnih elektrarn so sledilne sončne elektrarne, pri katerih fotonapetostni moduli sledijo gibanju sonca. S sledilnimi sistemi elektrarnam povečamo izkoristek do 30%, saj zagotovimo, da so moduli vedno obrnjeni proti soncu. Takšni sistemi pa imajo tudi svoje slabosti, predvsem imami tu v mislih visoke investicije in vzdrževanje sledilnikov. Sončni sledilniki lahko delujejo po že vnaprej znanem programu za sledenje soncu, takšne imenujemo pasivni sledilniki, ali pa sledijo soncu s pomočjo senzorjev, imenujemo jih aktivni sledilniki. Poznamo dve vrsti sledenja soncu, enoosno in dvoosno (Radanovič, 2011).



Slika 2: Sledilna FN elektrarna (Sončne celice, 2012).

## 2.6. Hladilni stolp bloka 6 TEŠ

Blok 6 bo s 600 MW postopoma nadomestil tehnološko zastarele in ekonomsko nerentabilne bloke 1,2,3,4 in 5. Blok 6 bo za enako količino proizvedene energije porabil približno za 30 odstotkov manj premoga, zato bodo tudi skupne emisije v okolje bistveno nižje. Blok 6 bo pri enaki količini proizvedene energije emitiral v okolje za 35 odstotkov manj CO<sub>2</sub> kot trenutni bloki Termoelektrarne Šoštanj. Z izgradnjo šestega bloka TEŠ bodo zmanjšali stopnjo onesnaženosti okolja, izboljšali kakovost in energetske učinkovitost ter omogočili elektrarni doseganje skladnosti z mednarodnimi standardi najboljših razpoložljivih tehnologij (Za svetlo prihodnost, 2011).

## 2.7. Osnovni podatki o hladilnem stolpu bloka 6 TEŠ

Tabela 4: Osnovni podatki o hladilnem stolpu (Natural drought cooling tower with flue gas discharge, 2011)

Polmer na vrhu stolpa	29,68 m
Polmer najožje točke:	28,05 m
Polmer na dnu stolpa:	47,06 m
Višina stolpa	153,7 m



Slika 3: Hladilni stolp bloka 6 TEŠ (lastni arhiv, 2012)

## 2.8. Veter v Šaleški dolini

V Šoštanju piha veter pogosteje kot v Velenju, v obdobju 1990-1999 je bilo brez vetra (calm) samo 0,6% vseh primerov. Najpogostejši so bili (podobno kot v Velenju) vetrovi iz zahodseverozahodne (WNW) smeri (20,3%), sledili so jim vetrovi iz jugovzhodne smeri (SE) s 7,2 %. V povprečju so bili najmočnejši vetrovi iz jugozahoda (SW) (2,1 m/s). Največje zabeležene povprečne polurne hitrosti v tem obdobju so bile pri vetrovih iz severne (N) in severseverovzhodne (NNE) smeri (7,7 m/s).

Podobno kot v Velenju, so tudi za Šoštanj značilni šibki vetrovi. Polurne vrednosti vetrov, močnejših od 5 m/s, se pojavljajo zelo redko (Ocena rekreacijsko turističnega potenciala Šaleških jezer, 2000)

### 3 MATERIAL IN METODE DELA

Postavili smo metodo raziskovanja glede na probleme ter se uprli na pridobljene podatke o FN modulih in hladilnem stolpu bloka 6 TEŠ. Raziskovanja smo se lotili po naslednjem postopku:

- Problem senčenja po obeh oseh
- Računanje letnega izplena sončne elektrarne
- Možnosti sledilne elektrarne
- Reševanje problema o senčenju modulov iz strani izpuhov hladilnega stolpa
- Pogoji na steni hladilnega stolpa in ostale omejitve

Glavna metoda dela je bila opazovanje in računanje. Kvantitativnih meritev žal nismo mogli opravljati, predvsem zaradi nedostopnosti terena, na katerem bi opravljali meritve. Za vzorčni modul pa smo izbrali FN modul domačega proizvajalca BISOL PeakPerformance 250-260 Wp (MONOKRISTALNI). Izbrali smo ga na podlagi odpornosti proti zunanjim vplivom in veliko vršno močjo.

Tabela 5 : Podatki o specifikacijah FN modula

Specifikacija	količina
Vršna moč (W)	265
Temperaturni koeficient toka (mA/°C)	+4,5
Temperaturni koeficient napetosti (mV/°C)	-132
Temperaturni koeficient moči (%/°C)	-0,35
Temperaturni razpon	-40°C do +85°C
Višina x širina x debelina	1,649 mm x 991 mm x 40 mm
Masa	18,5 kg
Mehanska odpornost	Toča/premer: 25mm/83km/h

#### 3.1 Problem senčenja po obeh oseh

Če bi postavili FN module na vertikalno površino stolpa, vzporedno s steno, se ti ne bi senčili. Vendar pa je potrebno upoštevati naklon Zemlje in je zato treba postaviti FN module na naklon 30° na horizontalni površini. Pod tem naklonom padajo žarki na FN modul pravokotno v poletnem času, ko je sončne energije največ, in s tem najboljše izkoriščajo sončno sevanje. Vendar pa imamo tukaj vertikalno površino, zato je ta naklon glede na njo 60°. Pri takšni postavitvi bi se FN moduli senčili, kar predstavlja problem. Če na FN modul preide senca, se njegova moč lahko zmanjša do 60%, kar je izguba električne energije. Zato smo rešili ta problem, tako da smo izračunali najmanjšo razdaljo med dvema FN moduloma.

### 3.1.1. Vertikalno senčenje na vertikalni površini

Do vertikalnega senčenja pride ko postavimo module enega po drugim na vertikalni površini. Problem senčenja po horizontali smo rešili, da smo izračunali najmanjšo dolžino razmika med dvema moduloma. Izračunali smo jo z formulo, ki smo jo izpeljali.

Najprej celotno razdaljo med dvema FN moduloma ( $A$ ) razdelimo na dva dela ( $A_1$  in  $A_2$ ). Presekamo jo kjer pravokotnica na celotno razdaljo seka vrh fotonapetostnega modula. Tako dobimo dva pravokotna trikotnika. Kot naklona modula smo vzeli iz naklona za največji letni izplen in je  $32^\circ$  ( $\alpha$ ) na horizontalni površini. Vendar lahko ti dve stopinji zanemarimo. Ta kot je potem na vertikalni površini  $60^\circ$  glede na vertikalno. Dolžino modula ( $L$ ), hipotenuzo, pomnožimo z kosinus  $60^\circ$  ( $\cos\alpha$ ). Tako dobimo prvi del dolžine in splošno formulo za izračun te dolžine:

$$A_1 = L \cdot \cos\alpha$$

Kjer je  $A_1$  (m) prvi del celotne razdalje med dvema moduloma,  $L$  (m) dolžina oziroma širina FN modula in  $\cos\alpha$  kosinus kota  $60^\circ$ . Ker nam ni znana nobena stranica drugega pravokotnega trikotnika izračunamo dolžino nasprotne katete oziroma dolžino pravokotnice, ki seka vrh FN modula in celotno dolžino med moduloma. Uporabimo hipotenuzo prvega pravokotnega trikotnika in jo pomnožimo z sinus  $60^\circ$  ( $\sin\alpha$ ). Dobimo dolžino nasprotne katete in splošno enačbo za izračun pravokotnice, ki seka konec modula in celotno razdaljo med moduloma:

$$h = L \cdot \sin\alpha$$

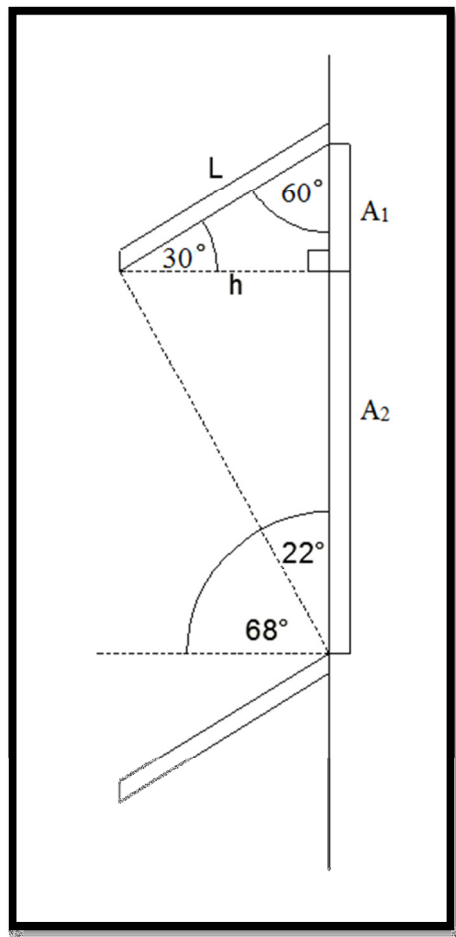
Pri čemer je  $h$  (m) razdalja pravokotnice na celotno razdaljo med dvema FN moduloma, ki seka rob FN modula. Zdaj je znanih dosti podatkov za izračun drugega dela celotne dolžine med moduloma ( $A_2$ ). Tukaj uporabimo drugi kot, ki leži med horizontalo in hipotenuzo drugega pravokotnega trikotnika oziroma premico, ki označuje konec sence ( $\beta$ ) in znaša  $68^\circ$ . Ta je povzet iz kota  $22^\circ$ , ki je kot med horizontalo in najvišjo poletno lego sonca. Uporabimo nasproti ležečo kateto, pravokotnico, ki seka vrh modula in celotno dolžino med moduloma ( $h$ ) in jo množimo s tangens  $68^\circ$  ( $\tan\beta$ ). Tako dobimo še drugi del celotne dolžine med dvema moduloma in splošno enačbo za izračun te dolžine:

$$A_2 = h \cdot \tan\beta$$

Kjer je  $A_2$  (m) drugi del celotne razdalje med FN moduloma,  $h$  (m) dolžina pravokotnice na celotno dolžino, ki seka rob FN modula in tangens  $\beta$  tangens kota  $68^\circ$ . Zdaj preprosto združimo vse tri enačbe v eno enačbo in dobimo enačbo za izračun najkrajše razdalje med dvema moduloma, pri vertikalnem senčenju modulov.

$$A = L(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta)$$

Kjer je  $A$  celotna razdalja,  $L$  dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha$  kot naklona FN modula od stene stolpa in kot  $\beta$  kot med horizontalo in premico roba sence.



Skica 1: Vertikalno senčenje (lastni arhiv, 2012)

Iz te enačbe sledi, da bi morali biti FN moduli pritrjeni 2,62 m eden pod drugim na vertikalni površini. Ta podatek smo uporabili pri izračunu števila modulov v posamezni vrsti. Ki nam je pomagal pri izračunu letnega izplena elektrarne. Podatke smo uredili v programski opremi Microsoft Office 2010 in jih uporabili za izračun letnega izplena elektrarn.

### 3.1.2. Vertikalno senčenje na površini z naklonom

Stolp ima obliko nepravilnega rotacijskega hiperguloida. Zato FN moduli na njem ne stojijo na vertikalni površini. Na zgornjem delu stolpa stena odklanja za  $1,91^\circ$ , kar lahko zanemarimo in uporabimo formulo za vertikalno senčenje na vertikalni površini. Kot je enak ali manjši kot  $1,91^\circ$  nad višino 95 m. Pod to višino pa se kot naklona zvišuje do kota

13,02° na višini 38,7 m. To je višina do katere sega senca, ko je sonce najnižje na obzorju. Vzeli smo formulo iz podpoglavja 3.4.1.

$$A = L(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta)$$

Kjer je  $A$  (m) celotna razdalja,  $L$  (m) dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha$  kot naklona FN modula od stene stolpa in kot  $\beta$  kot med horizontalo in premico roba sence.

Kotoma  $\alpha$  in  $\beta$  smo odšteli naklon stene, ki se z višino spreminja z enačbama:

$$\alpha' = \alpha - \delta$$

$$\beta' = \beta - \delta$$

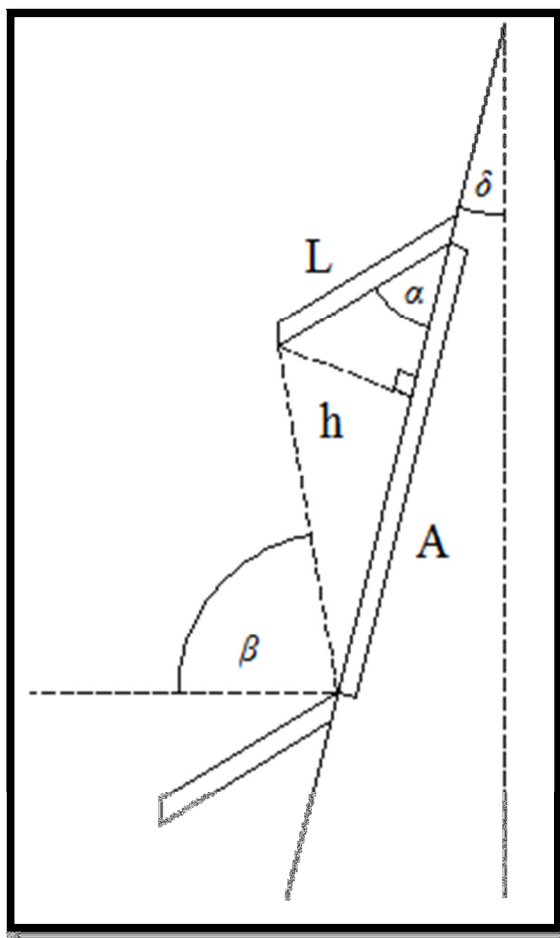
Pri čemer je kot  $\alpha'$  razlika kota FN modula od stene stolpa in kota naklona stene od vertikale,  $\alpha$  kot med modulom in steno pri vertikalni steni in  $\delta$  kot med steno in vertikalo. In pri drugi enačbi kot  $\beta'$  razlika kota med horizontalo in premico roba sence ter kota naklona stene od vertikale,  $\beta$  kot med horizontalo in robom sence pri vertikalni steni in  $\delta$  kot med steno in vertikalo.

