

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na
bibliografske podatke, kot je navedeno:

Savenc, D., 2016. Aktivna protihrupna
zaščita in kombinacija s fotovoltaiiko.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo. (mentor Maher, T.): 50 str.

Datum arhiviranja: 14-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's
bibliographic information as follows:

Savenc, D., 2016. Aktivna protihrupna
zaščita in kombinacija s fotovoltaiiko. B.Sc.
Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana,
Faculty of civil and geodetic engineering.
(supervisor Maher, T.): 50 pp.

Archiving Date: 14-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
DIFERENCIALNI 3.L PO VŠ-
VSS**

Kandidat:

DEJAN SAVENC

**AKTIVNA PROTIHRUPNA ZAŠČITA IN
KOMBINACIJA S FOTOVOLTAIKO**

Diplomska naloga št.: 556/SOG

**ACTIVE NOISE PROTECTION AND COMBINATION
WITH PHOTOVOLTAICS**

Graduation thesis No.: 556/SOG

Mentor:

doc. dr. Tomaž Maher

Ljubljana, 08. 09. 2016

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent Dejan Savenc, vpisna številka 26104052, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »Aktivna protihrupna zaščita in kombinacija s fotovoltaiiko«

IZJAVLJAM**1. Obkrožite eno od variant a) ali b)**

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V:

Datum:

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 629.3.015.6:625.094(497.4)(043.2)
Avtor Dejan Savenc
Mentor: doc. dr. Tomaž Maher
Naslov: Aktivna protihrupna zaščita in kombinacija s fotovoltaiiko
Tip dokumenta: Diplomsko delo – visokošolski študij
Obseg in oprema: 50 str., 7 pregl., 44 sl.
Ključne besede: Protihrupna ograja, fotovoltaiika

Izvleček

Odgovoren odnos do narave bi moral biti cilj vseh držav sveta in ne samo Evropske unije. Vse večja odvisnost od fosilnih goriv nam onesnažuje okolje. S tem prihaja do globalnih podnebnih sprememb, kar ogroža obstoj planeta.

Rešitev problema je možna z učinkovito uporabo obnovljivih virov energije (OVE). To so viri iz stalnih naravnih procesov, kot je sončno sevanje, veter, vodni tok (hidroenergija), fotosinteza, s katero rastline gradijo biomaso in zemeljski toplotni tokovi (geotermalna energija), s katerimi virov energije samega vira ne izčrpamo.

Zato potrebujemo ekonomsko spodbudo, da bi se uporaba obnovljivih virov energije po svetu še bolj razširila.

Fotonapetostna energija je ena od najhitreje rastočih oblik uporabe energije. To je energija, ki prihaja od sonca v obliki sončnega sevanja. S pomočjo fotovoltaike, lahko sončno energijo uporabljamo v različne namene v urbanem okolju, v gospodinjstvu, industriji, itd. Fotonapetostne elektrarne so po Evropi zelo razširjene (Nemčija, Španija, Švica, ...). Delovanje le-teh je tiho, so vizualno nemoteče, ne potrebujemo dodatnih goriv, tako da so okolju prijazne.

Diplomska naloga obravnava aktivno protihrupno zaščito (protihrupne ograje - PHO) in fotonapetostne (FN) elektrarne. Možnosti kombinacije PHO in FN elektrarn pomeni istočasno varovanja okolja pred prekomernim cestnim hrupom in pretvorbo sončne energije v enosmerni tok električne energije. Obstoječe PHO lahko predstavljajo osnovo za postavitev FN elektrarn in jim povečajo namembnost.

BIBLIOGRAFICAL-DOCUMENTARY INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 629.3.015.6:625.094(497.4)(043.2)
Author Dejan Savenc
Supervisor: Assist. Prof. Tomaž Maher, Ph.D.
Title: Active noise protection and combination with photovoltaics
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes 50 p., 7 tab., 44 fig.
Key words: Noise barrier, photovoltaics

Abstract

A responsible attitude to nature should be the goal of all countries of the world and not just the European Union. An increasing reliance on fossil fuels has been, polluting the environment which has further led to a global climate change, threatening the very existence of the planet.

An efficient use of renewable energy resources (RES) may be a solution. These resources derived from ongoing natural processes, such as solar radiation, wind, water flow (hydropower) and photosynthesis which make plants build biomass and natural heat flow (geothermal energy), which do not totally exploit the energy source itself.

We therefore, need economic incentives to widespread the use of renewable energy resources around the world extensively.

Photovoltaic energy is one of the fastest growing forms of energy use. This is the energy that comes from the sun in the form of solar radiation. Using photovoltaics, solar energy can be used for various purposes in an urban environment, household, industry, etc. Photovoltaic power plants are widespread in Europe (Germany, Spain, Switzerland, etc.). Their operation is quiet, they are visually unobtrusive. There is no need for extra fuel, which makes them environmentally friendly.

The thesis discusses active noise protection (noise barriers) and photovoltaic (PV) power plants. Combining noise barriers and PV power plants simultaneously protects the environment from excessive road noise and converts solar energy into a direct current electricity. Existing noise barriers can form basis for installing PV power plants and increase their intended use.

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju, doc. dr. Tomažu Maherju, za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Ta stran je namenoma prazna.

KAZALO VSEBINE:

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAFICAL-DOCUMENTARY INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO	VII
1 UVOD.....	I
2 SPLOŠNO O AKTIVNI PROTIHRUPNI ZAŠČITI.....	2
2.1 Začetki (Zgodovina).....	2
2.2 Hrup ob cestah in zaščita pred njim	2
2.2.1 Izvor hrupa	3
2.2.2 Širjenje hrupa	3
2.2.3 Mejne vrednosti hrupa.....	4
2.2.4 Aktivni protihrupni ukrepi	5
3 SPLOŠNO O FOTOVOLTAIKI	9
3.1 Začetki (Zgodovina).....	9
3.2 Fotonapetostne celice (FN celice)	10
3.2.1 Osnove delovanja polprevodnikov	10
3.2.2 Delovanje fotonapetostne celice.....	10
3.3 Vrste fotonapetostnih celic.....	11
3.3.1 Silicijeve kristalne FN celice.....	11
3.3.2 Silicijeve amorfne FN celice	12
3.3.3 Hibridne FN celice (HIT).....	12
3.3.4 FN celice iz baker-indijevega selenida.....	12
3.3.5 FN celice iz kadmijevega telurida.....	13
3.3.6 Prosojne FN celice	13
3.3.7 Druge vrste FN celic	13
3.4 Fotonapetostni moduli (FN moduli).....	14
3.4.1 Električne lastnosti FN modulov	14
3.4.2 Funkcija obvodnih diod.....	16
3.4.3 Karakteristike FN modulov	18
3.5 Vrste FN modulov	20
3.5.1 FN moduli iz kristalnih celic	20
3.5.2 FN moduli iz amorfnega silicija.....	20
3.5.3 Laminiranje tankoplastnih modulov.....	21
3.5.4 FN moduli iz CdTe in CIS	21
3.5.5 Prosojni FN moduli	21

3.6	Mehanske in druge lastnosti modulov	23
3.7	Oblike modulov po naročilu	24
3.8	Lokacija namestitve	24
3.8.1	Ovrednotenje potenciala sončnega sevanja	24
3.9	Analiza lokacije	25
3.9.1	Osnovni pojmi	25
3.10	Načrtovanje nosilne konstrukcije	26
3.10.1	Lastnosti materialov za nosilno konstrukcijo	26
3.11	Obremenitve polja modulov	28
3.11.1	Lastno breme in bremena ob montaži	28
3.11.2	Snežna obtežba	29
3.11.3	Obtežba zaradi vetra	30
4	FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE V SLOVENIJI IN PO SVETU	31
4.1	Statistika fotonapetostnih elektrarn v Sloveniji	31
4.2	Fotonapetostne elektrarne v Sloveniji	32
4.2.1	Fotonapetostna elektrarna ApE	32
4.2.2	Sledilna fotonapetostna elektrarna Špeh, Ljubno ob Savinji	33
4.2.3	Fotonapetostna elektrarna Vransko	34
4.2.4	Fotonapetostna elektrarna Vrhovo	34
4.2.5	Megavatna fotonapetostne elektrarne v Strnišču	35
4.2.6	Aktivna protihrupna zaščita s sončno elektrarno na hitri cesti H4	35
4.3	Statistika fotonapetostnih elektrarn po Svetu	36
4.4	Fotonapetostne elektrarne po Svetu	38
4.4.1	Fotonapetostne elektrarne na protihrupnih ograjah po Evropi	39
5	PREDLOGI IZVEDBE FOTONAPETOSTNE (FN) ELEKTRARNE V KOMBINACIJI S PROTIHRUPNO ZAŠČITO (PHZ) V SLOVENIJI	42
5.1	Namestitev fotonapetostne elektrarne na PHZ	42
5.2	Možnost namestitve fotonapetostnih elektrarn na PHZ	42
5.3	Osnove za realizacijo fotonapetostnih elektrarn na PHZ	45
5.4	Predlog postavitve fotonapetostne elektrarne na PHO v Sloveniji	46
6	ZAKLJUČEK	48
	VIRI	49

KAZALO PREGLEDNIC:

Preglednica 1: Mejne dnevne in nočne ravni hrupa v območju naravnega in življenjskega okolja.....	4
Preglednica 2: Kategorije protihrupnih ograj po stopnji absorpcije.....	5
Preglednica 3: Značilnosti najpogostejše uporabljenih fotonapetostnih celic.	14
Preglednica 4: Temperaturni koeficienti modulov iz kristalnega silicija	19
Preglednica 5: Dušenje zvoka za različne debeline stekla	22
Preglednica 6: Potencial sončnega sevanja za Koper, Ljubljano in Maribor v Wh/m^2 dan za tipični dan v mesecu (posebej je navedena še povprečna letna vrednost, prav tako v Wh/m^2 dan)	25
Preglednica 7: Karakteristična snežna obtežba tal s_k za posamezno območje v Sloveniji (primer za regijo A2)	29

KAZALO SLIK:

Slika 1: Primer kovinske protihrupne ograje.....	6
Slika 2: Primer cementno betonske protihrupne ograje.....	7
Slika 3: Primer lesene protihrupne ograje.	7
Slika 4: Primer leso - cementne protihrupne ograje.	7
Slika 5: Primer transparentne protihrupne ograje.....	8
Slika 6: Primer kombinacije protihrupnega nasipa in protihrupne ograje.	8
Slika 7: Prva protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A13 v Švici zgrajena leta 1989.....	9
Slika 8: Delovanje fotonapetostne celice	10
Slika 9: Prosojne polikristalne celice, kot sestavni del ograje	13
Slika 10: Simbol modula (simbol se pogosto uporablja tudi za FN generator (niz modulov, polje ...) ali samo kot simbol za FN celico) in načelen prikaz vezave FN celic v modul.	15
Slika 11: Grafični prikaz kaj je »fotonapetostna celica«, kaj je »modul« in kaj je »string« oziroma polje (ang. »array«)	15
Slika 12: Načelna električna zgradba modulov z obvodno (premestitveno) diodo zgoraj in delovanjem modula ob okvari ali delnem osenčenju ene od celic, spodaj. Tok pri osenčenju teče skozi diodo D, kar je na sliki tudi označeno	17
Slika 13: Primer karakteristike I-U fotonapetostnega modula in poteka moči.....	18
Slika 14: Primer karakteristike I-U fotonapetostnega modula za različne vrednosti sončnega sevanja	18
Slika 15: Primer poteka moči fotonapetostnega modula za različne vrednosti sončnega sevanja.	19
Slika 16: Monokristalni modul in Laminat modul brez okvirja.	20
Slika 17: Izboljšan laminat steklo-steklo s toplotno-izolativnimi lastnostmi za uporabo v prosojnih strehah (visoka stopnja varnosti)	21
Slika 18: Laminat steklo-steklo z zvočno-izolativnimi lastnostmi (protihrupne ograje).....	21
Slika 19: Prosojni laminat s tankoplastnimi (amorfnimi) FN celicami	22
Slika 20: Nekateri primeri oblik modulov po naročilu.....	24
Slika 21: Različne vrste prosojnih modulov po naročilu.....	24
Slika 22: Diagram sončne poti za Ljubljano z vrisanimi ovirami za namišljeno lokacijo	26
Slika 23: Obtežba snega na tleh na nadmorski višini $A = 0m$	30
Slika 24: Sončne elektrarne po Sloveniji.....	31
Slika 25: Napoved rasti sončnih elektrarn do leta 2020	32
Slika 26: Mikro sončna elektrarna ApE d.o.o.	33
Slika 27: Mikro fotonapetostna elektrarna Špeh Ljubno ob Savinji.....	33
Slika 28: Fotonapetostna elektrarna Vransko.....	34
Slika 29: Na strehi postavljeni moduli, ki tvorijo fotonapetostno elektrarno Vrhovo.....	34
Slika 30: Del postrojenja fotonapetostnih elektrarn v Strnišču pri Kidričevem	35
Slika 31: Aktivna protihrupna zaščita s sončno elektrarno na hitri cesti H4 Razdrto - Vrtojba.....	36

Slika 32: Globalna kumulativa fotovoltaične instalirane moči do leta 2014.....	37
Slika 33: Globalna kumulativa namestitvev fotovoltaičnih naprav po regijah za leto 2014.....	37
Slika 34: Sončna elektrarna Nellis v vojaškem oporišču v ZDA	38
Slika 35: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A13 v Švici.....	39
Slika 36: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A9 na Nizozemskem.....	39
Slika 37: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A3 v Nemčiji	40
Slika 38: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC S.S. v Italiji.....	40
Slika 39: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A92 v Nemčiji	41
Slika 40: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A21 v Franciji	41
Slika 41: AC in HC obstoječe in v gradnji v Sloveniji	43
Slika 42: Primer namestitve fotonapetostne elektrarne na protihrupno ograjo	44
Slika 43: Primer »cik – cak« kombinacije protihrupne ograje s fotonapetostno elektrarno.....	44
Slika 44: Primer dvostranske fotonapetostne elektrarne kot protihrupna ograja	45

KAZALO PRILOG:**PRILOGA A: SONČNO OBSEVANJE**

PRILOGA A1: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA SPOMLADI (1971 – 2000)

PRILOGA A2: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POLETI (1971 – 2000)

PRILOGA A3: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA JESENI (1971 – 2000)

PRILOGA A4: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POZIMI (1971 – 2000)

KRATICE

OVE	obnovljivi viri energije
PVO	presoje vpliva na okolje
PHO	protihrupna ograja
PHN	protihrupni nasip
FV	fotovoltaiika
FN	fotonapetostna
MMP	točka največje moči
Wp	merska enota »Watt Peak« (solarni moduli so tako ocenjeni – fotovoltaični obrati – vršna moč) Ta vrednost določa izhodno moč z solarnega modula , dosežen v okviru polnega sončnega sevanja (pod nastavljenih standardnih preskusnih pogojih)
AC	avtocesta
HC	hitra cesta

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Cilj Evropske unije, ki naj bi bila okoljsko najbolj ozaveščena, naj bi bil zmanjševati emisije CO₂, da bi se planet ohranil in se približal stanju kot je nekoč bil. Odgovoren odnos do narave bi moral biti cilj vseh držav sveta in ne samo Evropske unije. Vse večja odvisnost od fosilnih goriv kot so premog, nafta in zemeljski plin nam onesnažuje okolje z ogljikovim dioksidom, ogljikovim monoksidom, dušikovimi in žveplovimi oksidi ter prašnimi delci. S tem prihaja do globalnih podnebnih sprememb, kar ogroža obstoj planeta.

Rešitev problema je možna z učinkovito uporabo obnovljivih virov energije (OVE). Med OVE se štejejo viri iz stalnih naravnih procesov, kot je sončno sevanje, veter, vodni tok v rekah ali potokih (hidroenergija), fotosinteza, s katero rastline gradijo biomaso in zemeljski toplotni tokovi (geotermalna energija). Z uporabo obnovljivih virov energije samega vira ne izčrpamo. Z uporabo fosilnih goriv pa vire izčrpavamo, ki so se shranjevali tisoče in tisoče let, sicer so obnovljivi a po zelo dolgem času.

Zato potrebujemo ekonomsko spodbudo pri uporabi obnovljivih virov energije (OVE). Po svetu se izvajajo različni sistemi spodbujanja, v Sloveniji pa je izvedeno na osnovi energetskega zakona in z uredbami.

Fotonapetostna energija je ena od najhitreje rastočih oblik uporabe energije. To je energija, ki prihaja od sonca v obliki sončnega sevanja. S pomočjo fotovoltaike (FV, angleško PV – Photovoltaics; je ime metode za pretvorbo sončne energije v enosmerni tok električne energije z uporabo polprevodnih materialov, ki postanejo električno prevodni, ko jih obsije sonce) in ostalih sestavnih elementov, lahko sončno energijo uporabljamo za različne potrebe v urbanem okolju, v gospodinjstvu, industriji, itd. Fotonapetostne elektrarne so po Evropi zelo razširjene (Nemčija, Španija, Švica, ...). Delovanje le-teh je tiho, so vizualno nemoteče, ne potrebujemo dodatnih goriv, tako da so okolju prijazne.

Diplomska naloga obravnava aktivno protihrupno zaščito (protihrupne ograje - PHO) in fotonapetostne (FN) elektrarne. Možnosti kombinacije PHO in FN elektrarne pomeni istočasno varovanja okolja pred prekomernim cestnim hrupom in pretvorbo sončne energije v enosmerni tok električne energije. Obstoječe PHO lahko predstavljajo osnovo za postavitev FN elektrarn in jim povečajo namembnost oziroma si lahko medsebojno zmanjšajo stroške gradnje v primeru novogradnje PHO kombinirane s FN elektrarno.

2 SPLOŠNO O AKTIVNI PROTIHRUPNI ZAŠČITI

2.1 Začetki (Zgodovina)

Začetki protihrupne zaščite segajo v sredino 20. stoletja v ZDA, ko se je začela gradnja avtocest in s tem povezane težave s hrupom. Zakon, ki predpisuje zmanjšanje vplivov onesnaženja okolja s hrupom, je bil v Nemčiji sprejet že leta 1972. Sredi osemdesetih let v Sloveniji še ni bilo tolikšne prometne obremenitve in s tem hrupne obremenitve, da bi bila potrebna gradnja protihrupne zaščite. Vseeno pa smo v tistih letih sprejeli zakonodajo, ki predpisuje zaščito pred prekomernim onesnaževanjem okolja s hrupom. Prva aktivna protihrupna zaščita (lesena absorpcijska protihrupna ograja) je bila izvedena leta 1988 ob južni ljubljanski obvoznici [1].

V poznih 1960-ih, se je z analitično akustično tehnologijo pojavila matematična ocena učinkovitosti modela protihrupnih ograj, ki mejijo na določenem cestišču [2].

Najboljši zgodnji modeli računalnikov obravnavajo geometrije ceste, topografijo, količino vozil, hitrosti vozil, mešani promet, tipe cestne podlage in mikro - meteorologijo. Več Ameriških raziskovalnih skupin je razvilo različice tehnike računalniškega modeliranja. Verjetno ena prvih objavljenih del, ki je znanstveno oblikovala posebno protihrupno ograjo je bila študija na vznožju Expressway v Los Altos v Kaliforniji [2].

Številne študije so bile po vsej ZDA kmalu izdelane za različne obstoječe in načrtovane ceste. Večina jih je bila po naročilu državnih cestnih oddelkov. S prihodom Zakona o nadzoru nad hrupom, iz leta 1972, je potreba po oblikovanju protihrupnih ograj narasla s številnimi uredbami.

V poznih je 1970-ih, več kot ducat raziskovalnih skupin v ZDA uporabljalo podobne računalniško tehnologijo modeliranja in reševanja vsaj 200 različnih lokacij za postavitev protihrupnih ograj vsako leto. Od leta 2006, ta tehnologija velja za standard pri ocenjevanju obremenitve s hrupom iz avtoceste. Narava in točnost računalniških modelov, ki se uporabljajo, je skoraj identična prvotnim različicam tehnologije iz 1970-ih [2].

Protihrupne ograje, ki so vključevale uporabo prosojnih materialov pa so bile oblikovane na Danskem in v drugih zahodnoevropskih državah v 1990-ih [2].

Okoljevarstveniki se običajno ne strinjajo z gradnjo in širitvijo avtocest in opozarjajo na vedno večje obremenitve s prometnim hrupom na okolje. Posledično je gradnja aktivne in pasivne protihrupne zaščite po Evropi intenzivna.

2.2 Hrup ob cestah in zaščita pred njim

Človekovo okolje je vse bolj obremenjeno z emisijami, ki so posledica prometa. Tako emisije prometnega hrupa in izpušnih plinov vedno bolj ogrožajo bivalno in naravno okolje. Zavedamo se, da se je tem emisijam praktično nemogoče izogniti. Z ustrezno izrabo površin ob prometnicah oziroma s smotrnim načrtovanjem prometnic prek že urbaniziranih ali kako drugače urejenih površin pa je mogoče zmanjšati negativne vplive na okolje na minimum. Vrednotenje hrupne obremenjenosti okolja je del presoje vpliva na okolje (PVO). Za zahtevnejše objekte je PVO predpisana tako pa naši kot po tuji zakonodaji (Evropska smernica 85/337/EEC, novejša Direktiva 2011/82/EU) [3].

Zvok, ki zaradi svoje oblike, časa trajanja in višine postane moteč oziroma nezaželen, pravimo hrup. Človeško uho zaznava pri istem nivoju hrupa nizke frekvence drugače od visokih; visoke frekvence so pri istem nivoju bolj moteče [3].

Pri uporabi različnih naprav za merjenje nivojev hrupa v okolju mora biti njihovo zaznavanje čim bolj podobno zaznavanju človeškega ušesa. Izmed različnih krivulj (A, B in C), ki opisujejo zaznavanje

človeškega ušesa pri različnih frekvencah, vendar pri istem nivoju, se je v mednarodnem prostoru uveljavila krivulja A, zato podajamo vse nivoje hrupa v decibelih »A«, dB(A). Ločimo emisije in imisije prometnega hrupa. Pri emisiji govorimo o nivojih hrupa na izvoru, pri imisijah pa o nivojih hrupa v prostoru, ki jih zazna poslušalec ali sprejemnik [3].

Cestni motorni promet je izvor šumov, pri katerih se neprestano menjata višina nivoja (jakost) in frekvenca hrupa [3].

2.2.1 Izvor hrupa

Promet je eden večjih izvorov hrupa. Glede na vrsto prometnega sredstva, ki je generator hrupa, ločimo:

- cestni promet
- železniški promet
- zračni promet
- vodni (ladijski) promet

Omejili se bomo le na cestni promet. Poleg prometa je velik izvor hrupa tudi industrija, vendar ne smemo zanemariti tudi nekaterih drugih izvorov, ki so v posameznih okoljih lahko prav tako moteči: rekreacijski objekti, športni objekti, objekti namenjeni zabavam, ...[3].

Viri hrupa pri motornem prometu so različni. Glede na izvor, s čimer je pogojena tudi višina izvora glede na vozišče, ločimo [3]:

a/ hrup pogonskega sistema

- motor
- izpušni sistem (pri tovornih vozilih je lahko precej visok)
- hladilni sistem

b/ hrup kotaljenja

- hrup na stiku pnevmatike in vozišča (nanj bistveno vplivajo karakteristike vozne površine)
- šum zaradi zračnega upora
- različno ropotanje zaradi nevarnosti vozišča in tipa vozila (predvsem pri tovornih vozilih težko določljiv)

2.2.2 Širjenje hrupa

Širjenje hrupa je pomemben element pri določanju območja, prizadetega s prometnim hrupom. Na širjenje hrupa v večji ali manjši meri vplivajo naslednji prometni in drugi parametri [3]:

- struktura prometa
- prometne obremenitve (vplivajo na osnovni nivo hrupa)
- hitrost vozil
- niveleta
- površina vozišča
- pogoji vožnje
- absorpcijski faktor okolice

Niveleta ceste posredno vpliva na nivoje prometnega hrupa. Pri vožnji v klanec povzročajo vozila pri isti hitrosti vožnje višje nivoje hrupa kot na ravnini. Pri manjših vzponih nivelete se to povečanje izniči glede na prometni tok v nasprotni smeri (po klancu navzdol). Pri večjih vzponih pa se nivoji povečajo v celoti [3].

Vozna površina lahko bistveno vpliva na nivo emisij in imisij prometnega hrupa. Grobe asfaltne površine, neravne predvsem pa tlakovane vozne površine imajo znatno višje emisije kot pa gladke asfaltne in betonske voziščne konstrukcije. Hrupno najugodnejši so t.i. drenažni asfalti, s katerimi lahko emisije na izvoru (vendar samo zaradi pnevmatik) znižamo tudi do 10db(A). To znižanje imisijskih nivojev je enakovredno uporabi aktivne zaščite. Uporabnost teh asfaltov je odvisna od meteoroloških pogojev (zmrzal) [3].

2.2.3 Mejne vrednosti hrupa

Področje prometnega hrupa ureja različna zakonodaja. Poznana pozitivna zakonodaja je naslednja [4]:

- Zakon o varstvu okolja (Uradni list RS, 41/04, 17/2006, 20/2006, 28/2006 in 39/2006)
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 34/2008,)
- Uredba o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa
- Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 105/2005)
- Pravilnik o meritvah in obratovalnem monitoringu hrupa za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 70/96, 45/02)
- Zakon o varstvu pred požarom (Ur. list R Slovenije, št. 71/93, 87/2001)

Uredba določa mejne vrednosti ravni hrupa v naravnem in življenjskem okolju in način določanja ter vrednotenja ravni hrupa. Predvideva pa tudi ukrepe za zmanjševanje in preprečevanje čezmerne hrupa [4].

Obremenitev območja s hrupom zaradi cestnega ali železniškega prometa se ugotavlja z izračunom dnevne ravni hrupa za časovno obdobje dneva od 6 do 22 ure in nočne ravni hrupa za časovno obdobje dneva od 22 do 6 ure [4].

Preglednica 1: Mejne dnevne in nočne ravni hrupa v območju naravnega in življenjskega okolja. Povzeto po [4].

Območje naravnega ali življenjskega okolja	Mjerne ravni za vir hrupa (dBA)	
	Nočna raven L_n	Dnevna raven L_d
IV. območje (namenjen industrijski ali obrtni ali drugi podobni proizvodnji)	59	69
III. območje (trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje (bivanje in obrtna dejavnost))	54	64
II. območje (stanovanjsko območje, izobraževalni programi,...)	49	59
I. območje (namenjeno turizmu in rekreaciji)	44	54

2.2.4 Aktivni protihrupni ukrepi

Najbolj primeren in pogost ukrep za aktivno znižanje imisij prometnega hrupa je postavitve ovire med izvorom hrupa (prometnico) in imisijskim mestom. V ta namen se v glavne uporablja protihrupni nasip (PHN), protihrupna ograja (PHO) ali pa kombinacija obeh, manj pa galerije ali pokriti vkopi [3].

Protihrupni nasipi

Prednosti protihrupnih nasipov so v lahki konstruktivni izvedbi, majhnih stroških, še posebej pri morebitnih odvečnih masah materiala, veliki možnosti prilagoditve terenu in možnosti ozelenitve. Pomanjkljivosti nasipov pa so, da porabijo veliko površine, za dosego istih učinkov kot s protihrupno ograjo morajo biti višji (položne brežine) [3]. Zaradi zadnje navedene pomanjkljivosti brežine nasipov lahko dodatno ojačimo in s tem izboljšamo geometrijo in protihrupno zaščito. Nasip na protihrupni strani ojačimo s popleti oziroma s posebno armaturo (armirani PHN). Naravni nasipi omogočajo poraščenost z naravno vegetacijo. Ojačene nasipe s strmimi nagibi brežin je potrebno ozeleniti [4].

Protihrupne ograje

Protihrupne ograje delimo na tiste, ki zvok absorbirajo (absorpcijske) in tiste, ki zvok odbijajo (reflektivne). Za določitev teh dveh tipov ograj je uveden faktor ΔL_a , ki pove, za koliko dB(A) se zniža nivo pri odbitem hrupu v primerjavi z nivojem hrupa emisije.

Vse protihrupne ograje je treba preskusiti glede na absorpcijo. Po akustičnih lastnostih razvrščamo ograje v kategorije od A0 do A4 [4].

Preglednica 2: Kategorije protihrupnih ograj po stopnji absorpcije [4].

Kategorija	L_A dB(A)	Tip ograje
A0	nepreizkušena	
A1	$\Delta L_{A,a, \text{str}} < 4$	odbijajoča
A2	$4 < \Delta L_{A,a, \text{str}} < 8$	absorbirajoča
A3	$8 < \Delta L_{A,a, \text{str}} < 11$	zelo absorbirajoča
A4	$\Delta L_{A,a, \text{str}} > 11$	super absorbirajoča

Protihrupne ograje so lahko izdelane iz različnih materialov. Poznamo kovinske, cementno betonske, lesene, lesno - cementne, iz umetnih vlaken, kombinirane, idr [4].

Postavitev določene vrste protihrupnih ograj je odvisna od objekta, ki ga ščitimo, od izvora hrupa in od tehničnih omejitev pri izvedbi. Upoštevati je treba prisotnost bočnega vetra (jugo, burja).

Kombinacija pri visokih zaščitah je običajno nasip in protihrupna ograja. Poleg akustičnih, tehničnih in estetskih dejavnikov, pa je pomembna tudi obstojnost vgrajenih materialov, kakor tudi enostavno vzdrževanje [4].

Pri izdelavi protihrupnih ograj je potrebno upoštevati mehanske lastnosti panelov in stabilnost le teh. Znano je, da na PHO z različno močjo deluje veter (odvisno od vetrnih con) in dinamični zračni pritiski, ki jih povzroča promet. Na stabilnost pa poleg že omenjenega vpliva tudi teža posameznih panelov oziroma celotne PHO (lastna masa). Upoštevati je potrebno udarce kamenja, delov, ki odpadejo od vozil in udarce snega ob pluzenju. V primeru, da nastanejo kakršnekoli deformacije konstrukcije, ta ne sme izgubiti svoje osnovne funkcije in ne sme ogroziti udeležencev v prometu in okolju [4].

Upoštevati je potrebno naslednje publikacije, predpise in standarde:

- “Popis del in posebni tehnični pogoji”, SCS, Ljubljana 1989 in dodatki, ter dopolnila, ki spadajo zraven
- “Protihrupne ograje ob avtocestah” (DDC, sept. 1997); in nove “Smernice za načrtovanje, graditev in ohranitev konstrukcij za zaščito pred hrupom cestnega prometa (ZPH)” (DARS d.d. Celje, l. 2003)
- nemški standardi ZTV-Lsw 88 (Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinie für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen)
- vse veljavne slovenske nacionalne standarde (SIST) za uporabo pri projektiranju in postopkih pri prevzemanju gradbenih proizvodov pri gradnji javnih cest v RS za konstrukcije protihrupnih ukrepov
- upoštevati je potrebno tudi EN 1793-1,2,3 in ISO 354, ISO 10847 oz. Pr.EN 1793-5, EN 1794-1 in 2 in ISO 2813, EN 2155 in EN 410, pri testiranju panelov je potrebno upoštevati tudi standarda SIST-EN 1794-1 in SIST-EN 1794-2

Izvajalec mora vgraditi protihrupn ograjo, ki ima potrdilo od institucije, pooblašene za izvajanje zunanje kontrole kvalitete za potrjevanje skladnosti, o primernosti panela za vgradnjo v PHO ob avtocestah, hitrih cestah in ostalih cestah.

Primeri protihrupnih ograj izvedenih z različnimi materiali

1. Kovinske absorpcijske protihrupne ograje

So pogosto umeščene v Sloveniji. Pločevina (aluminija, jekla ali pocinkane železne pločevine), ki je na strani hrupa je iz perforirane pločevine, zadnja stran pa iz neperforirane pločevine. Med pločevini se običajno vstavi mineralna volna ali drugi ustrezni materiali (absorpcijski material). Materiali morajo biti korozijsko obstojni (vroče cinkanje). Prednosti so: enostavna vgradnja med stebičke, dolga življenjska doba in požarna varnost. Slabost je, da so kljub zaščiti podvržene koroziji, zaradi kovinskega izgleda pa se težje “zlijejo” z okoljem. [1].



Slika 1: Primer kovinske protihrupne ograje [5].

2. Betonske absorpcijske protihrupne ograje

So zelo razširjene v Sloveniji. Material, ki se ga uporablja je lahko odbijajoč ali absorpcijski. Z uporabo pigmenta, ki se ga dodaja betonu so lahko različno obarvane, možno pa je tudi različno oblikovanje (uporaba različnih opažev, vlaganja matric,...). Kot samostojni elementi se vstavljajo med stebre (kovinske ali betonske), lahko pa tvorijo samostojno konstrukcijo. Prednost je, da so obstojne in se enostavno vklopijo v okolje [1].



Slika 2: Primer cementno betonske protihrupne ograje [6].

3. Lesene absorpcijske protihrupne ograje

Les mora biti kakovosten (zračno sušen les iglavcev) in dvojno globinsko zaščiten pred zunanjimi vplivi. Najpogosteje uporabljeni so leseni absorpcijski paneli, ki se vstavljaajo med kovinske stebričke. Vstavljeni paneli lahko prekrivajo nosilno konstrukcijo ali pa je le-ta vidna. Kot prvi element se vstavi armirano betonski element. Kot absorpcijski material se med sprednjo in zadnjo stranjo panela vstavi mineralna volna. Na sprednji strani so leseni deli pritrjeni na morale z razmikom (učinek absorpcije), zadnja stran pa je zaprta. Prednost je naravni videz, ki se vklaplja v okolje, pomanjkljivost pa večji stroški vzdrževanja in slaba protipožarna zaščita [1].



Slika 3: Primer lesene protihrupne ograje [7].

4. Leso-cementne absorpcijske protihrupne ograje

Leso-cementne plošče so izdelane iz lesnega drobirja, cementa (vezivo) in vodnega stekla. Zmes se stiska pod visokim pritiskom. Nastale plošče se obrežejo na izbrane dimenzije in natančno preveri. Plošče so odporne na delovanje vode, mraza in soli, so obstojne proti trohnenju in imajo potrebno mehansko trdnost.



Slika 4: Primer leso-cementne protihrupne ograje (osebni arhiv).

5. Transparentne (odbijajo hrup)

Vgrajujejo se tam, kjer z njihovo prosojnostjo potnikom v vozilih in voznikom omogočimo pogled na vedute in dajejo občutek odprtega prostora. Transparentni elementi (iz akrilnih plošč, poli karbonatnih plošč, litih pleksi plošč, itd) so vstavljeni v kovinske okvirje in potem med nosilne stebričke. Umeščajo se na daljših objektih, viaduktih, v kombinaciji z nasipi ali v kombinaciji z visokimi absorpcijskimi ograjami (za optično znižanje višine). Za preprečevanje naletov ptic se na določene

intervale nalepijo nalepke motiva ptice ujede. Pomanjkljivost prosojnih ograj je lom in odboj svetlobe, umazanija elementov s katero izgubijo svoj namen, ... [1].



Slika 5: Primer transparentne protihrupne ograje [8].

6. Kombinirane absorpcijske protihrupne ograje

Ko z zemeljskimi protihrupnimi nasipi ne moremo doseči potrebne višine, lahko le to dosežemo s kombinacijo protihrupnega nasipa in protihrupno ograjo. Prostorske stiske se lahko rešijo z izvedbo armiranih nasipov, izvedbo strmejših nagibov brežin z različnimi betonskimi oblogami in kombinacijo z zasaditvijo. Take kombinacije se lepše vklopijo z okoljem, potrebna pa so pogostejša vzdrževalna dela [1].



Slika 6: Primer kombinacije protihrupnega nasipa in protihrupne ograje [9].

3 SPLOŠNO O FOTOVOLTAIKI

3.1 Začetki (Zgodovina)

Willoughby Smith eden od pionirjev polaganja podmorskih telegrafskih kablov in Josiah Latimer Clark sta sodelovala pri različnih projektih. Smith, ki je fotonapetostni pojav pri selenu odkril po naključju, je med drugim sodeloval pri polaganju kabla Dover – Calais, pri polaganju kablov v Sredozemlju in pri povezavi Anglije in Nove Funlandije. Čeprav je bil fotonapetostni pojav sicer odkrit dobra tri desetletja pred tem, je prav odkritje seleno pomenilo razmah raziskav na tem področju.