Kot med steno in vertikalo smo povzeli iz načrta bloka 6. Z novimi podatki smo izračunali najmanjšo razdaljo med dvema FN moduloma z enačbo.

$$A = L(\cos\alpha' + \sin\alpha' \cdot \tan\beta')$$

Kjer je  $A$  celotna razdalja,  $L$  dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha'$  razlika kota FN modula od stene stolpa in kota naklona stene od vertikale in kot  $\beta'$  razlika kota med horizontalo in premico roba sence ter kota naklona stene od vertikale. Vendar pa stena ni ravna temveč zaobljena, kar predstavlja nov problem. Rešili smo ga preprosto s tem, da smo to zanemarili, ker je bila razlika minimalna. Enačbi sta si po obliki enaki, vendar se med njima pojavlja razlika v kotih, v enačbi za izračun minimalne razdalje med moduloma na površini z naklonom od vertikale, sta kota, ki ju uporabimo v enačbi, za izračun minimalne razdalje med moduloma na vertikalni površini, drugačna. Predstavljata razliko med kotom naklona med vertikalo in steno ter med kotoma, ki ju uporabimo pri enačbi za izračun minimalne razdalje med moduloma na vertikalni površini. Za dolžino najmanjše razdalje med dvema FN moduloma smo odkrili da je krajša kot tista na vertikalni površini. Torej naklon od vertikale v spodnjem delu manjša senco, ki jo meče FN modul. Te podatke smo nato uporabili pri izračunu letnega izplena elektrarne.





Skica 2: Vertikalno senčenje na površini z naklonom (lastni arhiv, 2013)

### 3.2 Letni izplen fiksne elektrarne

Letni izplen elektrarne, je vsa bruto pridobljena električna moč, ki jo proizvede elektrarna v enem letu. Iz tega podatka lahko ocenimo rentabilnost elektrarne, če ga primerjamo z podatkom o investiciji elektrarne ter izračunamo dobo, ko se vsoti izenačita. Povprečna doba pri povprečnih FN elektrarnah je 8 - 15 let, vendar moramo upoštevati, da je ta elektrarna vse kot prej povprečna ali običajna. Tukaj bodo potrebni posebni nosilci, za pritrditev FN modulov, upoštevati pa je potrebno še delo na veliki višini. Tako je potrebno investicijo FN modulov skorajda podvojiti, da pridemo do realne investicije. Spodnjo točko do katere bo segala FN elektrarna smo določili s pomočjo opazovanja stolpa v času najnižje lege sonca, okoli 21. decembra, in je na višini 38,15 m.

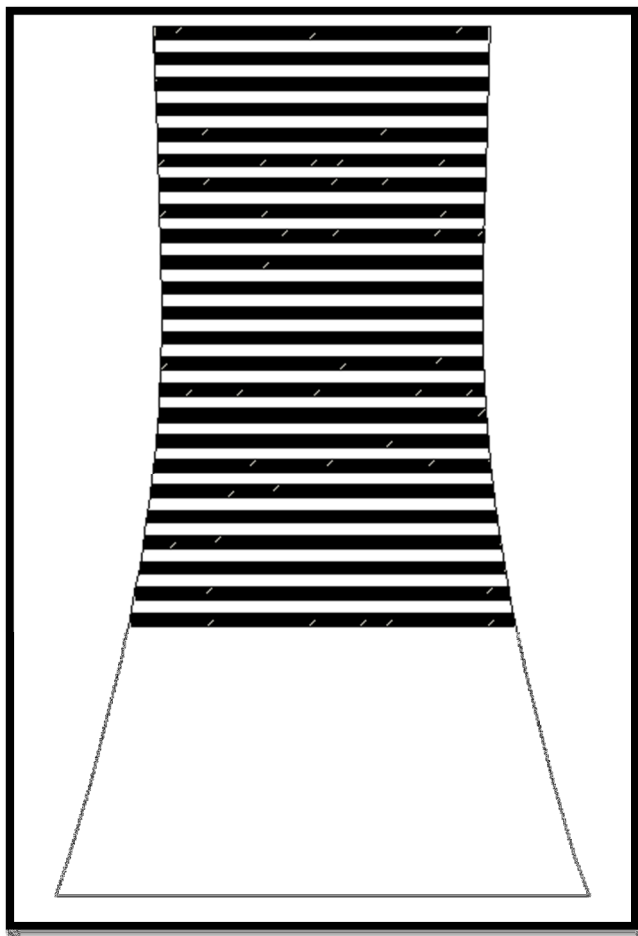


Slika 4: Hladilni stolp v času okoli 21. decembra ob 12.00 (lastni arhiv, 2012)

Za izračun letnega izplena FN elektrarne pa potrebujemo inštalirano moč le te in podatek o povprečnem letnem izplenu za to območje. Določili smo da bodo FN moduli prekrivali površino krožnega izseka  $90^\circ$  in sicer  $45^\circ$  na vsako stran od azimuta  $180^\circ$ , torej od juga. S pomočjo te enačbe smo izračunali število FN modulov v posamezni vrsti. Podatke pa smo pridobili iz načrta bloka 6 in iz podatkov o FN modulih. Enačbo smo izpeljali iz enačbe za

$$N_m = \frac{\pi r \alpha}{x \cdot 180^\circ}$$

Pri čemer je  $N_m$  število modulov v posamezni vrsti,  $r$  (m) dolžina krožnega izseka,  $\pi$  število pi zaokroženo na 15 decimalnih mest, kot  $\alpha$  kot krožnega izseka in  $x$  (m) dolžina FN modula. Tako smo izračunali posamezno število FN modulov za vsako vrsto.



Skica 3: razporeditev modulov na stolpu (lastni arhiv, 2013).

Tabela 6: Izračun števila FN modulov v vrsti na stolpu (lastni izračuni, 2013).

št. vrste	višina [m]	Dolžina loka v krožnem odseku 90° [m]	št. modulov
1	152,7	14,84	28
2	150,04	14,795	28
3	147,38	14,75	28
4	144,72	14,71	28
5	142,06	14,665	27
6	139,4	14,62	27
7	136,74	14,575	27
8	134,08	14,535	27
9	131,42	14,49	27
10	128,76	14,45	27
11	126,1	14,405	27
12	123,44	14,365	27
13	120,78	14,325	27
14	118,12	14,285	27
15	115,46	14,245	27

16	112,8	14,21	27
17	110,14	14,18	27
18	107,48	14,15	26
19	104,82	14,13	26
20	102,16	14,12	26
21	99,5	14,125	26
22	96,84	14,145	26
23	94,18	14,18	27
24	91,3	14,23	27
25	88,87	14,285	27
26	86,52	14,35	27
27	84,2	14,45	27
28	81,94	14,515	27
29	79,74	14,615	27
30	77,55	14,72	28
31	75,39	14,835	28
32	73,24	14,955	28
33	71,15	15,085	28
34	69,1	15,215	28
35	67,07	15,355	29
36	65,06	15,505	29
37	63,25	15,645	29
38	61,44	15,79	30
39	59,69	15,935	30
40	57,88	16,09	30
41	56,74	16,245	30
42	52,54	16,58	31
43	50,69	16,76	31
44	48,86	16,945	32
45	47,05	17,135	32
46	45,24	17,33	33
47	43,45	17,52	33
48	41,68	17,72	33
49	39,91	17,92	34
50	38,15	18,125	34
		Skupno število modulov	1422

Ker pa se FN moduli med seboj senčijo smo povzeli formulo iz podpoglavja 3.1.1 in izračunali najmanjšo dolžino odmaknjenosti med FN moduli.

$$A = L(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta)$$

Kjer je  $A$  (m) dolžina med FN moduloma,  $L$  (m) dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha$  kot naklona FN modula od stene stolpa in kot  $\beta$  kot med horizontalo in premico roba sence. Stolp ima obliko nepravilnega rotacijskega hiperguloida, tako da bi bili FN moduli inštalirani nanj pod različnimi nakloni glede na steno stolpa. Zato smo upoštevali formulo iz podpoglavja 3.1.2.

$$A = L(\cos\alpha' + \sin\alpha' \cdot \tan\beta')$$

Kjer je  $A$  (m) dolžina med FN moduloma,  $L$  (m) dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha'$  kot naklona FN modula od stene stolpa in kot  $\beta'$  kot med horizontalo in premico roba sence. Skupno število FN modulov je 1422, kar daje skupno površino 2323, 77 m<sup>2</sup>. Inštalirana moč FN elektrarne je električna moč, ki jo FN elektrarna proizvaja pri standardnih testnih pogojih in je enaka vsoti vršnih moči vseh modulov, ki sestavljajo FN generator. Inštalirano moč FN elektrarne dobimo po tej formuli.

$$P_{pp} = N_m \cdot P_{mpp}$$

Pri čemer je  $P_{pp}$  (kW<sub>pp</sub>) inštalirana moč FN elektrarne,  $N_m$  skupno število vseh FN modulov in  $P_{mpp}$  (W) vršna moč FN modula. Iz podatka o inštalirani moči nato izračunamo letni izplen elektrarne.

Letni izplen je skupna bruto proizvedena moč FN elektrarne. Izračunamo jo po formuli.

$$W = P_{pp} \cdot IZ_{asl}$$

Pri čemer je  $W$  (MWh) letni izplen FN elektrarne,  $P_{pp}$  (kW<sub>pp</sub>) inštalirana moč FN elektrarne in  $IZ_{asl}$  (kWh/kW<sub>pp</sub> · a) povprečni letni izplen za Slovenijo in znaša 1050 kWh/kW<sub>pp</sub> · a. S temi podatki smo nato še izračunali letni dobiček po naslednji formuli in mu odvzeli 5% kot strošek vzdrževanja.

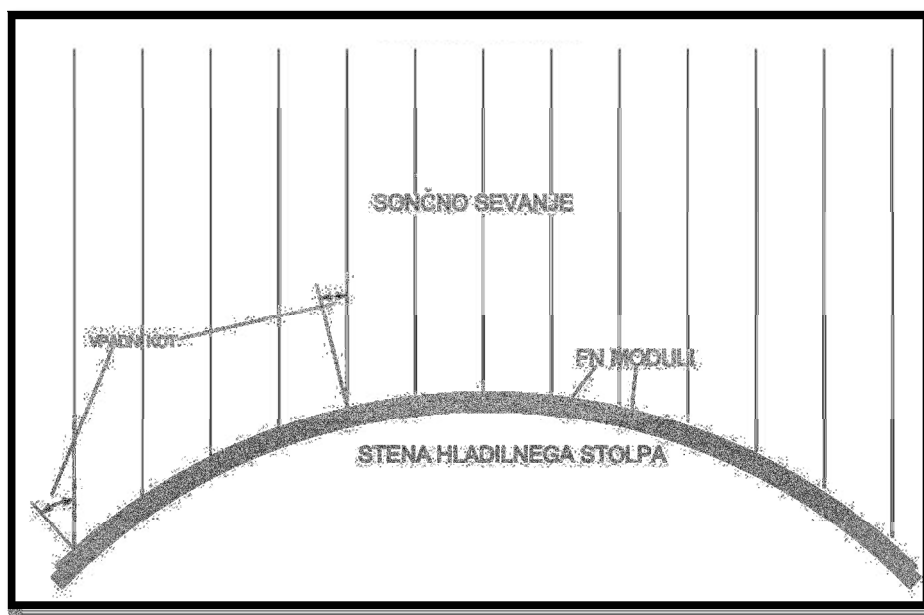
$$D_l = W \cdot C_{oe}$$

Pri čemer je  $D_l$  (€) letni dobiček,  $W$  (MWh) letni izplen FN elektrarne in  $C_{oe}$  (€) cena odkupa električne energije. Vse skupaj smo izračunali v programski opremi Microsoft Office 2010, ter uporabili podatke za izračun podatka o rentabilnosti FN elektrarne, ki smo ga nato uporabili za potrjevanje oziroma zavračanje hipotez.