Fotovoltaika proučuje proces pri katerem se sončno sevanje pretvarja v električno energijo s pomočjo sončnih celic. Fotonapetostni pojav pri katerem se energija svetlobe (fotonov) pretvarja v električno energijo, je leta 1839 odkril devetnajstletni francoski eksperimentalni fizik Alexandre Edmond Bequerel (1821 – 1891). Odkril je, da dve kovinski ploščici potopljeni v razredčeno kislino, proizvajata več elektrike, če sta izpostavljeni svetlobi. V njegovem času oskrba z elektriko ni bila tako razširjena, zato je odkritje ostalo več let pozabljeno. Willoughby Smith se je kot inženir ukvarjal z raziskavo materialov za izdelavo podvodnih kablov. Z uporabo različnih filtrov je leta 1873 ugotovil, da je prevodnost seleno odvisna od količine svetlobe, ki ji je material izpostavljen.

Leta 1876 je William G. Adams skupaj s svojim študentom odkril, da podoben pojav izkazuje tudi osvetljen spoj seleno in platine. To odkritje je pomenilo osnovo za izdelavo (leta 1877) prve selenske fotonapetostne celice. Albert Einstein je prejel Nobelovo nagrado, ko je leta 1904 objavil ugotovitve o fotonapetostnem pojavu. Med letoma 1940 in 1950 je bil monokristalni silicij osnova za komercializacijo fotonapetostnih celic. Sredi sedemdesetih let so se začele resnejše raziskave za širšo uporabo fotonapetostnih celic. V osemdesetih letih pa se je proizvodnja in uporaba fotonapetostnih celic močno povečala. Po naročilu podjetja Ford, Bacon&Davis je podjetje Wasatch Electric leta 1980 zgradilo 105kW elektrarno v ameriški zvezni državi Utah, ki še vedno deluje [10].



Slika 7: Prva protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A13 v Švici zgrajena leta 1989 [10].

3.2 Fotonapetostne celice (FN celice)

3.2.1 Osnove delovanja polprevodnikov

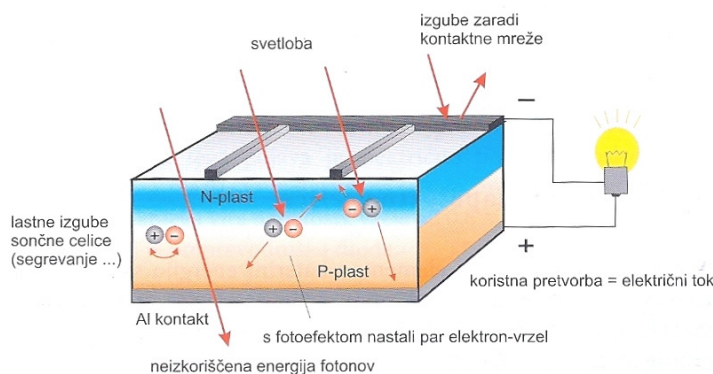
Osnove delovanja fotonapetostnih celic je predstavljen na modelu silicijeve kristalne mreže, način delovanja pa velja tudi za druge polprevodniške materiale. Če čistemu siliciju dodamo elemente, ki imajo na zunanji ovojnici en elektron več oziroma manj kot silicij, lahko dosežemo potrebne lastnosti polprevodniških elementov ali lastnosti za fotonapetostne celice. Za polprevodnik tipa P ali N, moramo kot primesi dodajati bor ali fosfor. Ko staknemo polprevodnika tipa P in N nastane PN-spoj [10]. Ko sta prevodnika tipa P in N na meji, presežek elektronov iz N-tipa polprevodnika steče v P-tip polprevodnika. Obratno pa teče presežek vrzeli. Rezultat pojava je električno polje in posledično napetost približno 0,6V (zaporna plast), ki zaustavi nadaljnje prehajanje elektronov oziroma vrzeli. Tok skozi PN-spoj (polprevodniška dioda) teče le v eni smeri, ko je pod vplivom zunanjega vira napetosti, večjega od 0,6V [10].

3.2.2 Delovanje fotonapetostne celice

Osnovni element, s katerim energijo svetlobe pretvarjamo v električno energijo je fotonapetostna celica. Za izdelavo fotonapetostnih celic se najpogosteje uporablja silicij. Fotonapetostne celice so v osnovi polprevodniške diode z veliko površino (N-plast).

Za pravilno delovanje fotonapetostne celice mora biti zgornja plast celice tanka ($< 1\mu\text{m}$). Površina izpostavljena svetlobi naj bo čim večja in prekrita z antirefleksno plastjo, da se svetloba od površine ne odbija, kar zmanjšuje izkoristek FN celice.

Pari elektron–vrzel¹ nastajajo, ko svetloba z dovolj energije v zaporni plasti izbije elektrone (e). V zaporni plasti se potem pod vplivom električnega polja elektroni pomikajo v polprevodnik N-tipa. Iz zaporne plasti pa potujejo vrzeli v nasprotno smer in se na zadnji strani celice nabirajo v območju P-tipa. V N-tipu se pojavlja presežek negativnega naboja (elektroni), ko se iz zaporne plasti sprošča vedno več elektronov in vrzeli medtem, ko se v P-tipu pojavlja presežek pozitivnega naboja (vrzeli). Tako pride do električne napetosti med priključnima sponkama fotonapetostne celice. Električni tok kratkega stika nastane, ko na kratko sklenemo priključni sponki na sprednji in zadnji strani. Proces izbijanja elektronov se nadaljuje, če je FN celica še vedno izpostavljena svetlobi. Generirani električni tok pa je sorazmeren jakosti sončnega sevanja, ki vpada na FN celico² [10].



Slika 8: Delovanje fotonapetostne celice [10].

1. Pojav imenujemo fotoefekt.
2. Fotonapetostna celica je skoraj idealen tokovni vir

3.3 Vrste fotonapetostnih celic

3.3.1 Silicijeve kristalne (FN celice)

Kristalne FN celice iz silicijevih rezin

Monokristalne³ in polikristalne fotonapetostne celice⁴ sodijo v skupino kristalnih celic.

Monokristalni moduli so zgrajeni iz monokristalnih celic, ki imajo največkrat obliko rezin z debelino nekaj desetink mm, rezanih iz silicijevega ingota⁵ s premerom 10 do 15cm. Od polikristalnih celic se razlikujejo, ker imajo urejeno strukturo površine in so rezani iz okroglega monokristalnega ingota, zato imajo praviloma prisekane robove.

Med seboj se tudi razlikujejo po barvi, monokristalne so črne ali temno sive, polikristalne pa modre.

Po naročilu je mogoča tudi izdelava celic različnih oblik. Moduli iz polikristalnih celic so zaradi enostavnejše proizvodnje nekoliko cenejši od modulov iz monokristalnih celic

Posebne izvedbe kristalnih fotonapetostnih celic z večjim izkoristkom so celice s kontakti na zadnji strani. Tako je koristna površina fotonapetostnih celic večja, prehod svetlobe pa ni oviran, ker na prednji strani ni kontaktne mreže. Takšne celice dosegajo izkoristke do 22%. Izvedba celic s kontakti na zadnji strani je možna tako iz mono- kot tudi iz polikristalnih celic.

Posebna izvedba kristalnih fotonapetostnih celic so fotonapetostne celice z lasersko vgraviranimi kontakti. Kontaktna mreža je zaradi natančnega postopka izdelave zelo tanka, zaradi česar je tudi v tem primeru izkoristek boljši. Druga posebna izvedba z dokaj visokim izkoristkom so hibridne fotonapetostne celice HIT⁶, kjer je na kristalni silicij na sprednji in na zadnji strani neparjena tanka plast amorfnega silicija [10].

EFG – FN celice

So polikristalne celice z zelo urejeno strukturo in jih večkrat uvrščamo k monokristalnim celicam.

EFG-metode je njihova prednost, kajti med proizvodnjo kristalnih fotonapetostnih celic iz rezin pride do majhne količine odpadka, površina pa se ne poškoduje [10].

Dvostranske kristalne FN celice

Pri dvostranskih fotonapetostnih celicah poteka fotonapetostna pretvorba na obeh straneh celice.

Takšne celice imajo kontakte po navadi izvedene na zadnji strani, izkoristek prednje strani pa je zelo visok, večji od 20%. Razmerje izkoristkov prednja : zadnja stran je približno 1:2.

Uporabljajo se lahko pri protihrupnih ograjah ob prometnicah. Take fotonapetostne celice se lahko postavijo tudi ob prometnicah, ki potekajo v smeri S – J in ne nujno v smeri V – Z, izkoristek pa je zaradi dvostranskih celic še vedno zadovoljiv [10].

Tankoplastne kristalne FN celice

Majhna debelina jim omogoča, da se nanesejo na tanek substrat. Dobre lastnosti (visok izkoristek, dolga življenska doba, ...) obdrži tudi pri nanašanju na upogljive substrate. Celice se proizvajajo v obliki trakov [10].

3. Fotonapetostne celice imajo urejeno kristalno strukturo

4. Fotonapetostne celice imajo deloma urejeno kristalno strukturo

5. Ingot je blok kristalnega silicija, ki ga pridobivamo z različnimi proizvodnimi postopki.

6. Hetero junction with intrinsic thin-layer.

Polikristalne FN celice v obliki traku

Proizvajajo se z vlečenjem dveh vročih ogljikovih ali kremenčevih paličic skozi talino silicija. Potem se trak reže v pravokotne celice z merami 8x15 cm. Celice imajo podobno strukturo kot EFG – celice, debeline 0,3mm, izkoristek pa je okrog 12% [10].

Mikrokristalne FN celice

So stabilnejše od amorfne celice in ne pride do upadanja izkoristka v začetkih delovanja celice. Primerne so za izdelavo kaskadnih⁷ celic. Izkoristek celice je okoli 10%. Celice so kombinacija mikrokristalne in amorfne plasti na steklenem substratu. Skupna debelina je 2 μ m (brez debeline stekla) [10].

Krogelne kristalne FN celice

So fleksibilne in robustni moduli, ki imajo obliko kroglic vtisnjenih v sendvič strukturo, z dobrim izkoristkom (približno 10%). Proizvodnja ne zahteva posebnih postopkov. Gre za novo tehnologijo, ki še ni razširjena [10].

3.3.2 Silicijeve amorfne FN celice

Enospojne silicijeve amorfne FN celice

Od kristalnih fotonapetostnih celic se razlikujejo, da imajo neurejeno strukturo. Po posebnem postopku se v visokofrekvenčnih pečeh v delnem vakuumu pridobiva amorfni silicij. Slabost je slabši izkoristek celic (med 6 in 8%) in hitro staranje celic [10].

Večspojne amorfne FN celice

Mednje uvrščamo tandemske fotonapetostne celice z dvema spojem in trispojne fotonapetostne celice. Izdelujejo se na kovinskem substratu [10].

Trispojne kaskadne celice iz več plasti amorfne silicija se uporabljajo najpogosteje, redkeje pa so v uporabi druge vrste večspojnih celic (tandemska celica). Učinkovitost trispojnih amorfne silicijeve fotonapetostnih celic je približno 9%, kar je še vedno precej manj od izkoristka kristalnih celic [10].

3.3.3 Hibridne FN celice (HIT)

Amorfni in kristalni silicij tvori zgradbo hibridnih FN celic. Osnova je kristalna rezina, na katero se nanaša plast amorfne silicija iz obeh strani. S posebnimi proizvodnimi postopki prihranimo material in energijo. Z naraščanjem temperature se temperaturni koeficient moči počasneje spreminja, kar je ugodneje kot pri kristalnih celicah [10].

3.3.4 FN celice iz baker-indijevega selenida

So edine tankoplastne celice, ki imajo CIS (CuInSe_2) in CIGS (CuInGaSe_2). Posebna izvedba tovrstnih fotonapetostnih celic so cilindrične celice, izdelane na steklenem valju (cevi), vstavljenem v dodatno zunanjo cev⁸, ki služi kot zaščita pred vplivi okolice. Takšne celice imajo dokaj visok izkoristek, saj fotonapetostna pretvorba poteka tako pri vpadu direktnega kot tudi difuznega in odbitega sončnega sevanja. Nadaljnja proizvodnja tovrstnih celic je zaradi stečaja edinega podjetja, ki jih je proizvajalo vprašljivo [10].

7. Tudi tandemska celica = dve ali več fotonapetostnih celic druga na drugo.

8. Med cevema se nahaja plast polnila na osnovi silikonov, ki dodatno ščiti celico, obenem pa preprečuje optične izgube pri prehodu svetlobe.

3.3.5 FN celice iz kadmijevega telurida

Proizvodni postopek za izdelavo poteka z nanašanjem plasti na stekleni substrat. Izkoristek celic iz kadmijevega telurida (CdTe) je do 10%. Med delovanjem modulov ne prihaja do težav, niti v primeru požara ni težav (do taljenja pride šele nad 1000°C) in neposredno ne obremenjujejo okolja. Slabost teh celic pa je okoljske narave, kajti odslužene module je potrebno skrbno reciklirati [10].

3.3.6 Prosojne FN celice

Prosojne kristalne FN celice

To so v osnovi navadne kristalne celice, ki jim potem z laserjem vrežejo utor. Tako celice postanejo delno prosojne za svetlobo. V posebnih primerih lahko v celico vrezujemo geometrijske oblike. Izdelujejo enostranske in dvostranske prosojne celice s prosojnostjo med 0 in 30% [10].



Slika 9: Prosojne polikristalne celice, kot sestavni del ograje [10].

Prosojne amorfne FN celice

Tankoplastne fotonapetostne celice so posebna izvedba prosojnih FN celic. Z mikroperforiranjem⁹ se doseže delno prosojnost celic [10].

3.3.7 Druge vrste FN celic

Organske FN celice

Organske fotonapetostne celice veliko obetajo (okolju prijazni materiali in v primerjavi z drugimi vrstami fotonapetostnih celic enostavnejši proizvodni postopki ob razmeroma ugodnem izkoristku). Tovrstne celice so lahko eno- ali večspojne, glede na uporabljene snovi, ki celice sestavljajo, pa jih delimo na celice iz organskih oligomerov¹⁰ polimerov in barvno senzibilizirane fotonapetostne celice. Barvno senzibilizirane celice so grajene iz titanovega dioksida z barvilom in elektrolita (osnova elektrolita je jodid/trijodid) [10].

Koncentratorske FN celice

Koncentratorske celice poleg fotonapetostne celice vsebujejo tudi elemente, ki sončno sevanje koncentrirajo v majhni točki. S tem dosežemo zelo velik izkoristek pri majhni površini celice. Kot koncentradorje uporabljamo leče ali zrcala. Moduli iz takšnih fotonapetostnih celic se, praviloma nameščena na sledilnih stojalih, uporabljajo v večjih elektrarnah [10].

9. Praviloma laserski postopek. Z laserjem vrezujemo v substrat, tako da prosojni oksid ostane nepoškodovan. Prosojnost je odvisna od velikosti in števila utorov.

10. Oligomer je sestavljen iz nekaj monomerov. Monomer je majhna molekula, ki se veže z drugimi molekulami in tvori oligomere ali polimere. Primer naravnega monomera je glukoza

Preglednica 3: Značilnosti fotonapetostnih celic [10].

Material	Debelina	Učinkovitost	Oblika / barva
Silicij			
Monokristalne fotonapetostne celice	0,3mm	14 – 20%	Kvadratne oblike ali kvadratne s prisekanimi (zaobljenimi) vogali / temno modra, črna z antirefleksno plastjo, siva brez antirefleksne plasti
Polikristalne fotonapetostne celice	0,3mm	13 – 15%	Kvadratne oblike / modra z antirefleksno plastjo, srebrno siva brez antirefleksne plasti
EFG - fotonapetostne celice	0,28mm	14%	Pravokotne ali kvadratne oblike / modra z antirefleksno plastjo
Hibridne (HIT) fotonapetostne celice	0,2mm	18%	Kvadratne oblike / temno modra do črna
Tankoplastne kristalne fotonapetostne celice	0,13mm	8%	Pravokotne trakaste oblike / modra z antirefleksno plastjo
Amorfne fotonapetostne celice	0,0001mm Substrat do 3mm	10%	Oblika po izbiri / rdeče – modra, črna
Drugi materiali			
CIS/CIGS (baker - indijev selenid)	0,003mm Substrat + 3mm	10% (modul)	Oblika po izbiri / črna
CdTe (kadmijev telurid)	0,008mm Substrat + 3mm	9% (modul)	Oblika po izbiri / temno zelena, črna

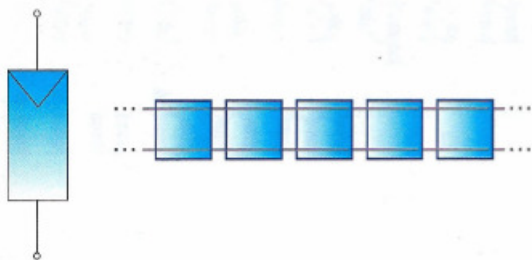
3.4 Fotonapetostni moduli (FN moduli)

3.4.1 Električne lastnosti FN modulov

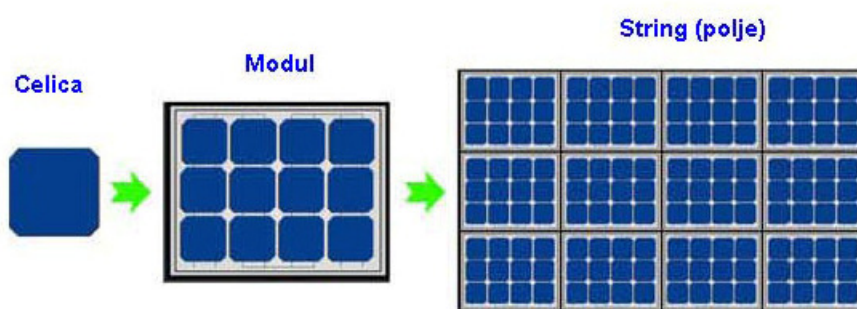
Najmanjši del fotonapetostnega polja, ki ga je možno zamenjati v primeru okvare je fotonapetostni modul. Moduli so okvirjeni z okvirji iz različnih materialov, a večinoma so v aluminijastem okvirju, lahko pa so tudi brez okvirja. Električne in mehanske lastnosti modulov morajo ustrezati veljavnim standardom, kar zagotavlja njihovo dolgotrajno, zanesljivo in varno delovanje¹¹. Module delimo glede na vrsto uporabljenih fotonapetostnih celic ali glede na namen uporabe [10].

11. SIST EN 61730-1 in 2 Varnostne zahteve fotonapetostnih (PV) modulov – 1.del: Konstrukcijske zahteve in 2.del: Zahteve za prekušanje.

Enake fotonapetostne celice, ki so med seboj električno zaporedno vezane imenujemo fotonapetostni modul [10].



Slika 10: Simbol modula (simbol se pogosto uporablja tudi za FN generator (niz modulov, polje ...) ali samo kot simbol za FN celico) in načelen prikaz vezave FN celic v modul [10].



Slika 11: Grafični prikaz kaj je »fotonapetostna celica«, kaj je »modul« in kaj je »string« oziroma polje (ang. »array«) [10.1].

Vezava več fotonapetostnih celic v serijo, da želimo napetost modula, tok modula pa določa število vzporedno vezanih takšnih nizov [10].

$$U = \sum_{i=1}^n U^i \quad \text{enačba (1)}$$

U_i – napetost i -te fotonapetostne celice (V)

n – število fotonapetostnih celic v modulu

Tok fotonapetostnega modula je enak za vse celice, ki so vezane v niz, napetost modula pa je vsota napetosti (enačba 1) posameznih celic, ki sestavljajo modul. V primeru, da so parametri, ki vplivajo na napetost posameznih celic, enaki za vse celice modula, potem se napetost modula določi z naslednjim izrazom:

$$U = n * U^i \quad \text{enačba (2)}$$

U_i – napetost i -te fotonapetostne celice (V)

n – število zaporedno vezanih fotonapetostnih celic v modulu

Proizvajalci navajajo za module osnovne električne podatke, ki so izmerjeni pri standardnih preskusnih pogojih (STC¹²). Ne glede na vrsto celic oziroma izvedbo modula, veljajo standardni preskusni pogoji za vse tipe modulov. Električni podatki se podajajo pri pravokotnem vpadu sončnega sevanja za posamezne module [10].

12. STC = standard test conditions.

Proizvajalci navajajo električne parametre modula v točki delovanja, ko je moč modula največja (točka MPP^{13}):

- vršna moč P_{MPP} (W_p),
- napetost odprtih sponk U_{oc} (V)
- tok kratkega stika I_{sc} (A)
- napetost pri naznačeni¹⁴ (vršni) moči U_{MPP} (V)
- tok pri naznačeni moči I_{MPP} (A)

Drugi pomembnejši električni podatki so še:

- temperaturni koeficient toka kratkega stika α ($\%/^{\circ}C$),
- temperaturni koeficient napetosti odprtih sponk β ($\%/^{\circ}C$),
- temperaturni koeficient moči γ ($\%/^{\circ}C$),
- nazivna delovna temperatura celic (pri $800W/m^2$, temperaturi zraka okolice $20^{\circ}C$ in hitrosti vetra faktorju $1m/s$); temperatura celice, ki se vzpostavi pri navedenih pogojih,
- temperaturno območje delovanja modula,
- najvišja napetost sistema η (%),
- tolerance moči (%),
- vrsta električnega priključka (konektor, priključna doza, ipd.).

Glede na to, da proizvajalci podajajo parametre fotonapetostnih modulov pri standardnih preskusnih pogojih, je pri dimenzioniranju fotonapetostnih sistemov treba upoštevati dejanske razmere, saj so največji parametri modula v določenih primerih lahko večji od tistih, ki so specifikirani pri standardnih preskusnih pogojih [10].

3.4.2 Funkcija obvodnih diod

Za dobro delovanje FN celice kot generatorja je potrebno, da je dovolj osvetljena. V primeru delno osenčenega modula osenčena celica skoraj ne generira električnega toka, medtem ko osvetljene FN celice skušajo nemoteno delovati naprej. Skozi osenčeno diodo, kjer se sprošča velika moč, teče tok zaporedno vezanih celic Na FN celici, ki deluje kot dioda, je padec napetosti, ki je enak [10]:

$$U = -(n - 1) * U^c \quad \text{enačba (3)}$$

U_c – napetost posamezne fotonapetostne celice (V)

n – število fotonapetostnih celic v modulu

13. MPP = maximal power point.

14. V praksi večkrat prihaja do nerazumevanja pojmov nazivna in naznačena moč, napetost, ... Nazivna napetost (moč) je napetost, ki je potrebna za normalno delovanje naprave (glej SSKJ), naznačena napetost (moč) pa je napetost pri določenih obratovalnih pogojih. Na primer, naznačena moč modula v točki MPP pri STC .

Na osenčeni celici je moč, ki se sprošča enaka:

$$P = (n - 1) * U^c * I^c \quad \text{enačba (4)}$$

U_c – napetost posamezne fotonapetostne celice (V)

I_c – dejanski tok fotonapetostnih celic (A)

Delovanje, ko se fotonapetostna celica začne pregrevati, lahko vodi k nastanku vročih točk¹⁵ in kratkega stika, kar pomeni uničenje FN celice. Z uporabo obvodnih diod¹⁶ preprečimo morebitne poškodbe. Vežemo jih vzporedno na določeno število zaporedno vezanih FN celic, kar je prikazano na sliki 12.

Obvodne diode morajo biti dimenzionirane za večje toke, ker lahko pride do kratkotrajnih preobremenitev v delovanju, kot je specificiran kratkostični tok modula.

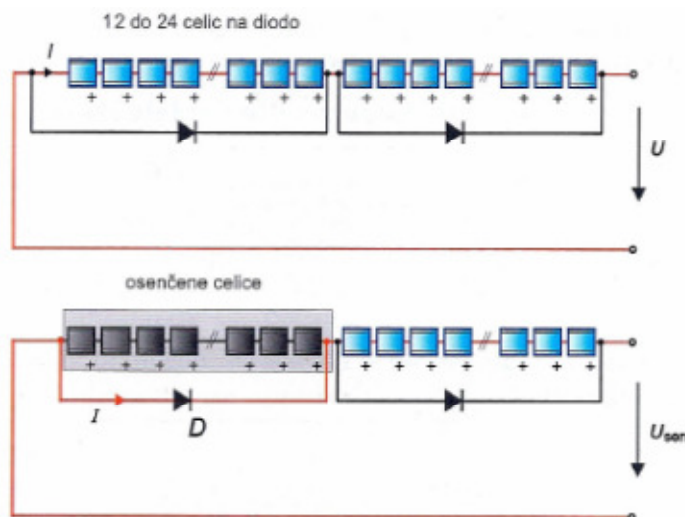
Tok obvodne diode (I_{bypass}) mora biti najmanj 1,25-kratnik kratkostičnega toka modula. Zaporna napetost diode (U_R) mora biti vsaj dvakrat višja od specificirane napetosti odprtih sponk modula. Nekateri proizvajalci zaradi boljšega odvoda toplote zalivajo priključno dozo, v kateri so premostitvene diode, s toplotno prevodno maso, kar pa močno otežuje ali celo onemogoča menjavo diod, če le-te odpovedo. Nekateri novejši moduli imajo namesto obvodnih diod vgrajena elektronska vezja¹⁷, ki modul varujejo na enak način kot diode [10].

$$I_{bypass} \geq 1,25 * I_{sc} \quad \text{enačba (5)}$$

I_{sc} – kratkostični tok modula (A)

$$U_R \geq 2 * U_{oc} \quad \text{enačba (6)}$$

U_{oc} – napetost odprtih sponk modula (V)



Slika 12: Načelna električna zgradba modulov z obvodno (premostitveno) diodo zgoraj in delovanjem modula ob okvari ali delnem osenčenju ene od celic, spodaj. Tok pri osenčenju teče skozi diodo D, kar je na sliki tudi označeno [10].

15. Zelo pogost tuji izraz je *hot spot*.

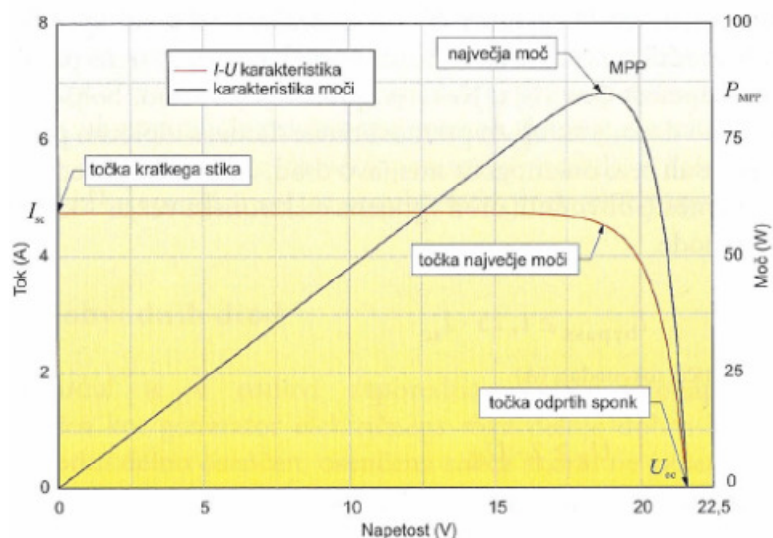
16. ali premostitvena dioda; angleško *bypass diode*

17. Glavno vprašanje s tem v zvezi zadevajo zanesljivost in življenjsko dobo- če uporabljamo takšne module, nam mora proizvajalec zagotoviti ustrezno jamstvo.

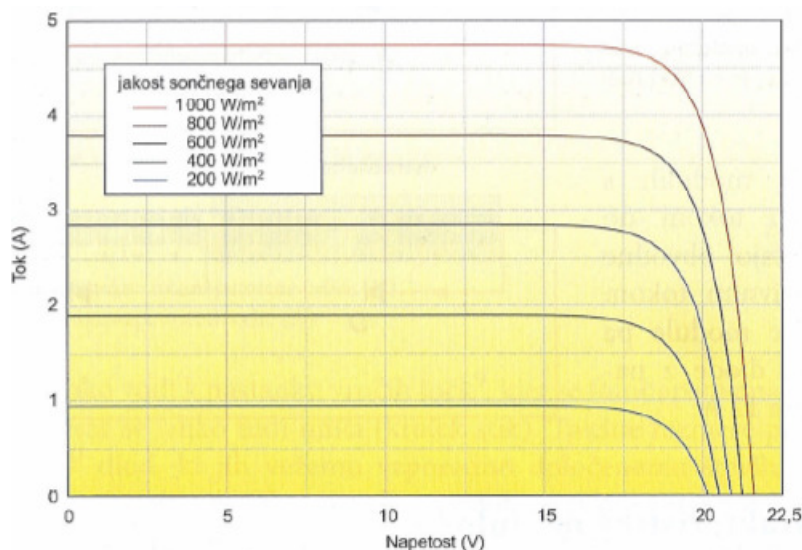
3.4.3 Karakteristike FN modulov

3.4.3.1 Osnovni pojmi

I-U karakteristike je priporočljivo meriti že pri montaži, pomembna pa je točka maksimalne moči (MPP). Primer karakteristike I-U fotonapetostnega modula (konstruirane so iz karakteristik posameznih celic) in poteka moči za različne vrednosti sončnega sevanja sta prikazana na slikah 13 in 14 [10]. Tok I_m poteka od kratkega stika $I_{\max}$ (ko je med dvema točkama neskončna prevodnost; upornost pa enaka nič), preko točke MPP, ko pričneta tok in moč pojenjati in pride na modulu napetost odprtih sponk (ko v vezju med dvema točkama ni povezave), kar je prikazano na sliki 13.

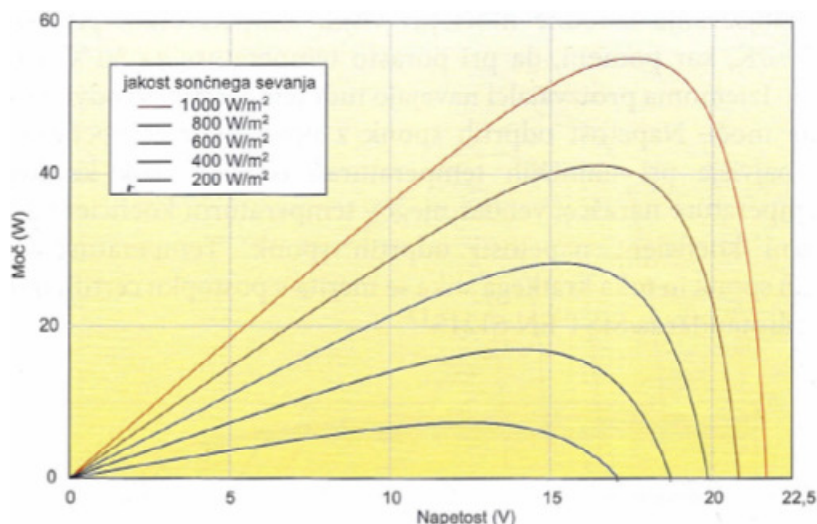


Slika 13: Primer karakteristike I-U fotonapetostnega modula in poteka moči [10].



Slika 14: Primer karakteristike I-U fotonapetostnega modula za različne vrednosti sončnega sevanja [10].

Sončno sevanje, temperatura FN celic ter delno ali celotno osenčenje modula predstavlja največji vpliv na električne parametre FN modula. Vrednost izhodnega toka je sorazmerna jakosti sončnega sevanja [10].



Slika 15: Primer poteka moči fotonapetostnega modula za različne vrednosti sončnega sevanja [10].

3.4.3.2 Temperaturne odvisnosti električnih parametrov

S temperaturo se spreminjajo skoraj vsi električni parametri FN modulov. Proizvajalci v tehničnih specifikacijah modulov oziroma celic navadno navajajo temperaturne koeficiente napetosti odprtih sponk¹⁸, toka kratkega stika in moči v točki največje moči. Navedbe v tehnični dokumentaciji so lahko v %/°C ali pa proizvajalci navajajo spremembe absolutnih vrednosti parametrov /°C. Za kristalne module se ti koeficienti nahajajo v območjih, navedenih v preglednici 4, natančne podatke za posamezni tip celice / modula pa proizvajalci navajajo v tehničnih specifikacijah [10].

Preglednica 4: Temperaturni koeficienti modulov iz kristalnega silicija [10].

Kratkostični tok	$\Delta I_{SC} (\alpha)$	+0,02%/°C do +0,1%/°C
Napetost odprtih sponk	$\Delta U_{OC} (\beta)$	-0,30%/°C do -0,41%/°C
Moč v točki MMP	$\Delta P_{MMP} (\gamma)$	-0,37%/°C do -0,55%/°C

Proizvajalci večkrat označujejo temperaturne koeficiente z grškimi črkami (navedeno v oklepaju). Napetost odprtih sponk z upadanjem temperature modulov narašča in je najvišja pri najnižjih temperaturah okolice. Tok kratkega stika z naraščanjem temperature narašča, vendar njegov temperaturni koeficient ni tako visok kot temperaturni koeficient napetosti odprtih sponk. Temperaturna koeficienta napetosti temperaturnih sponk in toka kratkega stika se merita v postopku certificiranja modula v skladu z določili standarda SIST EN 61215 (Prizemni fotonapetostni (PV) moduli iz kristalnega silicija – Ocena zasnove in odobritve tipa). Temperaturni koeficient moči v točki MMP se izračuna po določilih standarda SIST EN 60891 (Postopki za temperaturno in sevalno korekcijo izmerjenih karakteristik I-U fotonapetostnih naprav) [10].

18. Temperaturni koeficient pove, kakšna je sprememba neke veličine (napetosti, toka, moči, ...) pri spremembi temperature za eno stopinjo.

3.5 Vrste FN modulov

3.5.1 FN moduli iz kristalnih celic

Električno povezane silicijeve FN celice¹⁹ sestavljajo module. Med dvema plastema folije se nahaja 60 ali 72 FN celic, vse skupaj pa je laminirano med sprednjo stranjo modula, ki je steklena in zadnjo stranjo modula, ki je trda folija²⁰ [10].

Moduli iz kristalnih celic so lahko sestavljeni iz polikristalnih FN celic ali pa monokristalnih FN celic. Na tržišču se dobijo moduli moči od nekaj W pa vse do 300W. Dobra stran modulov je, da delujejo pri dokaj visokih temperaturnih spremembah (med -40°C in $+95^{\circ}\text{C}$) [10].



a/



b/

Slika 16: a/ Monokristalni modul in

b/ Laminat modul brez okvirja [10].

Masa je odvisna od moči posameznega modula. Masa manjših modulov (50W) je nekaj kilogramov, medtem ko je masa serijskih modulov (z močjo 300W) do 30kg^{21} [10].

Možna je tudi posebna izvedba modulov. To so transparentni moduli (prepuščajo svetlobo) in fleksibilni moduli (jih lahko upogibamo) [10].

Moduli imajo izkoristek med 12 in 16%. Moduli z monokristalnimi celicami imajo življensko dobo več kot 25 let. Proizvajalci pa zagotavljajo doseganje 90% nazivne moči modula po 20 letih delovanja in doseganje 80% nazivne moči modula po 25 letih delovanja.

Malenkost slabši so polikristalni moduli. Ti dosežejo 90% izhodne moči tipično po 10 letih in 80% po 20 do 25 letih.

Polikristalni moduli imajo primerljive lastnosti za nižjo ceno in so primerni za večino uporabnikov, kjer ni prostorskih težav. Monokristalni moduli pa pridejo do izraza ko potrebujemo čim večjo moč glede na enoto površine. Primerne so za javno razsvetljavo, za prometno signalizacijo, povsod, kjer smo omejeni s prostorom [10].

3.5.2 FN moduli iz amorfne silicija

Postopek izdelave amorfnih celic je z nanašanjem tankih plasti silicija in drugih materialov na nosilni material (substrat). Dobra lastnost je, da izkoriščajo difuzno sevanje in dobro delujejo tudi ko je osvetlitev slabša. Pri načrtovanju je potrebno paziti, da imajo novi moduli na začetku večji izkoristek, ki se kasneje zaradi pojava upadanja moči umiri pri določeni vrednosti ...[10].