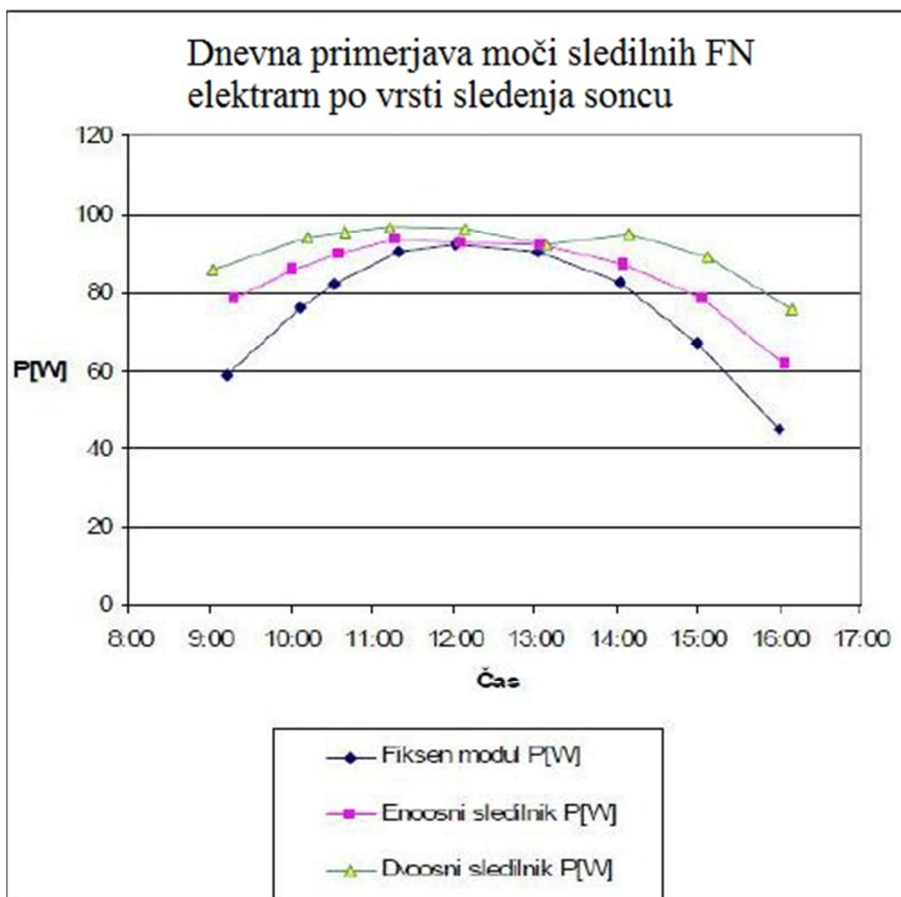
### 3.3 Možnosti sledilne elektrarne

Sledilna FN elektrarna sledi soncu skozi dan in zagotavlja boljši izplen elektrarne. Poznamo dve vrsti sledilnih FN elektrarn: Pasivne in aktivne sledilne FN elektrarne, obe dve vrsti, se delita še na enoosne in dvoosne elektrarne. Module bi postavili na steno pod kotom  $60^\circ$ . Pri postavitvi dvoosne sledilne elektrarne, bi se ta kot spreminjal in posledično spreminjal dolžino sence, ki bi jo metal. Zaradi tega bi bil potreben večji razmik med FN moduli, kar pa predstavlja manjšo inštalirano moč in s tem posledično manjši izplen elektrarne. Zato torej bi bila aktivna sledilna FN elektrarna malce bolj učinkovita kot pasivna, zato lahko povzamemo, da bi bila najbolj primerna enoosna pasivna elektrarna. Ta je za 25% bolj učinkovita kot fiksna. Določili smo možnost sledilne elektrarne. Bila bi nameščena na  $60^\circ$  krožni izsek hladilnega stolpa, središče bi sledilo gibanju sonca. Tako bi tekom dneva bili središčni moduli postavljeni tako, da bi bil vpad sončnih žarkov pravokoten. Robni moduli pa bi zaradi  $30^\circ$  kota postavitve na hladilnem stolpu imeli  $30^\circ$  vpadni kot sončnih žarkov med navideznim pomikanjem sonca.

Module bi bili pritrjeni na tračnice, napeljene po obodu stolpa v horizontali, tako bi lahko skozi dan sledile gibanju sonca in zagotavljale boljši izplen kot v primeru fiksne elektrarne.



Skica 4: Tloris stolpa s vrisanim središčnim kotom in sončnimi žarki (lastni arhiv,2013).



Graf 2: dnevna primerjava moči sledilnih FN elektrarn po vrsti sledenja soncu (Radanovič, 2011).

### 3.3.1 Pasivna enoosna sledilna FN elektrarna na krožnem izseku 60°

Pri tej možnosti smo zmanjšali število modulov in jih omejili na krožni izsek 60°. Pridobili smo podatke iz načrta bloka 6 in jih uporabili pri izračunu števila modulov. Uporabili smo enačbo za izračun števila modulov v posamezni vrsti.

$$N_m = \frac{\pi r \alpha}{x \cdot 180^\circ}$$

Pri čemer je  $N_m$  število modulov v posamezni vrsti,  $r$  dolžina polmera kroga,  $\pi$  število pi zaokroženo na 15 decimalnih mest, kot  $\alpha$  kot krožnega izseka in  $x$  (m) dolžina FN modula.

Tabela 7: Izračun števila FN modulov v vrsti pri sledilni elektrarni (lastni izračuni, 2013)

št. vrste	višina [m]	Dolžina krožnega loka [m]	št. modulov
1	152,7	9,7944	18
2	150,04	9,7647	18
3	147,38	9,735	18
4	144,72	9,7086	18
5	142,06	9,6789	18

6	139,4	9,6492	18
7	136,74	9,6195	18
8	134,08	9,5931	18
9	131,42	9,5634	18
10	128,76	9,537	18
11	126,1	9,5073	18
12	123,44	9,4809	18
13	120,78	9,4545	18
14	118,12	9,4281	17
15	115,46	9,4017	17
16	112,8	9,3786	17
17	110,14	9,3588	17
18	107,48	9,339	17
19	104,82	9,3258	17
20	102,16	9,3192	17
21	99,5	9,3225	17
22	96,84	9,3357	17
23	94,18	9,3588	17
24	91,3	9,3918	17
25	88,87	9,4281	17
26	86,52	9,471	18
27	84,2	9,537	18
28	81,94	9,5799	18
29	79,74	9,6459	18
30	77,55	9,7152	18
31	75,39	9,7911	18
32	73,24	9,8703	18
33	71,15	9,9561	18
34	69,1	10,0419	19
35	67,07	10,1343	19
36	65,06	10,2333	19
37	63,25	10,3257	19
38	61,44	10,4214	19
39	59,69	10,5171	20
40	57,88	10,6194	20
41	56,74	10,7217	20
42	52,54	10,9428	20
43	50,69	11,0616	21
44	48,86	11,1837	21
45	47,05	11,3091	21
46	45,24	11,4378	21
47	43,45	11,5632	22
48	41,68	11,6952	22



49	39,91	11,8272	22
50	38,15	11,9625	22
		Skupno število modulov	929

Zaradi naklona stene pod višino 95 m smo uporabili enačbi iz podpoglavji 3.1.1. in 3.1.2.

$$A = L(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta)$$

Kjer je A celotna razdalja, L dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha$  kot FN modula od stene stolpa in kot  $\beta$  kot med horizontalo in premico roba sence.

$$A = L(\cos\alpha' + \sin\alpha' \cdot \tan\beta')$$

Kjer je A celotna razdalja, L dolžina oziroma širina FN modula, kot  $\alpha'$  razlika kota FN modula od stene stolpa in kota naklona stene od vertikale in kot  $\beta'$  razlika kota med horizontalo in premico roba sence ter kota naklona stene od vertikale. Z izračunom smo dobili podatek da je skupno število modulov 929, ki dajejo skupno površino 1518,13 m<sup>2</sup>. Ti moduli bi se sočasno premikali s soncem in bili tako skozi dan izpostavljeni direktnemu sončnemu sevanju. Pasivne enoosne elektrarne imajo za 25% boljši izkoristek kot fiksne, vendar smo pri tem primeru predpostavili, da bi tukaj šlo za manjše število modulov, ki bi sledili gibanju soncu skozi dan, zato bi bil izkoristek za 35% boljši. Izračunali smo letni izplen sledilne FN elektrarne z enačbo.

$$W = (P_{pp} \cdot IZ) \cdot 1,35$$

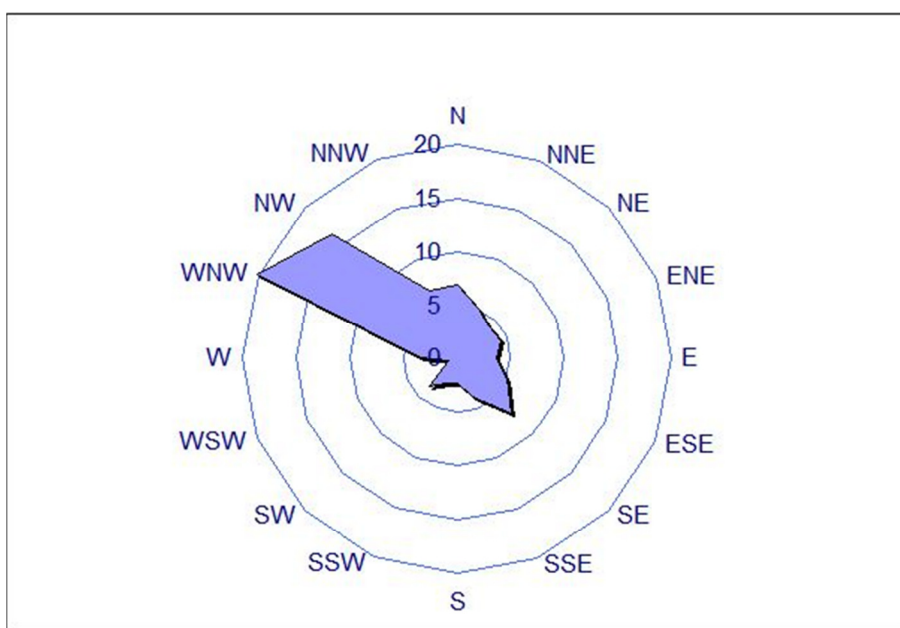
Pri čemer je W (MWh) letni izplen FN elektrarne,  $P_{pp}$  (kW<sub>pp</sub>) inštalirana moč FN elektrarne in  $IZ$  (kWh/kW<sub>pp</sub> · a) povprečni letni izplen za Slovenijo in znaša 1050 kWh/kW<sub>pp</sub> · a in 1,35 predstavlja dodatnih 35% zaradi sledilne FN elektrarne. Z temi podatki smo nato še izračunali letni dobiček po naslednji formuli in mu odvzeli 5% kot strošek vzdrževanja.