-
19. Število fotonapetostnih celic je odvisno od moči modula in vrste celic. Module z manjšo močjo sestavlja tipično 36 celic, lahko pa tudi manj.
 20. Najpogostejše tedlar®, zaščitena znamka podjetja DuPont™.
 21. Mase modulov so odvisne od uporabljenih materialov in velikosti ter so lahko zelo različne. Tipična masa modula z 200W je sicer manj kot 20kg.

3.5.3 Laminiranje tankoplastnih modulov

Za substrat se uporablja klasično steklo. Kaljeno steklo ni primerno kot substrat, ker nanj postopki nanosa silicijevih plasti negativno vplivajo, zaradi visokih temperatur [10].

Posebna izvedba kristalnih modulov so prosojni ali obarvani moduli, pri tankoplastnih modulih pa je spekter posebnih izvedb modulov še bogatejši [10].

3.5.4 FN moduli iz CdTe in CIS

Proizvajalcev teh modulov je malo, vsi pa uporabljajo svoje postopke izdelave [10].

Tudi pri teh modulih se za substrat uporablja navadno steklo, ki prenese postopek nanašanja plasti kadmijevega selenida in kadmijevega telurida pri visokih temperaturah [10].

3.5.5 Prosojni FN moduli

Fotonapetostni moduli, ki poleg generiranja električne energije omogočajo tudi delno prepustnost svetlobe so primerni za obloge fasad objektov ali pa pri uporabi elementov protihrupnih ograj, ko je potreba po transparentnosti [10].

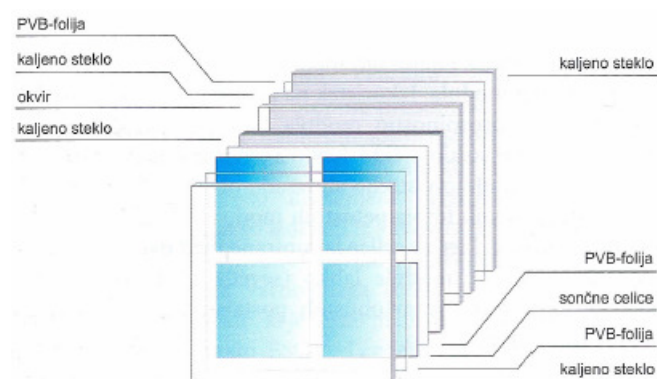
Za obloge fasad se uporablja module brez okvirjev, kot jih imajo klasični moduli. Postopek izdelave pa je kot laminat steklo – steklo iz kaljenega stekla (varnostno), zaradi upoštevanja standardov.

Prosojni fotonapetostni moduli so izdelani iz kakovostnih (kaljenih) varnostnih stekel [10].

3.5.5.1 Prosojni moduli iz kristalnih celic

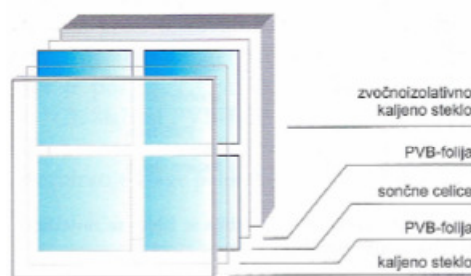
Moduli so laminirani med dve stekleni plasti in sestavljeni iz klasičnih kristalnih celic.

Od klasičnih se zgradba modulov razlikuje le po zadnji ploskvi, ki je steklena in ne iz tedlarja [10].



Slika 17: Izboljšan laminat steklo–steklo s toplotno-izolativnimi lastnostmi za uporabo v prosojnih strehah (visoka stopnja varnosti) [10].

Izkoristek prosojnih modulov je odvisen od razmika med celicami. Večji razmiki med celicami pomenijo boljšo prosojnost modula, obratno pa večji izkoristek modulov [10].



Slika 18: Laminat steklo-steklo z zvočno - izolativnimi lastnostmi (protihrupne ograje) [10].

Takšna izvedba obenem predstavlja tudi najpogostejše uporabljene prosojne fotonapetostne module. V enem kosu so mogoče izvedbe laminatov z dimenzijami do okoli 2,5 x 5,5m ter z največjo debelino zasteklitve 8 do 12mm. Izvedba z izboljšanimi toplotno-izolativnimi lastnostmi so na voljo kot izolacijske zasteklitve, polnjene s plinom, z vrednostjo toplotne prevodnosti $U=1,1\text{W/m}^2\text{K}$, kar že ustreza dokaj dobrim oknom s klasično dvojno zasteklitvijo. Lamine, ki imajo dobre zvočno-izolativne lastnosti se uporablja za steklene obloge fasad, kjer je večji hrup ali pa kot protihrupne elemente za PHO. Dvostranske FN celice pa se lahko uporabijo ko poteka PHO v smeri S – J [10]. Od debeline stekla je odvisna zvočna izolacija kar je navedeno v preglednici 5 [10].

Preglednica 5: Dušenje zvoka za različne debeline stekla [10].

Debelina stekla	11mm	14mm	19mm	23mm
Dušenje zvoka	38dB	40dB	41dB	43dB

3.5.5.2 Prosojni moduli iz prosojnih kristalnih FN celic

Sestava modula ni spremenjena, če so sestavljene iz prosojnih celic, le FN celice prepuščajo svetlobo. Izdelujejo se z vrezovanjem utorov v monokristalne ali polikristalne celice. Slednje celice so lahko eno ali dvostransko prosojne. Tudi v tem primeru je prosojnost odvisna od velikosti utorov, postopki proizvodnje pa omogočajo tudi barvne prosojne celice primerne v arhitekturi [10].

3.5.5.3 Prosojni tankoplastni moduli

Uporabljata se dva postopka. Na stekleni (dolga življenjska doba) substrat se nanaša amorfni silicij ali pa z mikroperforacijo amorfni moduli. Najpogostejše se proizvaja termopan znan kot izolacijsko steklo [10].



Slika 19: Prosojni laminat s tankoplastnimi (amorfni) FN celicami [1].

3.5.5.4 Fleksibilni in dvostranski prosojni FN moduli

To je posebna izvedba modulov, izdelanih kot laminat plastika-plastika s kristalnimi celicami. Kot prosojen plastični material se pogosto uporablja Makrolon^{®22}, ali pa pleksi steklo. Pleksi steklo je lahko obarvano, možno pa ga je tudi kriviti v različne oblike (postopek ni enostaven) [10].

Izdelava je možna s klasičnimi ali prosojnimi celicami. Moduli se lahko uporabljajo za napajanje manjših porabnikov [10].

22. Makrolon[®] je komercialno ime za polikarbonat proizvajalca Bayer Material Science. Odlikuje ga prosojnost, dobra temperaturna odpornost, električna izolativnost.

3.5.5.5 Toplotnoizolacijske in statične lastnosti prosojnih modulov

Poleg električnih lastnosti modulov je pomemben podatek prosojnih modulov tudi parameter, ki pove, kolikšen del sončnega sevanja ($v\%$) se prenaša skozi prosojno površino. Faktor²³ g , ki ga v nemški literaturi najdemo pod oznako g -Wert oziroma v angleški literaturi kot SHGC²⁴, leži v območju med 0 in 1. Čim večji faktor g , več energije se prenaša skozi prosojno površino (pri $g=0,8$ gre skozi zasteklitev na primer 80% sončne energije), kar pomeni slabše toplotnoizolacijske lastnosti takšne zasteklitve in obratno [10].

Lastnosti stekla določa standard SIST EN 410 (Steklo v stavbah – Določevanje svetlobnih in sončnih karakteristik stekla). Vsi izolacijski moduli morajo ustrezati določilom standarda SIST EN 1279 (Steklo v gradbeništvo). Poleg tega so pomembne statične lastnosti modulov, ki se nanašajo na odpornost proti sunkom vetra. V vetrovnih okoljih je treba še posebej preveriti, tipične vrednosti hitrih sunkov vetra, proti katerim so moduli še odporni in jih podajajo proizvajalci, ti znašajo med 120 in 135 km/h. Proizvajalci pogosto namesto hitrosti vetra navajajo tlak na ploskev modula v N/m^2 . Tipično so moduli preizkušeni na $2400 N/m^2$, priporočeni, vendar ne obvezni so tudi preskusi odpornosti proti tlaku do $5400 N/m^2$. To je še posebej pomembno pri laminatih, saj ni nujno, da je laminat odporen proti preskušanemu tlaku tudi na robovih, na primer v primeru točkastega pritrdjevanja [10].

3.5.5.6 Druge vrste FN modulov

Druge vrste fotonapetostnih modulov, ki se sicer redko uporabljajo, so na primer moduli iz koncentratorskih fotonapetostnih celic. Območja z velikim deležem sevanja so primerna za večje fotonapetostne sisteme. Takšni moduli so praviloma nameščeni na sledilnih stojalih, kar zagotavlja kar največjo učinkovitost [10].

Veliko obetajo tudi moduli iz organskih fotonapetostnih celic, ki so namenjeni posebnim primerom uporabe, na primer vgradnji v objekte ali vozila, ter so praviloma na voljo na plastičnih fleksibilnih substratih [10].

3.6 Mehanske in druge lastnosti modulov

Garancija za izhodno moč monokristalnih modulov je po 10 letih delovanja 90% moči in po 25 letih delovanja 80% moči. Pri moduli iz polikristalnih celic pa so podatki nižji, po 10 letih 85% in po 25 letih 75% moči. Za amorfne module pa je značilno, da po 20 letih dosegajo še 80% nazivne moči.

Pomembnejši mehanski in drugi podatki modulov so [10]:

- odpornost modula na sunek vetra (N/m^2 ali km/h),
- odpornost na udarce,
- dimenzije modula,
- maso,
- certifikati²⁵, ki jim morajo ustrezati,
- garancija na izhodno moč in življensko dobo.

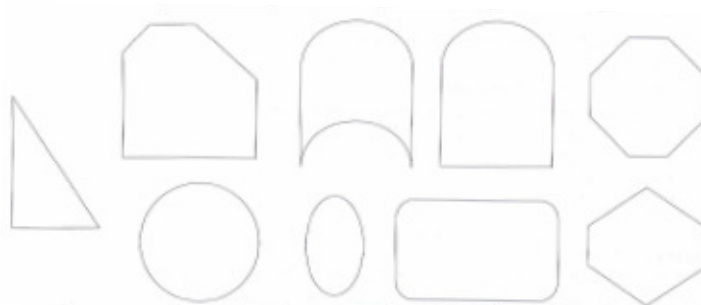
23. Faktor g je nemški izraz *Gesamtenergiedurchlassgrad*. Faktor zajema prenos energije v celotnem spektru

24. SHGC²³ = *solar heat gain coefficient*.

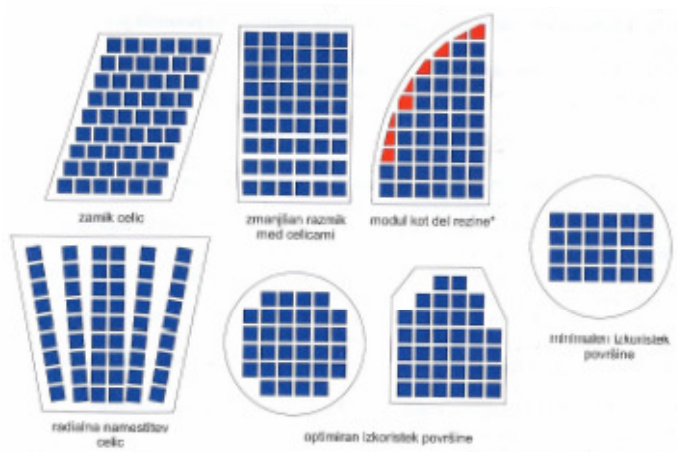
25. Na primer SIST EN 61215 za kristalne module in SIST EN 61646 za tankoplastne module.

3.7 Oblike modulov po naročilu

Po naročilu so dobavljive različne oblike modulov s kristalnimi celicami, nekatere od njih so prikazane na slikah. Module, oblikovane po naročilu, najpogosteje uporabljamo za projekte v arhitekturi ali za vgradnjo v vozila oziroma plovila. Velikost modula je pogojena zgolj z velikostjo laminatorja oziroma z velikostjo stekla, ki ga lahko še obdelujemo. Omejitve pri obliki pa predstavlja le mehanska obdelava stekla [10].



Slika 20: Nekateri primeri oblik modulov po naročilu (tehnična dokumentacija ertex solar) [10].



Slika 21: Različne vrste prosojnih modulov po naročilu (tehnična dokumentacija ertex solar) [10].

3.8 Lokacija namestitve

3.8.1 Ovrednotenje potenciala sončnega sevanja

Učinkovitost FN elektrarne je odvisna od dobre lokacije, vračilne dobe naložbe ter od natančnosti ovrednotenja dobitkov (energijskega izplena²⁶). Analiza lokacije je odvisna od količine sončnega obsevanja, naklona modulov, morebitnega senčenja in določitve proizvedene električne energije. Na trgu je dostopna različna programska oprema s katero si je priporočljivo pomagati pri načrtovanju [10].

Vrednosti dobitkov sistema, sevanje sonca na vodoravno ploskev, za nekatere kraje v Sloveniji so navedene v preglednici 6 [10].

26. Za energijski izplen fotonapetostne elektrarne oziroma pridobljeno energijo večkrat uporabljamo tudi izraz solarni dobitki, ang.= *solar gain*, *solar yield*.

Preglednica 6: Potencial sončnega sevanja za Koper, Ljubljano in Maribor v Wh/m^2 dan za tipični dan v mesecu (posebej je navedena še povprečna letna vrednost, prav tako v Wh/m^2 dan) [10].

Koper											
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sept	Okt	Nov	Dec
1130	1920	2930	4140	5230	5800	5790	5160	3980	2530	1280	940

Ljubljana											
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sept	Okt	Nov	Dec
830	1590	2600	3760	4940	5310	5290	4500	3300	1950	920	600

Maribor											
Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sept	Okt	Nov	Dec
980	1680	2680	3750	4820	5160	5100	4430	3430	2220	1120	750

Ovrednoten potencial sončnega sevanja temelji na meritvah sončnega obsevanja na vodoravno ploskev ali na računskih modelih, lahko pa je kombinacija obeh metod. Praviloma vedno podajamo povprečne mesečne vrednosti za določen dan v mesecu (Wh/m^2 dan), (povprečne dnevne vrednosti sončnega obsevanja za dan v mesecu). Za natančnejše izračune pa povprečne urne vrednosti za tipični dan v mesecu (Wh/m^2 uro). Vrednosti za območje Slovenije so za nekatere lokacije na voljo pri Agenciji RS za okolje [10].

3.9 Analiza lokacije

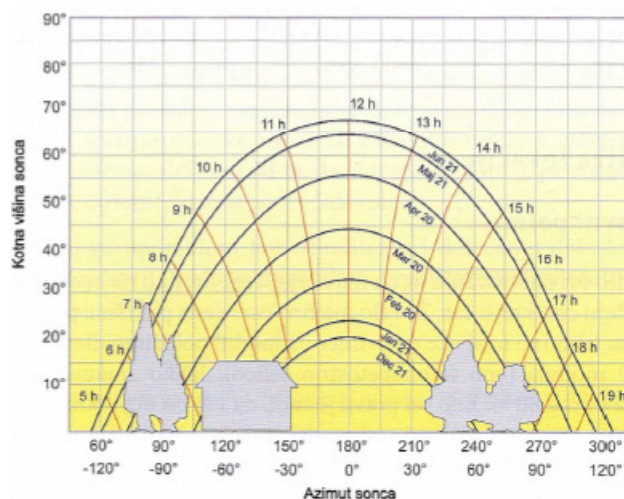
3.9.1 Osnovni pojmi

Pri načrtovanju je pomembno, da nameščeni moduli niso osenčeni oziroma, da so le za kratek čas. Izhodna moč modulov se hitro zmanjša, če je površina polja modulov osenčena. Položena dlan na površino modula le-tega osenči za površino ene FN celice. Izhodna moč modula pa se pri tem zmanjša za 80%. Če je le možno naj bo osončenje²⁷ modulov neprekinjeno skozi vse leto in zagotovljeno med 9. in 15. uro (sončni čas), takrat Zemlja prejme večino sončne energije [10].

Za pravilno načrtovanje fotonapetostnih sistemov in namestitev modulov je bistveno razumevanje gibanje Sonca (slika 22). Z vnosom lokacije ovir, v diagram sončne poti, ki jih določimo s kompasom in padomerom ali programsko opremo lahko določimo čas in trajanje osenčenja. Če analizo lokacije izvajamo ročno, potrebujemo vsaj kompas, dobrodošel pa je tudi padomer, s katerim določimo višino objektov oziroma naravnih ovir (drevesa, vzpetine). Na trgu so na voljo tudi naprave z vgrajenim kompasom in izdelanim diagramom poti sonca za posamezne geografske širine. S podatki globalnega sončnega obsevanja na vodoravno ploskev določimo energijski izplen. Potem izračunamo dejansko obsevanje in z upoštevanjem azimuta ter naklonskega kota še dejansko obsevanje na polje modulov [10].

27. V tuji literaturi se uporablja se tudi izraz solarno okno, ang. = *solar window*

Povprečne mesečne podatke obsevanja uporabljamo pri fiksnih modulih, če uporabljamo sledilne sisteme ali anizotropne modele neba, pa moramo računati s povprečnimi urnimi vrednostmi globalnega obsevanja. Postopek je računsko dokaj zapleten, za izračun je na voljo več algoritmov, dokaj dobre rezultate pa dobimo že z modelom izotropnega neba in z mesečnimi povprečnimi vrednostmi parametrov [10].



Slika 22: Diagram sončne poti za Ljubljano z vrisanimi ovirami za namišljeno lokacijo [10].

Modele za ovrednotenje vpliva osenčenja vsebuje vsaka boljša programska oprema, tako da izračun in analiza v praksi nista zelo zapletena. Če podatka o vrednostih povprečnega dnevnega sončnega globalnega obsevanja nimamo, si lahko pomagamo tudi s številom sončnih ur²⁸, tj. s skupnim številom ur z globalnim obsevanjem 1000 W/m^2 . Število sončnih ur dobimo tako, da sončno globalno obsevanje (Wh/m^2) delimo s številom 1000. Vsota globalnega obsevanja vseh sončnih ur ustreza dnevni vrednosti globalnega obsevanja. V naših podnebnih razmerah se proizvede okoli 1000 kWh energije na kW inštalirane moči FN sistema letno. Podatek velja za sisteme s proti jugu usmerjenimi moduli z optimalnim naklonskim kotom. Povečanje izhodne moči lahko dosežemo z uporabo sledilnih mehanizmov ali dvostranskih fotonapetostnih celic, vendar je pri uporabi takšnih rešitev potrebna vnaprejšnja natančnejša ekonomska presoja, saj cena sledilnih mehanizmov ali dvostranskih celic lahko preseže vrednost dodatnih solarnih dobitkov [10].