$$D_l = (W \cdot C_{oe}) \cdot 0,95$$

Pri čemer je  $D_l$  (€) letni dobiček, W (MWh) letni izplen FN elektrarne in  $C_{oe}$  (€) cena odkupa električne energije ter 0,95 predstavlja 95% celotnega dobička. Podatke smo nato uredili in jih primerjali z podatki o izračunu letnega izplena fiksne elektrarne. Za izračun podatkov smo uporabili programsko opremo Microsoft Office 2010. Podatke smo uporabili za potrditev oziroma ovržbo hipotez.

### 3.4 Reševanje problema o senčenju modulov iz strani izpuhov hladilnega stolpa

Leta 2014 bo hladilni stolp prišel v poizkusni čas obratovanja. Izpuščal bo paro in emisijske pline. Pri izpuščanju pare se ta kondenzira in ustvari oblake. Ti oblaki pa bi lahko senčili module na hladilnem stolpu. Zato smo analizirali pridobljene podatke o vetru v Šoštanju. Ugotovili smo da veter v Šoštanju piha predvsem na severozahod in jugovzhod. Kar bi pomenilo da je glavni usmerjevalec vetra oblika doline. Predvsem pa je veter v Šaleški dolini šibek. Kar pa pomeni da izpuhov hladilnega stolpa nebi zanašalo proti jugu, kjer bi celice bile postavljene vendar večinoma po dolini navzdol in navzgor. Podatke smo analizirali s pomočjo programske opreme Microsoft Office 2010 in jih uporabili pri potrjevanju ali zavračanju hipotez.



Slika 5: Vetrna roža za AMP Šoštanj (Ocena rekreacijsko turističnega potenciala Šaleških jezer, 2000)

### 3.5 Pogoji na steni hladilnega stolpa in ostale omejitve

Hladilni stolp se v zrak dviga 152,7 m. Veter na takšni višini je vsekakor bolj močan kot pri tleh. To bi lahko predstavljalo problem za možnost sledilne FN elektrarne. Ta uporablja občutljiv mehanizem, ki bi ga lahko razmere na stolpu poškodovale. Prav tako pa bo stolp izpuščal na plan žveplov dioksid ( $\text{SO}_2$ ). Ta se veže z vodo v zraku in ustvari žveplovo kislino ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Ta bi lahko poškodovala FN module in onemogočila njihovo delovanje. Potem imamo tukaj žled, moker sneg, ki bi lahko s svojo težo poškodoval FN module ali sistem pritrjevanja. Zato smo se pozanimali o trdnosti FN modulov in preverili njihove certifikate. Gradnjo FN elektrarne, bi lahko preprečile pravne omejitve. Obstaja možnost da obstajajo prepovedi o kakršni koli izgradnji česarkoli na hladilnem stolpu. Zato smo se o tem pogovorili z Bojanom Brešarjem, bivšo vodjo projekta bloka 6. Ta nam je zaupal nekaj zanimivih podatkov o zakonodaji, ki omejuje gradnjo na hladilnem stolpu. Razložil

nam je da na stolpu ni posebnih omejitev glede gradnje na njem. Potrebovali pa bi samo gradbeno dovoljenje. Nazadnje pa smo še preverili pogoje za izgradnjo FN elektrarne in ceno, s katero odkupuje država sončno energijo. Zbrali smo podatke, ki smo jih pridobili in vse skupaj uredili v programski opremi Microsoft Office 2010. Podatke smo nato uporabili pri potrjevanju oziroma zavračanju hipotez.

## 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Hladilni stolp bloka 6 je precej problematična točka za postavitev FN elektrarne. Največji problem predstavlja senčenje, zato je ta problem zavzel del večine Raziskovalne naloge. Stolpa vsekakor ne moremo enačiti s povprečno streho, saj govorimo o vertikalnih stenah, ki so pod naklonom. Stolp ima višino 152,7 m, kar predstavlja nov problem, saj so razmere na takšni višini povsem drugačne kot na povprečni strehi. Potem je tukaj tudi sama rentabilnost elektrarne, ki je glavni dejavnik na vprašanje o postavitvi elektrarne. Upoštevati pa moramo tudi to, da blok 6 še ni v fazi delovanja in se zato iz njega ne dvigujejo izpušni plini termoelektrarne. Ti bi prav tako predstavljali problem z senco, ki bi jo metali na stolp. Na zadnje pa bi gradnjo lahko preprečila tudi zakonodaja. Na odločitve o izgradnji pa predvsem vpliva dejstvo o rentabilnosti elektrarne.

Tabela 8: Primerjava fiksne in sledilne FN elektrarne na hladilnem stolpu.

Vrsta elektrarne	Fiksna	Sledilna
Inštalirana moč (kW <sub>pp</sub> )	376,83	246,19
Letni izplen (MWh)	395,67	348,97
Število modulov	1422	929
Površina (m <sup>2</sup> )	2323,77	1518,13
Letni dobiček za nadaljnjih 10 let(€)	72 800	63 000
Investicija (€)	1 mio	750 tisoč
Čas povrnitve investicije (leta)	14 -15	12-13

### 4.1 Rentabilnost FN elektrarne

Rentabilnost nam torej pove, ali bi bila naložba v elektrarno smiselna. Vendar pa je tukaj potrebno upoštevati posebne pogoje. Ti so neobičajni za postavitev FN elektrarne. Površina stolpa je vertikalna z rahlim naklonom in odklonom. Kar pomeni, da bi za postavitev potrebovali posebno ogrodje, kar poveča investicijo. Potem je tukaj tudi delo na višini kar še dodatno poveča znesek investicije. FN moduli ne morejo biti nameščeni po celotnem stolpu, saj je ta osvetljen le z južne strani. Tako smo možnost da bi bili FN moduli nameščeni v krožnem izseku 90° s središčem v smeri azimuta 180° torej s središčem na jugu. Moduli bi bili nameščeni v petdesetih vrstah eden zraven drugega po obodu stolpa. Oblika stolpa nam je preprečila, da bi vzeli večji odsek, kajti govorimo o krožnici z vertikalno površino. Moduli bi bili tako pritrjeni na steno z daljšo stranico, z namenom da bi metali čim manjšo senco.

FN moduli položeni na steno hladilnega stolpa bi imeli slab letni izplen, ker bi večino leta bil vpadni kot direktnega sevanja večji od 30°.

Optimalen letni izplen dosežemo, če so FN moduli postavljeni pod določenim kotom glede na zemeljsko površje in usmerjeni proti jugu. Optimalen letni izplen FN generatorja dosežemo z naklonom FN generatorja približno 30°. Pri tem na izplen majhna odstopanja

naklona modulov nekaj stopinj ne vplivajo. Problem je tudi položaj modulov na krožnem odseku hladilnega stolpa. Zaradi krožne postavitve modulov se kot vpada sončnih žarkov na površino FN modulov spreminja. Zjutraj ko je vpad sevanja pravokoten na module postavljene na vzhodni strani stolpa so moduli na zahodu stolpa v senci. Zvečer se problem obratno ponovi. Zaradi tega je ključno, da so zaporedno v nize povezani moduli, ki so postavljeni v enaki smeri in nameščeni eden pod drugim, tako, da je v vsakem trenutku kot vpada sevanja na zaporedno vezane module enak.

Število vseh modulov pri takšni razporeditvi je 1422. Najmanjše število v vrsti je 26, največje pa 34. Skupaj dajejo površino 2323,77 m<sup>2</sup>. Inštalirana moč pa bi bila 376,83 kWh. To daje letni izplen 395,67 MWh. Ker država odkupuje električno energijo proizvedeno z FN tehnologijo in sicer z 0,19 € na kW inštalirane moči bi potem letni odkup znašal 72,8 tisoč evrov na leto za naslednjih 10 let, v dobiček so tudi všteti stroški vzdrževanja, ki znašajo 3% letnega dobička na leto. Po teh 10 letih pa bi električno energijo lahko prodajali po tržnih cenah, ki pa je nižja od zagotovljene, vendar pa se s časoma zvišuje, ko zagotovljena pada. Ocenjujemo da bi bil znesek investicije okoli 1 milijona evrov. Tako bi se investicija povrnila v 13 do 15 letih. Vendar pa glavni namen te FN elektrarne nebi bil dobiček, temveč dokaz o pridobivanju zelene energije tudi v Šaleški dolini. S to elektrarno bi lahko pokazali, da lahko tudi v Šaleški dolini na termoelektrarni pridobivamo elektriko s pomočjo zelene energije. In tako bi FN elektrarna predstavljala dodaten vir električne energije za Šaleško dolino.

#### **4.2 Senčenje FN modulov**

Pri postavitvi modulov na navpično površino pod naklonom 30° glede na vertikalno ti mečejo senco. In pri postavitvi modulov enega pod drugim bi se ti močno senčili. In senčenje predstavlja tukaj velik problem. Že pri majhnem prikrivanju modulov, se njihova moč drastično zniža tudi za 60%. Zato bi bilo potrebno module na vertikalni površini namestiti vsaj 2,62 m enega pod drugim. Pri steni z naklonom se ta dolžina manjša, pri odklonu pa večja. Vendar lahko naklon oziroma odklon pri kotih manjših od 2° zanemarimo. FN moduli bi se senčili tudi horizontalno. Ampak če jih postavimo eden zraven drugega, to senčenje nebi smelo biti problem. Do senčenja pride tudi po diagonalni. Sonce ni vedno na jugu in žarki ne padajo vedno pod naklonom 32°, zato bi lahko modul senčil modul, ki je sosednji modulu pod njim. Vendar pa bi do takšnega senčenja zaradi okrogle oblike stolpa bolj redko prišlo in lahko to zanemarimo. Blok 6 še ni v obdobju obratovanja, zato še ne izpušča izpuhov in pare. Para nato kondenzira in ustvari oblake. Ti bi lahko bili problem za FN elektrarno saj bi pretvarjali aktivno sončno sevanje v difuzno in s tem zmanjšali učinkovitost elektrarne, po drugi strani pa bi tudi metali senco, ki bi lahko prav tako imela vpliv na delovanje elektrarne. Vendar podatki o vetru kažejo, da bi dim odnašalo po dolini navzdol, nekaj pa tudi navzgor, torej v smereh severozahod in jugovzhod, kar pa nebi oviralo delovanja FN elektrarne.

### 4.3 Sledilna FN elektrarna in njena rentabilnost

Vsekakor ne smemo pozabiti na možnost sledilne FN elektrarne. Za ta določen primer, bi bila bolj primerna pasivna enoosna sledilna FN elektrarna. Preverili smo možnost sledilne FN elektrarne.

Pri tej možnosti sledilne FN elektrarne bi stolp pokrili v krožnem izseku  $60^\circ$ . Vendar pa bi sledilna FN elektrarna skozi cel dan sledila soncu zato bi bil izkoristek za 35% boljši kot pri fiksni elektrarni. Zato smo predpostavili, da bi bila ta sledilna FN elektrarna zato 35% bolj učinkovita. Pri njej pa bi potrebovali 67% manj FN modulov kot pri fiksni FN elektrarni. Seveda pa moramo v investicijo šteti tudi dražji sistem sledilne elektrarne, ki je tudi bolj občutljiv na zunanje dejavnike kar zvišuje stroške vzdrževanja. Tako bi celotno elektrarno sestavljalo 929 modulov, ki bi imeli inštalirano moč  $246,19 \text{ kW}_{pp}$ , ta bi prinesla letni izplen 348,97 MWh. Približna investicija pa bi znašala okoli 750 tisoč evrov. Za ta izplen bi letno dobili z upoštevanim letni vzdrževanjem, 5% letnega proračuna, 63 tisoč evrov naslednjih 10 let. S tem bi izenačili zneska investicije in dobička v 12 do 14 letih. Po pretečenih 10 letih pa bi elektriko prodajali po tržnih cenah. Glavni namen FN elektrarne pa ne bi bil dobiček, temveč dokaz o izrabi zelene in okolju prijazne energije v Šaleški dolini. S tem bi lahko uporabljali sledilno FN elektrarno kot dodaten in zelen vir električne energije za Šaleško dolino.

### 4.4 Pogoji na stolpu in ostale omejitve.

Pogoji na stolpu niso idealni za postavitve FN elektrarne, vendar pa so precej dobri. Stolp je osvetljen skozi cel dan. Posebno še proti koncu dneva, ko je že vsa Šaleška dolina v temi, je hladilni stolp na vrhu še osvetljen. Kot drugo je stavba velikih dimenzij, kar pomeni da lahko nanj namestimo veliko število FN modulov. Para, ki bo izstopala iz stolpa bo imela  $80^\circ\text{C}$ , vendar pa nebo segrevala stene. Ostale izpuhe, pa bo večinoma neslo v smereh severozahod in jugovzhod, tako da ne bodo igrali pomembne vloge v delovanju FN elektrarne. FN modul ima certifikat o zaščiti pred točo in amonijakom in točo. Problem pa bi lahko povzročala veter in žled, ki bi lahko poškodovala predvsem sledilno in tudi fiksno FN elektrarno in s tem zviševala stroške vzdrževanja.

Gradnja na stolpu iz zakonodajnega vidika ni problem, potrebovali bi le gradbeno dovoljenje, prav tako gradnja FN elektrarn. Zanje ni potrebno dobiti koncesije ali kakšnega drugega dovoljenja, problem pa bi lahko predstavljalo delo na višini in namestitve konstrukcije.

## 5 ZAKLJUČEK

V nalogi smo poizkušali ugotoviti možnost za postavitev FN elektrarne na hladilnem stolpu bloka 6. Z pridobljenimi podatki in njihovo analizo ter preračunavanjem smo potrdili ali ovrgli hipoteze, ko smo primerjali dobljene rezultate in podatke.