3.10 Načrtovanje nosilne konstrukcije

3.10.1 Lastnosti materialov za nosilno konstrukcijo

3.10.1.1 Splošne mehanske in kemijske lastnosti

Pri izdelavi nosilne pokonstrukcije FN sistema se velikokrat zanemara splošne lastnosti materialov. Upoštevanje lastnosti materialov je pomembno, da bo konstrukcija obstojna brez dodatnega vzdrževanja in kljubovala vremenskim vplivom. Konstrukcija je tako izpostavljena tlačnim in strižnim obremenitvam, toplotnemu raztezanju ter zunanjim vplivom (UV sevanje in nevarnost korozije) [10].

28. Angleški izraz. = sun hours peak

Med najpomembnejše mehanske lastnosti materialov za uporabo v konstrukciji polja modulov spadajo natezna trdnost materialov, temperaturno raztezanje in odpornost proti tlačnim obremenitvam. Viri tlačnih obremenitev so predvsem lastna teža ter obtežbe zaradi snega in vetra. Temperaturno raztezanje je še posebej problematično pri aluminiju, zato upoštevamo navodila proizvajalca o največji dopustni dolžini profilov. Temperaturni raztezek 10m dolgega profila je pri temperaturni razliki 60°C lahko tudi 1,5cm, kar ni več zanemarljivo in se lahko odraža v trajni deformaciji in poškodbah modulov [10].

3.10.1.2 Korozija in degradacija zaradi UV-sevanja

Vzroki korozije so lahko različni. V praksi najpogosteje prihaja do pojava korozije zaradi kemijskih reakcij in sicer enakomerno po vsej površini materialov. V tem primeru govorimo o enakomerni koroziji. Enakomerna korozija pri fotonapetostnih sistemih praviloma ne pomeni velike težave, saj so materiali za nosilno konstrukcijo praviloma primerno obdelani in galvansko zaščiteni. Večja težava je lokalna korozija, katere vzroki so predvsem elektrokemijske reakcije. Še posebej težavna je korozija v stiku dveh različnih kovin z različnima elektrokemijskima potencialoma²⁹. V stiku s prevodno tekočino (elektrolitom, na primer deževnico) tvorita galvanski člen, pri čemer prihaja do korozije. Če mehanskega stika kovin z različnima elektrokemijskima potencialoma ni mogoče preprečiti, se koroziji lahko izognemo tako, da obe kovini zaščitimo na enak način – kot možnost za zaščito jekla in aluminija, s katero se izognemo galvanski koroziji, velja omeniti cinkanje. S cinkom je mogoče obdelati površino tako pri aluminiju kot pri jeklu. Za spajanje je priporočljiva uporaba vijakov iz nerjavnega jekla. Pocinkani vijaki zaradi tankih plasti cinka v praksi pogosto rjavijo. V praksi je pogosto tudi pojav korozije zaradi blodečih tokov. Ti nastajajo, kadar izolacijska upornost ni dovolj visoka, lahko na primer ob vdoru vode ali vlage v priključne doze modulov ali v podobnih primerih. V velikih sistemih se tej vrsti korozije izognemo z nadzorom izolacijske upornosti kot delom nadzorne elektrarne, v vsakem primeru pa moramo tako pri majhnih kot pri velikih sistemih zagotoviti vodotesnost vseh kritičnih mest, kot so priključne doze modulov, razvodne doze in podobno. Resno težavo lahko predstavlja priklop nosilne konstrukcije na ozemljitev ali na strelovodno zaščito (stik aluminija in jekla z bakrom), še posebej ker so te povezave praviloma izpostavljene vremenskim vplivom. Takšne povezave izvedemo tako, da oba elementa zaščitimo na enak način ali ju ločimo s tretjim prevodnim, praviloma pocinkanim ali ponikljanim prevodnim delom [10].

Ultravijolično sevanje je sestavni del sončnega sevanja. Kratkovalovno UV-sevanje povzroča optično in mehansko degradacijo materiala, poleg tega pa tudi škodi ljudem. Vsi materiali, namenjeni zunanji montaži oziroma uporabi, morajo biti odporni proti vplivom UV-sevanja in ne smejo izkazovati degradacije zaradi njegovih vplivov tudi po daljšem časovnem obdobju. Med elementi, ki so UV-sevanju še posebej izpostavljeni, velja omeniti razvodne in priključne doze, kable, tesnila modulov,... Na vplive UV-sevanja so še posebej občutljivi različni polimerni materiali, kot sta na primer polietilen in polipropilen. Degradacija zaradi UV-sevanja vpliva na natezno trdnost materialov in v skrajni posledici vodi do pokanja plaščev kablov, ohišij priključnih doz, pritrdilnega materiala in podobno [10].

29. Elektrokemijski potencial je posledica prehajanja ionov iz kovine v elektrolit. Če imamo dve različni kovini in elektrolit, na primer deževnico, se lahko med kovinama pojavi električna napetost, kar vodi do galvanske korozije.

3.10.1.3 Osnovne lastnosti jekla in aluminija

Železo oziroma nerjavni jeklo se sicer kot material za nosilno konstrukcijo manj uporabljata, sta pa dobra izbira za kraje z agresivno atmosfero³⁰, kjer imata nekaj prednosti pred aluminijem. Predvsem to velja za kraje ob morju, kjer je vpliv soli dokaj velik. Za nosilne konstrukcije FN sistemov največkrat uporabljamo jeklo z nizko vsebnostjo ogljika. Galvansko ga lahko zaščitimo na različne načine. Pogosta pa je tudi zaščita z vročim cinkanjem³¹. Kako dolgo je pocinkano železo odporno proti koroziji, je odvisno od debeline plasti cinka in lokalnega okolja (vremenski vplivi). Vsekakor se moramo pred uporabo kakršnega koli pocinkanega materiala prepričati, da je material glede na pričakovano življenjsko dobo ustrezno obdelan. Zelo dobro izbiro, predvsem za močno obremenjene dele konstrukcij, predstavlja nerjavno jeklo. Nerjavna jekla vsebujejo >12% kroma in manj kot 1,2% ogljika. Za uporabo v fotonapetostnih sistemih je priporočljiva uporaba jekla z oznako X5CrNi18-10, ki ima tudi sicer zelo dobre lastnosti in je v primerjavi z aluminijem tudi mehansko precej odpornejše. To jeklo je zelo pogosto material za izdelavo strešnih kljuk [10].

Aluminij je standardni material za izdelavo nosilne konstrukcije v vseh primerih, razen v agresivnih okoljih, sicer je dražji material kot jeklo, vendar ga odlikujejo številne dobre lastnosti. Njegova gostota je 1/3 gostote jekla, kar seveda posledično pomeni manjšo maso. Nudi možnost izdelave profilov najrazličnejših oblik, ima visoko razmerje natezne trdnosti in teže, zaradi česar je kot konstrukcijski material uporaben v številnih primerih, je korozijsko odporen in primeren tudi kot material v arhitekturi. Korozijsko odpornost mu zagotavlja tanka plast oksida, ki se tvori na površini materiala [10].

3.11 Obremenitve polja modulov

3.11.1 Lastno breme in bremena ob montaži

Lastno breme predstavlja silo (SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije), ki jo ustvarja teža nameščenega sistema. Nosilna konstrukcija in moduli predstavljajo najpomembnejše breme. Pri večjih sistemih pa se upošteva še razsmernike in kontejnerji (kjer so nameščeni), saj so teže tudi 20ton ali več. Glede lastnih bremen moramo biti pozorni predvsem pri ravnih strehah, pri poševnih strehah (še posebej pri strmih naklonih) pa teh težav ni. Teže modulov so različne: klasični (steklo – tedlar) imajo težo od 0,12 do 0,16kN/m², moduli (steklo – steklo) so težji do 0,3kN/m², najtežji (izolacijske zasteklitve) pa tehtajo tudi do 0,5kN/m². Potem je potrebno upoštevati še težo podkonstrukcije, lokacijo namestitve (območja močno obremenjena s snegom in vetrom), itd. Posvet s strokovnjakom s področja gradbene statike je vsekakor potreben [10].

30. Posebno pozornost je treba posvetiti zaščiti pred korozijo, SIST EN 12495, Katodna zaščita jeklenih konstrukcij

31. SIST EN ISO 1461 Prevlake na jeklenih predmetih, nanesene z vročim pocinkanjem

3.11.2 Snežna obtežba

Karakteristična snežna obtežba³² za Slovenijo je za različne regije prikazan na sliki 23, vrednosti za posamezne nadmorske višine so razvidne iz preglednice 7. Sila teže snega na module bo manjša, če bo naklonski kot sončnega generatorja čim večji. Obtežba snega na streho je pri naklonskih kotih strehe do 30° enaka 0,8 obtežbe tal s_k . Pri naklonskih kotih strehe med 30° in 60° pa jo izračunamo po enačbi (7).

$$s = s^k * 0,8 \frac{60^\circ - \alpha^{strehe}}{30^\circ} \quad \text{enačba (7)}$$

α_{strehe} – naklon strehe (°)

s_k – karakteristična snežna obtežba tal za dano lokacijo, vrednosti za Slovenijo so razvidne s slike 18

Pri strehah z naklonom večjim od 60°, lahko privzamemo, da je obremenitev na streho enaka nič. Izjeme so lahko strehe, kjer sneg zaradi ovir ali oblike strehe ne more zdrseti z njih (mansardna okna ali podobno). Za posamezne regije karakteristično snežno obtežbo računsko določimo z naslednjimi izrazi (enačba velja za enokapne in dvokapne strehe, upoštevati je potrebno le dejanski naklon strehe):

$$A1 - \text{alpska regija 1} \quad s_k = 0,651 * \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) \quad \text{enačba (7.1)}$$

$$A2 - \text{alpska regija 2} \quad s_k = 1,293 * \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) \quad \text{enačba (7.2)}$$

$$A3 - \text{alpska regija 3} \quad s_k = 1,935 * \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) \quad \text{enačba (7.3)}$$

$$A4 - \text{alpska regija 4} \quad s_k = 1,898 * \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) \quad \text{enačba (7.4)}$$

$$M1 - \text{mediteranska regija 1} \quad s_k = 0,289 * \left(1 + \left(\frac{A}{452}\right)^2\right) \quad \text{enačba (7.5)}$$

A – nadmorska višina (m)

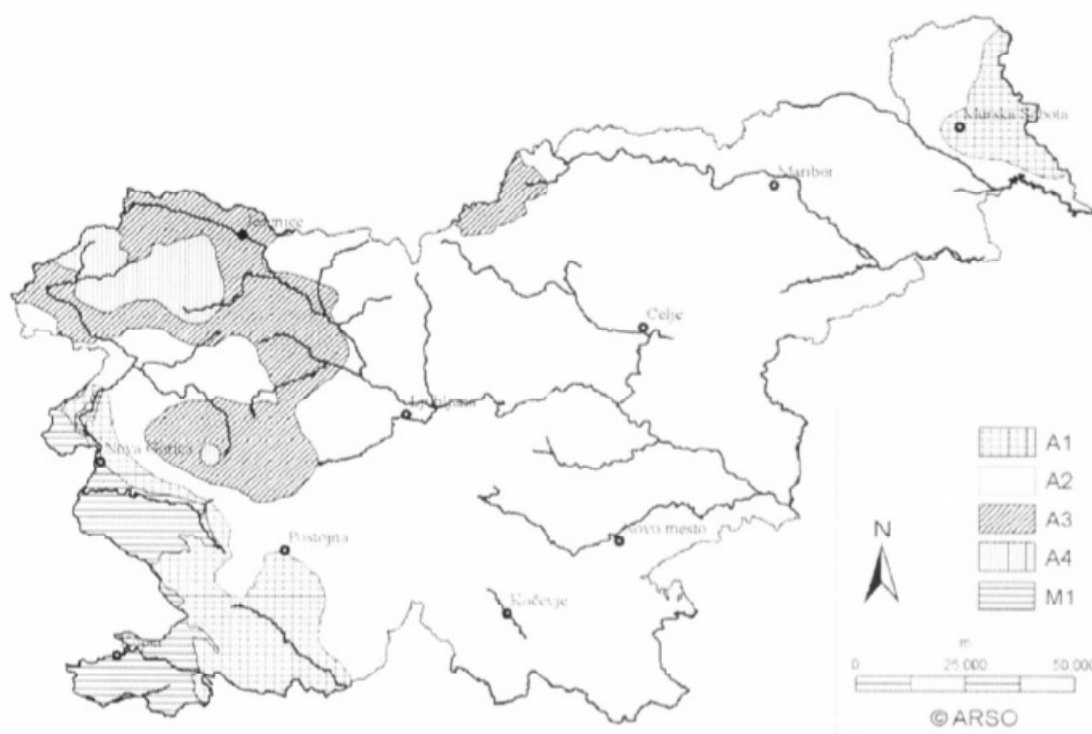
Zaradi navedenega, je v visokogorju priporočljiva postavitvev modulov (kjer so velike količine snega) pod kotom 60° ali več, saj tako omilimo obremenitev snega na module (pod takim naklonom sneg hitro zdrsi) [10].

Preglednica 7: Karakteristična snežna obtežba tal s_k za posamezno območje v Sloveniji (primer za regijo A2). Okvirne vrednosti, izračunane z enačbami 7.1 do 7.5 [10].

Nadmorska višina (m)													
do200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
1,4	1,6	1,7	1,9	2,2	2,5	2,9	3,3	3,8	4,3	4,9	5,5	6,1	6,8

Regija A2: Karakteristična snežna obtežba na tleh za različne nadmorske višine (kN/m²)

32. Pojem karakteristična snežna obtežba se uporablja predvsem v meteorologiji, v tehniških standardih (npr. SIST EN 1991-1-3) ga nadomešča pojem obtežba snega.



Slika 23: Obtežba snega na tleh na nadmorski višini $A = 0\text{m}$, (SIST EN 1991-1-3 2004/A101 2007) [10].

Postavitev modulov pod strmejšim naklonom pa ni rešitev, če je poleg snežne obtežbe prisotna še sila močnejših vetrov. Na takšnih območjih je priporočljivo postavljati module v navpični smeri oziroma pod kotom 90° in v sončno zavetrno lego. Snežna obtežba narašča z nadmorsko višino. Za višje nadmorske višine in položne strehe se priporoča uporaba modulov, preizkušenih na obtežbo $5,4\text{kN/m}^2$, saj je obtežba $2,4\text{kN/m}^2$ lahko pri obilici snega hitro presežena. To še posebej velja za strehe z manj kot 30° naklona. Tako kot pri kovinskih absorpcijskih panelih je potrebno tudi pri moduli v okvirjih paziti, da se v njih ne nabira voda, kar privede do korozije, pozimi pa do zmrzovanja. Rešitev je vrtanje lukenj na spodnji strani elementov, kar pripomore k lažjemu odtekanju vode [10].

3.11.3 Obtežba zaradi vetra

Posledici delovanja vetra na streho (SIST EN 1991-1-4, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije) in polje modulov sta tlak vetra na streho in negativni tlak. Veter predstavlja resno težavo, negativni tlak vetra je bolj neugoden od pozitivnega tlaka. Na moduli lahko pride do mehanskih poškodb, upogibanja ter poškodb okvirjev in veznih sredstev [10].

Posebno pozornost je potrebno posvetiti dobri pritrditvi modulov na konstrukcijo. Moč delovanja vetra pogojujejo smer vetra na objekt (FN sistem), hitrost, gostota zraka, razgibanost terena, nadmorska višina, itd [10].

Za izračun delovanja sil zaradi vetra na module je v praksi na voljo malo empiričnih izrazov, tako, da obtežbe v glavnem določamo s pomočjo preglednic, ki jih najdemo v ustreznih standardih (SIST EN 1991-1-4). Preglednice vsebujejo parametre za konkretne primere geometrije strehe oziroma objekta. Pri načrtovanju prostostojećih sistemov je potrebno upoštevati sile vetra na krajne elemente FN sistemov, ki so najbolj na udaru. Tlak vetra najbolj obremeni prve vrste sistema in se manjša proti sredini sistema [10].

Vodilo pri izračunu statičnih obtežb sončnega generatorja in objektov, kjer je le-ta nameščen, predstavljajo standardi iz serije SIST EN 1991. Dejansko obremenitev strehe je vsota vseh dejavnikov, vedno pa moramo izračunati obremenitev v najneugodnejših okoliščinah [10].

4 FOTONAPETOSTNE ELEKTRARNE V SLOVENIJI IN PO SVETU

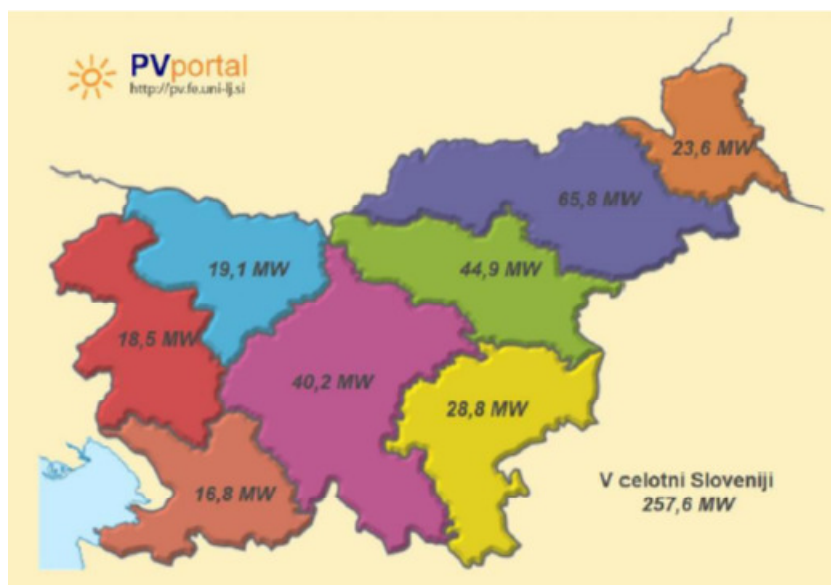
4.1 Statistika fotonapetostnih elektrarn v Sloveniji

Prva sončna elektrarna (inštalirane moči $1,1\text{kW}_p$) v Sloveniji je bila zgrajena leta 2001, na Litijski cesti v Ljubljani. Po nekajletnem premoru, se je gradnja sončnih elektrarn od leta 2011 do 2013 hitro povečala, v zadnjih letih pa ponovno umirila.

Prva in do danes edina protihrupna ograja kombinirana s sončno elektrarno je bila zgrajena leta 2012, na odseku hitre ceste, med mednarodnim mejnim preходом Vrtojba ter cestninsko postajo Bazara v smeri Vipave.

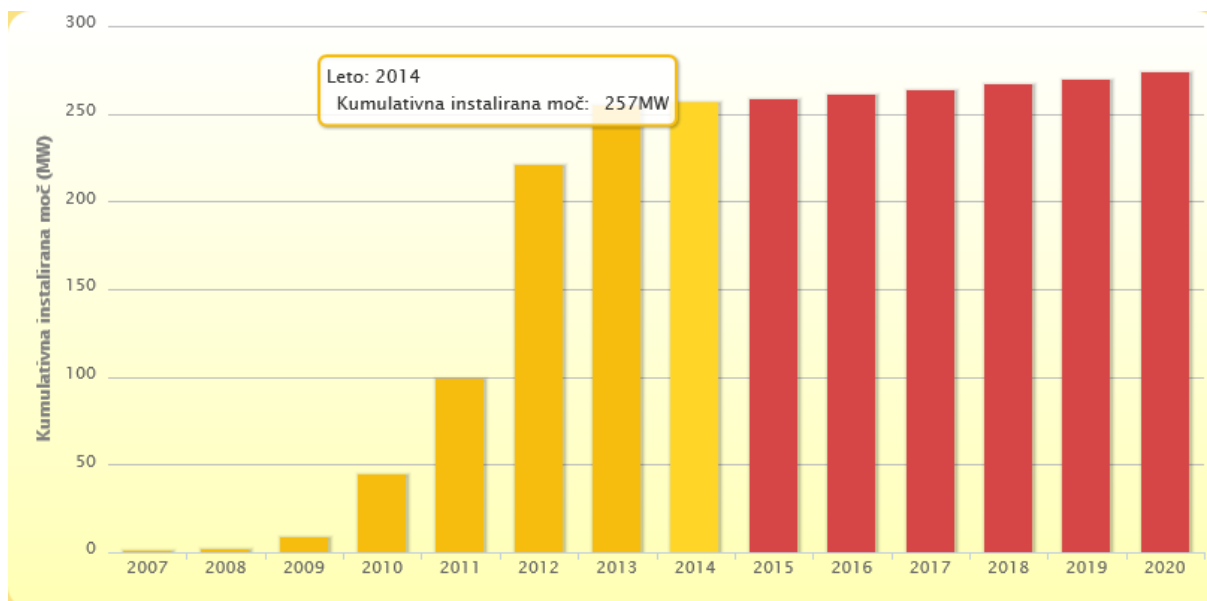
Podatki o instalirani moči novih FV elektrarn v lanskem letu temeljijo na Registru deklaracij za proizvodne naprave, ki proizvajajo elektriko iz obnovljivih virov, zaradi česar se razlikujejo od dejanskega stanja na trgu. Datumi izdaje deklaracij so lahko tudi nekaj mesecev za dejanskim priklopom sončnega sistema na električno omrežje [12].

Sončne elektrarne v Sloveniji (instalirane moči sončnih elektrarn po regijah konec leta 2015) [11]. Stanje na dan 19.2.2016.



Slika 24: Sončne elektrarne v Sloveniji [11].

Napoved rasti sončnih elektrarn do leta 2020 pri 10-15% letni rasti [11]:



Slika 25: Napoved rasti sončnih elektrarn do leta 2020 [11].

4.2 Fotonapetostne elektrarne v Sloveniji

Prva sončna elektrarna (inštalirane moči $1,1\text{kW}_p$) v Sloveniji je bila zgrajena leta 2001, na Litijski cesti v Ljubljani. Po nekajletnem premoru, se je gradnja sončnih elektrarn od leta 2011 do 2013 hitro povečala, v zadnjih letih pa ponovno umirila.

Prva in do danes edina protihrupna ograja kombinirana s sončno elektrarno je bila zgrajena leta 2012, na odseku hitre ceste, med mednarodnim mejnim preходом Vrtojba ter cestninsko postajo Bazara v smeri Vipave.

4.2.1 Fotonapetostna elektrarna ApE

- Mikro sončna elektrarna ApE d.o.o. inštalirane moči $1,1\text{kW}_p$ zgrajena leta 2001 je bila prva zgrajena sončna elektrarna v Sloveniji, priklopljena na distribucijsko omrežje. Sestavlja jo 10 fotonapetostnih modulov in razsmernik. Postavljena je bila na Litijski cesti v Ljubljani. Predvidena letna proizvodnja je 1150kW električne energije. Ta elektrarna je pomembna zato, ker je bila zgrajena po vseh predpisih in vključena na distribucijsko omrežje ter ključna pri vključitvi, vzpostavitvi in ureditvi systemskega zagotavljanja odkupa elektrike iz tovrstnih elektrarn [13].



Slika 26: Mikro sončna elektrarna ApE d.o.o. [13].

4.2.2 Sledilna fotonapetostna elektrarna Špeh, Ljubno ob Savinji

Investitor Špeh d.o.o. je zgradil fotonapetostni sistem za paralelno obratovanje z javnim električnim omrežjem. Fotonapetostni moduli so nameščeni na šestih sledilnih konstrukcijah na lokaciji v Melišu. Mikro fotonapetostna elektrarna Špeh ima moč $12,24\text{kW}_p$. 72 fotonapetostnih modulov sestavlja FN generator, moči 170W_p , ki so razdeljeni na 6 nizov z 12 zaporedno vezanimi moduli. Elektrarna je začela obratovati julija 2008; pričakovana letna proizvodnja je 17.000kW h [13].



Slika 27: Mikro fotonapetostna elektrarna Špeh Ljubno ob Savinji [13].

4.2.3 Fotonapetostna elektrarna Vransko

Fotonapetostna elektrarna Vransko, katere investitor je podjetje Energetika Vransko, d.o.o., je sestavljena iz treh enot skupne moči $35,3W_p$. Prva enota – 80 polikristalnih fotonapetostnih modulov je montirana na strehi poslovnega objekta Energetike Vransko pod kotom 10° . Druga enota fotonapetostne elektrarne je montirana na jugovzhodnem delu fasade poslovnega objekta in predstavlja prvo tovrstno elektrarno v Sloveniji. Fotonapetostni moduli so montirani na fasadi objekta pod kotom 90° . Fasadni del fotonapetostne elektrarne sestoji iz 66 polikristalnih fotonapetostnih modulov. Na parkirišču pred objektom je postavljena tretja enota fotonapetostne elektrarne. To je dvoosna sledilna naprava, sestavljena iz 18 monokristalnih silicijevih modulov, skupne moči $3,8W_p$. Sončna elektrarna na poslovnem objektu Energetike Vransko bo prispevala k večji rabi sončne energije v Sloveniji in k razvoju domače znanosti v industriji opreme za fotonapetostne sisteme [13].



Slika 28: Fotonapetostna elektrarna Vransko [13].

4.2.4 Fotonapetostna elektrarna Vrholo

Fotonapetostna elektrarna Vrholo se nahaja na strehi strojnice Hidroelektrarne Vrholo na Savi v občini Radeče. Skupna vršna moč FN elektrarne znaša $77,4kW$ in povprečna proizvodnja električne energije $77.400kW\ h/a$, kar je dovolj za pokrivanje potreb 22 slovenskih gospodinjstev. Elektrarna sestoji iz 360 FN modulov, delovati pa je začela v mesecu marcu leta 2008. Skupna investicija je znašala 409.000 EUR, pričakuje pa se, da se bo ta povrnila v 13 letih [13].



Slika 29: Na strehi postavljeni moduli, ki tvorijo fotonapetostno elektrarno Vrholo [13].

4.2.5 Megavatne fotonapetostne elektrarne v Strnišču

Pet fotonapetostnih elektrarn inštalirane moči po 1MW_p je zgrajena degradiranem zemljišču, odlagališču rdečega blata tovarne aluminija Talum v Strnišču pri Kidričevem.

Četrto fotonapetostno elektrarno, ki je bila priklopljena na distribucijsko omrežje v decembru leta 2010, sestavlja 4165 sončnih modulov moči 240W in skupne moči 999.600kW, ki so razvrščeni v 36 vrstah.

Ker je infrastruktura priklopa na 20kV kablovod zgrajena, bodo investicijska vlaganja nižja. Pri četrti megavatni sončni elektrarni se je končna cena znižala iz 2800EUR/kW_p na 2600EUR/kW_p [13].



Slika 30: Del postrojenja fotonapetostnih elektrarn v Strnišču pri Kidričevem [13].

4.2.6 Aktivna protihrupna zaščita s sončno elektrarno na hitri cesti H4 Razdrto - Vrtojba, na odseku Šempeter – Vrtojba

Prva in do danes edina protihrupna ograja kombinirana s sončno elektrarno je bila zgrajena leta 2012, na odseku hitre ceste, med mednarodnim mejnim prehodom Vrtojba ter cestninsko postajo Bazara v smeri Vipave. Na nosilne HEA stebre, protihrupne ograje, so pritrjeni fotovoltaični paneli, preko nosilne pod konstrukcije. Na približno 700m protihrupne ograje je v dveh vrstah pritrjenih 644 fotonapetostnih modulov. Inštalirana moč sončne elektrarne je 168 kW.

Temeljenje protihrupne ograje je izvedeno s patentiranim sistemom betonskih temeljnih gred z vtisnjenimi jeklenimi HEA profili. Med HEA stebre protihrupne ograje so vstavljeni betonski absorpcijski paneli iz ekspandirane gline ter aluminijasti absorpcijski paneli [14] in [15].

Izgradnja elektrarne je potekala v sklopu projekta "Obnovljivi viri energije v primorskih občinah", ki je sofinanciran iz donacije Švicarskega prispevka in sredstev primorskih občin, kot izvajalska agencija pa ga koordinira Goriška lokalna energetska agencija (GOLEA). Tovrstna sončna elektrarna v Sloveniji predstavlja referenco za možnosti izkoristka sončne energije na slovenskih avtocestnih protihrupnih ograjah. Vrednost investicije v sončno fotonapetostno elektrarno je 551.160 EUR, od tega je donacija Švicarskega prispevka v višini 83 %, 17 % investicije pa financira občina Šempeter-Vrtojba. Protihrupna ograja, podlaga za panele, pa je stala 360.000 EUR in sta jo sofinancirali občina in Dars, vsak polovico. Denar, ki ga bo občina dobila s prodajo elektrike, bo namenjala za razvoj infrastrukture [15].



Slika 31: Aktivna protihrupna zaščita s sončno elektrarno na hitri cesti H4 Razdrto - Vrtojba [14].

4.3 Statistika fotonapetostnih elektrarn po Svetu

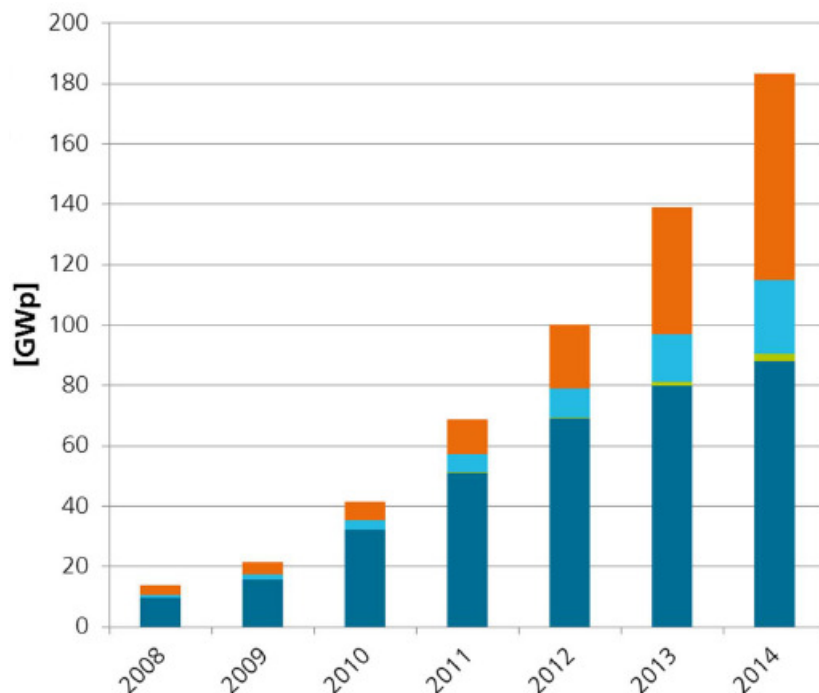
V preteklosti so bile Združene države več let vodilne po nameščenih fotonapetostnih elektrarnah, njihova skupna zmogljivost pa je znašala 77MW v letu 1996, več kot katera koli druga država na svetu v tistem času. Potem je naprej postala Japonska kot vodilna na svetu po proizvedeni sončni energiji do leta 2005, ko je Nemčija prevzel vodstvo. Država se trenutno približuje količini 40.000 MW. Kitajska še naprej pričakuje hitro rast in namerava potrojiti FV zmogljivosti do 70.000MW do leta 2017. Leta 2016 je Kitajska postala največji svetovni proizvajalec fотовoltaične energije [16].

Od danes pa do leta 2020 se napoveduje, da naj bi instalirana moč za več kot dvakrat ali celo trikrat presega 500GW. Do leta 2050 pa se pričakuje, da bi sončna energija postala največji svetovni vir električne energije [16].

Fotovoltaični (FV) trg [18]:

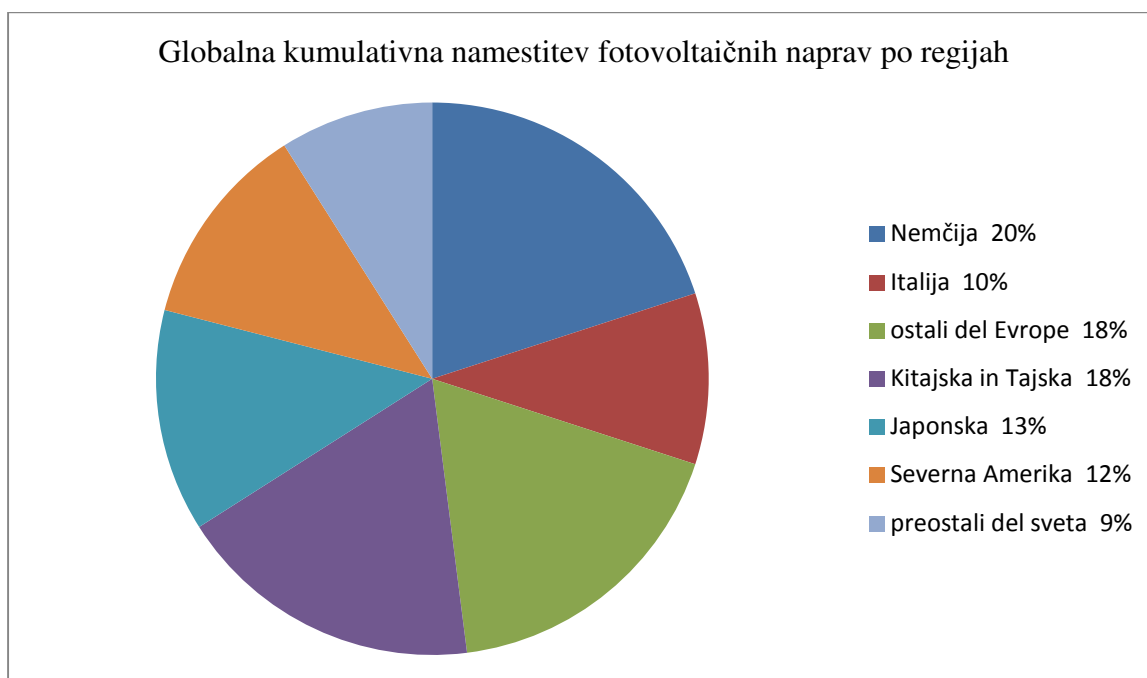
- Fotovoltaika predstavlja rastoči trg: Povprečni letni prirast (ang. = CAGR – Compound Annual Growth Rate) fотовoltaičnih naprave je bil 44% med letoma 2000 in 2014.
- V zvezi s proizvodnjo FV modulov v letu 2014, imata Kitajska in Tajska vodstvo z 69%. Europa je prispevala s 6% deležem; Japonska, ZDA in Kanada pa je vsaka prispevala s 4% deležem.
- V letu 2014 so Evropska prispevanja k skupnim kumulativnim FV napravam znašala 48% (v primerjavi z 58% v letu 2013). V nasprotju s tem, so Kitajske in Tajske naprave predstavljale 17% (v primerjavi s 13% v letu 2013).
- Silicijeve rezine na osnovi FV tehnologije so predstavljale približno 92% celotne proizvodnje v letu 2014. Delež multi- kristalne tehnologije je zdaj približno 56% celotne proizvodnje.
- V letu 2014 je tržni delež vseh tankoslojnih tehnologij znašal približno 9% celotne letne proizvodnje.

Globalna kumulativa fotovoltaične instalirane moči v GWp za posamezno leto.



Slika 32: Globalna kumulativa fotovoltaične instalirane moči do leta 2014 [18].

Legenda:



Slika 33: Globalna kumulativna namestitev fotovoltaičnih naprav po regijah za leto 2014 [18].

Skupek kumulativni naprave je znašal 183GWp konec leta 2014. Vsi odstotki se nanašajo na skupne globalne naprave, vključno z omrežjem sistemov [18].

4.4 Fotonapetostne elektrarne po Svetu

- Sončna energija v Združenih državah vključuje po obsegu sončne elektrarne, kot tudi lokalno porazdeljeno proizvodnjo, večinoma fotovoltaike nameščene po strehah objektov [17].
- Sončna elektrarna Nellis je 14MW fotovoltaična elektrarna, ki se nahaja v vojaškem oporišču Nellis v Clark County, Nevada, severovzhodno od Las Vegasa [17].