S pridobljenimi podatki lahko potrdimo ali ovržemo naslednje hipoteze:

1. Fiksna FN elektrarna na hladilnem stolpu bloka 6 bi bila rentabilna. ✓

Hladilni stolp bloka 6 je skozi leto dovolj osvetljen in ima zadostno površino da bi imela fiksna FN elektrarna inštalirano moč  $376,83 \text{ kW}_{pp}$ . S to močjo letno proizvedla  $395,67 \text{ MWh}$ , s čimer bi pokrili investicijo v 13 letih in pol. Elektrarna bi bila rentabilna in bi jo lahko uporabljali ne samo kot dodaten vir električne energije v Šaleški dolini, temveč tudi kot dokaz o izrabi zelene energije v Šaleški dolini. S tem lahko hipotezo potrdimo.

2. Sledilna FN elektrarna na hladilnem stolpu bloka 6 bi bila rentabilna. ✓

Z zadostno osvetljenostjo stolpa bi lahko sledilna FN elektrarna bila učinkovita ter rentabilna. Uporabljala bi enoosni sledilni sistem in z pasivnim sistemom sledilne FN elektrarne skozi ves dan sledila soncu. Elektrarna bi imela inštaliranih  $246,19 \text{ kW}_{pp}$  s pokrito površino  $1518,13 \text{ m}^2$ . Letno bi proizvedla  $348,97 \text{ MWh}$  in s tem pokrila investicijo v 12 letih. S tem bi bila rentabilna in bi jo lahko uporabljali kot dodaten vir električne energije za Šaleško dolino in pripomogli k izkoriščanju obnovljivih virov v Šaleški dolini. To hipotezo lahko potrdimo.

3. Sistem sledilne FN elektrarne na hladilnem stolpu bloka 6 bi bil bolj učinkovit kot sistem fiksne FN elektrarne. ✗

Z izračunom rentabilnosti obeh elektrarn smo ugotovili da sta si glede rentabilnosti sistema zelo blizu. Vendar pa bi bil končni dobiček pri sistemu sledilne FN elektrarne manjši zato to dokazuje da sistem sledilne FN elektrarne ne bi bil bolj učinkovit kot sistem fiksne FN elektrarne. Zato lahko to hipotezo ovržemo.

4. Hladilni stolp bloka 6 je primeren prostor za postavitev FN elektrarne z okoljskega in pravnega vidika. ✓

Z analizo podatkov o razmerah na stolpu zdaj in v času obratovanja bloka 6 ter z analizo zakonodaje smo dognali naslednje. Dognali smo da na FN elektrarno delovanje termoelektrarne ne bo delovalo. Pogoji na stolpu so primerni, ampak lahko povzročijo večje stroške vzdrževanja. Zakonodaja pa ne omejuje postavitve FN elektrarne na hladilnem stolpu. Zato lahko to hipotezo potrdimo.

## 6 POVZETEK

V Šaleški dolini izrabljamo termalno energijo s pomočjo plasti premoga in termoelektrarne Šoštanj ter s tem proizvedemo tretjino slovenske elektrike. Ta je za prihodnost izrabljanja te energije izgradila blok 6. Del tega pa je hladilni stolp, ki ga bodo uporabljali za kondenziranje pare in izpust izpuhov iz elektrarne. Z njegovo višino 153 metrov in celodnevni izpostavljenosti soncu se pojavlja vprašanje, ali bi bilo mogoče stolp izkoristiti energetsko tudi iz strani fotonapetostne energije z izgradnjo Fotonapetostne elektrarne. To smo se podali raziskati.

Pogoji in razmere na stolpu bi lahko imele posledice na delovanje fotonapetostne elektrarne. Z analizo podatkov in primerjavo le teh smo zavrgli nevarnost. Rešili smo problem senčenja modulov med sabo (moduli so zaradi boljšega izkoristka pod naklonom) in senčenja iz strani bodočih izpuhov elektrarne (ti bi lahko povzročili senco na steni hladilnega stolpa). Izračunali smo rentabilnost ter zaokrožili celotno smiselnost in učinkovitost elektrarne (primerjava investicije z dobičkom). Preverili smo možnost sledilne fotonapetostne elektrarne (s posebno tehniko tirov bi lahko fotonapetostni moduli sledili soncu tekom dneva). Prav tako pa smo se pozanimali o predpisih, ki urejajo izgradnjo fotonapetostne elektrarne. S posebno tehniko pritrjevanja (oblika stolpa in nagnjenost modulov zaradi senčenja), bi bila izgradnja mogoča.



## **7 ZAHVALA**

Zahvala tudi tokrat gre mojima staršema Jerneji in Andreju Vodušku, ki sta mi dajala moralno podporo in me spodbujala pri raziskovanju ter z menoj delila vsa nova odkritja.

Najlepše bi se zahvalil mojemu mentorju, ki mi je čez cel čas izdelave dajal prave napotke, me poučeval o FN tehnologiji, me usmerjal ter mi pomagal, da je ta naloga dokončana in smiselno uvrščena.

Zahvalil bi se tudi Zoranu Pavšku in s tem tudi inštitutu ERICo, Bojanu Brešarju in Branku Krstuloviču za koristne informacije, ki so mi pomagale sestaviti nalogo.

## 8 VIRI IN LITERATURA

1. Za svetlo prihodnost (2011) TEŠ. Pridobljeno 24.10.2012 iz <http://www.te-sostanj.si/blok6/predstavitev-projekta>
2. Fotonapetostni moduli (2010) Elektro Hosekra. Pridobljeno 24.10.2012 iz [http://www.elektro-hosekra.si/fotonapetostni\\_moduli.html](http://www.elektro-hosekra.si/fotonapetostni_moduli.html)
3. ROTOVNIK, P., ŠEGA, D., ZAHOJNIK, S. (2009) Vpliv odklona na moč fotonapetostnega modula. Velenje, šolski center Velenje
4. Bisol peakperformance (2011) Bisol. Pridobljeno 24.10.2012 iz <http://www.bisol.com/si/bisol-peakperformance>
5. Fotovoltaika, Izkoristek Sončne Elektrarne! (2009) TERSUS. Pridobljeno 28.12.2012 iz <http://www.soncna-elektrarna.net/fotovoltaika.asp?fotovoltaika=Fotovoltaika&sistemi=Izkoristek%20son%20elektrarne>
6. Izkoristek sončne elektrarne (2009) TERSUS. Pridobljeno 28.12.2012 iz <http://www.soncna-elektrarna.net/fotovoltaika.asp?fotovoltaika=Fotovoltaika&sistemi=Izkoristek%20son%20elektrarne>
7. VIHAR, M. (2011) Natural drought cooling tower with flue gas discharge. Trbovlje, Rudis, d. o. o.
8. PAVŠEK, Z., ŠTERBENK E., JERŠIČ M. (2000) Ocena rekreacijsko turističnega potenciala Šaleških jezer. Poročilo projekta. ERICO Velenje
9. RADANOVIČ, T. (2011) Primerjava sledilnih in nepremičnih sončnih elektrarn. Krško, fakulteta za energetiko
10. Izplen sončne energije na različnih delih stavbe (2013) Sončne elektrarne. Pridobljeno 20.2.2013 iz <http://www.soncneelektrarne.com/optimalni-izkoristek-soncne-energije/>
11. KIRCHENSTEINER, W. (2012) Fotonapetostni sistemi 2. Informacijski del za tečaj.
12. Sončne celice (2012) Sončne elektrarne. Pridobljeno 23.2. 2013 iz <http://www.ugodno.si/soncneelektrarne/>