Slika 34: Sončna elektrarna Nellis v vojaškem oporišču v ZDA [17].

- Velike fotovoltaične elektrarne v Nemčiji vključujejo Senftenberg Solarni park, Finsterwalde Solarni park, Lieberose Fotovoltaični park, Strasskirchen Solarni park, Waldpolenz Solarni park in Köthen Solarni Park [17].
- Španija je ena od najbolj naprednih držav v razvoju sončne energije, saj je ena od držav z več sončnimi urami v Evropi [17].

Sončna elektrarna Solnova je velika CSP (Concentrated solar power = Koncentrirana sončna energija) elektrarna, sestavljena iz petih ločenih enot; vsaka po 50MW. Objekt je del Solucar kompleksa, v Sanlucar la Mayor, v Španiji, na istem območju, kjer se nahaja tudi PS20 solarni stolp. Z zagonom tretje 50MW enote Solnova - IV avgusta 2010 se elektrarna trenutno uvršča kot največja CSP elektrarna na svetu [17].

Solnova -I, Solnova - III, in Solnova - IV so bile naročene v sredini leta 2010 in so vse ocenjene z inštalirano močjo 50MWe. Vseh pet elektrarn je zgrajenih, v lasti in upravljanju španskega podjetja sončne energije Abengoa Solar [17].

Med največje sončne elektrarne sodijo:

Olmedilla Fotovoltaični park, Španija

Olmedilla fotovoltaični (FV) park uporablja 162.000 ravnih sončnih fotonapetostnih kolektorjev za zagotavljanje 60MW električne energije na sončen dan. Celotna elektrarna je bila zaključena v 15 mesecih po ceni okoli 530 milijonov \$ po takratnih tečajih. Olmedilla je bila zgrajena s silicijevimi sončnimi celicami [19].

Waldpolenz sončni park, Nemčija

Waldpolenz sončni park, ki je največji svetovni tankoplastni fotovoltaični elektroenergetski sistem, ki je zgrajen za vojaško zračno bazo na vzhodu Leipziga v Nemčiji. Uporabljajo 550.000 First Solar

tankoplastnih modulov, ki oskrbuje 40.000MWh električne energije na leto. Investicijski stroški za sončni park Waldpolenz so znašali 130milijonov evrov [19].

4.4.1 Fotonapetostne elektrarne na protihrupnih ograjah po Evropi

Učinkovit način preprečevanja hrupa z uporabo fotonapetostnih modulov je bila prvič prikazana v Švici leta 1989. Kasneje je bila uporabljena rešitev tudi v nekaterih drugih evropskih državah. Različne fotovoltaične protihrupne ograje je mogoče zgraditi ob upoštevanju značilnosti avtoceste, konstrukcijskih zahtev, višine ograje in drugih faktorjev vpliva (okolje itd). Moduli se pritrdijo na glavno ograjo (različni tipi PHO) na različne načine, kot je navpična, nagnjen določen kot, cikcak konstrukcijo itd [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja vzdolž A13 v Švici

Leta 1989 je TNC namestil, vzporedno z avtocesto blizu Churu v Švici, prvo fotovoltaično protihrupno ograjo na svetu, ki se razteza nekaj manj kot kilometer. Več kot 20 let kasneje, sistem še vedno deluje in prinaša več kot 100MWh električne energije letno v javno omrežje [20].



Slika 35: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A13 v Švici [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja ob avtocesti (AC) A9 na Nizozemskem

Velik fotovoltaični (FV) energetski sistem je bil leta 1996 nameščen na protihrupno ograjo na avtocesti A9 blizu Ouderkerk aan de Amstel (Amsterdama) na Nizozemskem. Fotovoltaični sistem je sestavljen iz 2160 modulov. Nazivna moč fotovoltaične elektrarne je 220kW, letni donos pa 176MWh [20].



Slika 36: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A9 na Nizozemskem, [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja ob AC A3 Aschaffenburg v Nemčiji

Fotovoltaični sistem z močjo 2,65MW nameščen na protihrupno ograjo je bil leta 2009 priključen na omrežje [20].



Slika 37: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A3 v Nemčiji [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja ob AC S.S. 434 Transpolesana (Verona – Rovigo) v Italiji.

Fotovoltaični sistem z močjo 833kW nameščen na protihrupno ograjo je bil leta 2010 priključen na omrežje [9].



Slika 38: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC S.S. v Italiji [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja ob AC A92 Freising (Munich) v Nemčiji.

Fotovoltaični sistem z močjo 600kW nameščen na protihrupno ograjo je bil leta 2009 priključen na omrežje [20].



Slika 39: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A92 v Nemčiji [20].

- Fotovoltaična protihrupna ograja ob AC A21 (Foquiere) v Franciji.

Protihrupna ograja, ki proizvajajo električno energijo zaradi nameščenih solarnih panelov, je bila priključena v francoskem domačem omrežju, 1. januarja 2000. Sončna elektrarna, ki je prva te vrste v Franciji, ima nazivno močjo 63kWp. Postavljena je pod pogojem, da jo namesti Total Energie, francoski specialist za sončno energijo [21].



Slika 40: Protihrupna ograja z nameščenim fotonapetostnim sistemom vzdolž AC A21 v Franciji [21].

5 PREDLOGI IZVEDBE FOTONAPETOSTNE (FN) ELEKTRARNE V KOMBINACIJI S PROTIHRUPNO ZAŠČITO (PHZ) V SLOVENIJI

5.1 Namestitev fotonapetostne elektrarne na PHZ

Glede na lokacijo in dolžino zgrajenih protihrupnih ograj v Sloveniji, bi se dalo določiti potencial fotonapetostnih (FN) elektrarn na protihrupnih ograjah, ob slovenskem avtocestnem omrežju. Z različnimi parametri bi lahko določili možnosti izvedbe in oblikovanja FN elektrarn na obstoječih protihrupnih ograjah brez dodatnih prostorskih zahtev ali kasneje na predvidenih – načrtovanih protihrupnih ograjah. Kombinacija fotovoltaičnih modulov in protihrupne ograje je enostavna, saj modularna zasnova protihrupnih elementov omogoča dodatno namestitev fotonapetostnih elektrarn. S pričakovanim donosom določenega potenciala fotonapetostnih elektrarn na protihrupnih ograjah bi lahko z električno energijo oskrbovali celotni avtocestni križ po Sloveniji (kot električna energija za obratovanje samih sončnih elektrarn, razsvetljavo na AC (priključki, bencinski servisi, avtocestne baze, razsvetljavo predorov in prezračevanje le-teh, oskrba pametne signalizacije, itd)).

Prva FN elektrarna v kombinaciji s protihrupno ograjo (nameščena s pomočjo podporne konstrukcije) je bila postavljena leta 1989, v Švici, ob AC A13 blizu Chur-a in še vedno deluje. V naslednjih letih so v Švici realizirali več različnih tipov FN elektrarn v kombinaciji s protihrupno zaščito.

Prva in do danes edina FN elektrarna v kombinaciji s protihrupno ograjo v Sloveniji je bila zgrajena leta 2012, na odseku hitre ceste, med mednarodnim mejnim preходом Vrtojba ter cestninsko postajo Bazara v smeri Vipave. Tovrstna sončna elektrarna v Sloveniji predstavlja referenco za možnosti izkoristka sončne energije na slovenskih avtocestnih protihrupnih ograjah.

5.2 Možnosti namestitve – postavitve fotonapetostnih elektrarn na PHZ

Avtoceste (AC) in hitre ceste (HC) v Sloveniji potekajo okvirno od SV proti JZ (A1, A3, A5 in H6) in v smeri od SZ proti JV (A2, A4 in H4). Večji AC odseki so A1, ki poteka od mejnega prehoda Šentilj do Srmina, odsek A2, ki poteka od predora Karavanke do mejnega prehoda Obrežje, odsek A3, ki poteka od Divače (Gabrk) do mejnega prehoda Fernetiči, odsek A4, ki poteka od Slivnice do mejnega prehoda Gruškovje in odsek A5, ki poteka od Maribora do mejnega prehoda Pinc.

Avtocestni sistem v Republiki Sloveniji

Motorway system in the Republic of Slovenia



Slika 41: AC in HC obstoječe in v gradnji v Sloveniji [22].

Od začetka sprejema Nacionalnega programa izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji (NPIA) pa do danes je bilo v Sloveniji zgrajenih 528km avtocest, hitrih cest in drugih javnih cest [22].

Dolžina zgrajenih protihrupnih ukrepov ob avtocestah, hitrih cestah in drugih javnih cestah je zabeležena za leto 2011 in sicer:

- na omrežju cest v upravljanju DARS d.d. je izvedenih 454 sklopov protihrupnih ograj v skupni dolžini 133,0km, 181 protihrupnih nasipov v skupni dolžini 46,8km in 616 betonskih varnostnih ograj v skupni dolžini 135,8km [23].
- na omrežju cest v upravljanju DRSI (Direkcija Republike Slovenije za Infrastrukturo) (za obravnavane ceste > 3 milijone vozil) je izvedenih protihrupnih ograj v skupni dolžini 11,2km (višina ograj je med 1,0 in 5,0m), protihrupnih nasipov v dolžini 76m (višine 2,5m) in polnih parcelnih ograj v skupni dolžini 8,6km (višine med 0,8 in 4,0m) [24].

Glede na usmerjenost avtocest in hitrih cest v Sloveniji ter znanih lokacij obstoječih protihrupnih ograj lahko okvirno določimo možnosti namestitve fotonapetostnih elektrarn.

V prilogah na koncu diplomske naloge so priložene karte Povprečnega trajanja sončnega obsevanja pridobljene z internetne strani <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/>.

Na kartah je prikazana prostorska porazdelitev povprečnega trajanja obsevanja s soncem, preračunanega na matematični horizont, v posameznem letnem času. Vrednosti na karti so

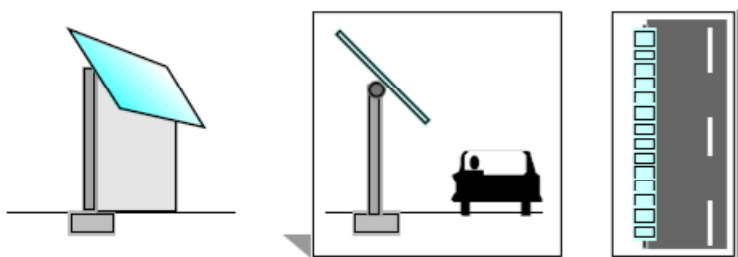
tridesetletna povprečja meritev trajanja sončnega sevanja na 45 opazovalnih postajah za referenčno obdobje 1971–2000 [25].

Iz priloženih kart (priloge na koncu diplomske naloge) je razvidno, da je optimalna postavitev fotonapetostnih elektrarn na območju Obalno – kraške regije in Pomurske regije. Glede povprečnega letnega trajanja obsevanja s soncem lahko v teh dveh regijah z možnostjo postavitve fotonapetostne elektrarne na protihrupno ograjo, le-to maksimalno izkoristimo, s postavitvijo modulov na južno stran (PHO postavljena ob AC ali HC, ki poteka v smeri vzhod – zahod).

Namestitev fotonapetostnih elektrarn je na prvi pogled omejen s postavitvijo na protihrupne ograje, ki so orientirane v smeri vzhod – zahod. Študija o možnostih postavitve fotonapetostnih elektrarn ob avtocesti je bila izvedena v Švici. Pokazala je, da je v večini primerov možna kombinacija protihrupne ograje s fotovoltaiiko. Proti jugu usmerjene fotonapetostne elektrarne predstavljajo prihodkovno optimizirane sisteme, a potencial presenetljivo naraste z vedno bolj zaželenimi fotonapetostnimi elektrarnami postavljenimi na odsekih v smeri sever – jug. To pa omogočajo dvostranske fotonapetostne elektrarne, z moduli obrnjenimi na vzhodno in zahodno stran. S tako postavitvijo se vrhunec prodiranja sončnih žarkov na sončne module ob poldnevu prevesi v obdobje okoli poldneva. Iz tega sledi, da je možna postavitev fotonapetostnih elektrarn ne glede na smerni potek ceste, hitre ceste, avtoceste ali železniške proge.

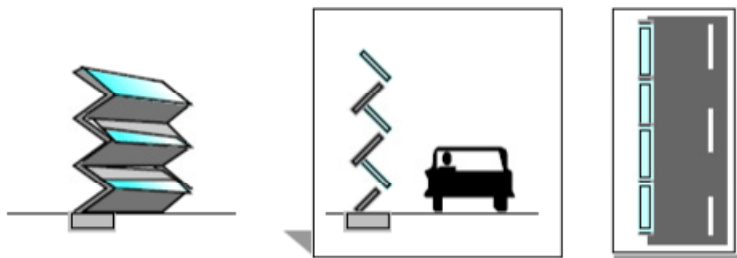
Primeri namestitev FN elektrarn na protihrupne ograje:

Najbolj razširjena je montaža dodatne podkonstrukcije (na že obstoječo protihrupno ograjo), ki omogoča namestitev FN modulov, ki tvorijo fotonapetostno elektrarno.



Slika 42: Primer namestitve fotonapetostne elektrarne na protihrupno ograjo [26].

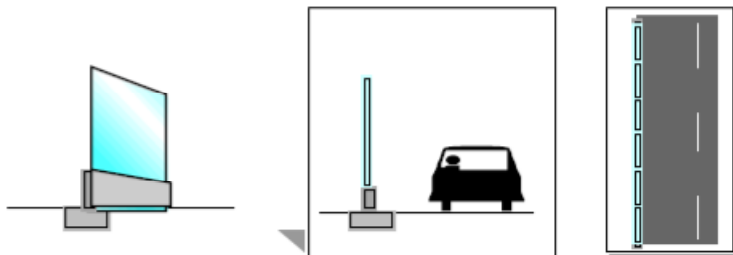
Kombinacije protihrupne ograje in fotonapetostne elektrarne z izvedbo cik – cak vzorca (možnost kot umestitev nove konstrukcije), za boljše izkoriščanje sončne energije (moduli usmerjeni proti soncu) in po drugi strani za boljše absorbiranje protihrupnih elementov (elementi usmerjeni proti izvoru hrupa). Tako oblikovana kombinacija protihrupne ograje in fotovoltaike je ob železniški progi na območju Züricha.



Slika 43: Primer »cik – cak« kombinacije protihrupne ograje s fotonapetostno elektrarno [26].

Kombinacije protihrupne ograje in »dvostranske« fotonapetostne elektrarne (v smeri S – J; usmerjenost FN modulov V – Z). Možnost kombinacije protihrupnih elementov spodaj in

fotonapetostnih modulov zgoraj ali pa prosojni FN moduli v celoti sestavljajo transparentno protihrupno ograjo.



Slika 44: Primer dvostranske fotonapetostne elektrarne kot protihrupna ograja [26].

Dvostranske fotonapetostne elektrarne trenutno predstavljajo drago investicijo, ena od možnosti bi lahko bila namestitev enostranskih FN modulov na vzhodno in zahodno stran in možnostjo izračuna optimalnega naklona od osi za optimalni izkoristek sončne energije, za dano lokacijo.

5.3 Osnove za realizacijo fotonapetostnih elektrarn na PHZ

Pred pričetkom realizacije ideje so potrebni sledeči vhodni podatki:

- ideja o gradnji fotonapetostne elektrarne (v našem primeru v kombinaciji z obstoječo protihrupno ograjo)
- sredstev za realizacijo (nepovratna sredstva, krediti, ...)
- projektni pogoji za priključitev
- izdelava projekta za postavitve fotonapetostne elektrarne ter njeno priključitev
- soglasje za priključitev na omrežje
- priprava izvlečka iz PZI za potrebe razpisne dokumentacije
- dokončanje projekta za izvedbo (PZI)
- razpis za izbiro izvajalca del za posamezne sklope
- postavitve fotonapetostne elektrarne z vsemi potrebnimi pred deli
- izdelava projekta izvedbenih del (PID) in projekta obratovanja in vzdrževanja (POV)
- priključitev fotonapetostne elektrarne na električno omrežje
- tehnični pregled
- uporabno dovoljenje

Pred pričetkom načrtovanja je potrebnih preveriti:

- dostopnost do obstoječe PHO (poraščenost okolice - nedostopnost do PHO)
- preveriti odmik PHO od roba AC, HC, ceste, železniške proge (svetli profil)
- lokacija PHO, (usmerjenost PHO)
- trajanje sončnega obsevanja na izbrano lokacijo in s tem izbira FN modulov (programska orodja za analizo lokacije in načrtovanje)
- vrsta FN sistema (kakšna bo napetost (enosmerna napetost – DC ali izmenična napetost – AC) in električna moč sistema (odvisna od električne moči priključenih porabnikov, zahtev in standardov))
- preveriti stanje obstoječe protihrupne ograje
- statično preveriti obstoječe temeljenje na dodatna obtežbo od 15 do 30kg/m²
- izdelati statično presojo dodatne podkonstrukcije za FN module (obtežba od 15 do 30kg/m²)
- preveriti možnosti priključitve na omrežje – bližina transformatorske omarice

- presoja o požarni varnosti
- zaščita pred strelo
- itd.

5.4 Predlog in namen postavitve fotonapetostne elektrarne na PHO v Sloveniji

Namen postavitve

Trenutno najhitreje razvijajoča gospodarska panog na svetu je fotovoltaična industrija. Po eni strani je razumljivo, saj razpolaga z neomejenim kapitalom, ki načeloma ne bo usahnil (dotekal bo še najmanj milijon let in več) in to je sončna energija. Sonce pošlje na Zemljo toliko energije, da je človeštvo ne more porabiti. Iz tega vidika je razumljivo, da lahko rečemo, da je to energija prihodnosti.

Kot že navedeno je po Sloveniji postavljenih več manjših in večjih FN elektrarn, ki uspešno delujejo. Od leta 2012 pa imamo tudi prvo FN elektrarno, ki je bila postavljena skupaj s protihrupno ograjo. Tovrstna sončna elektrarna v Sloveniji predstavlja referenco za možnosti izkoristka sončne energije na slovenskih avtocestnih protihrupnih ograjah in je lahko povod za nadaljnjo simbiozo med protihrupno ograjo in FN elektrarno.

V Sloveniji je veliko protihrupnih ograj (133km v upravljanju DARS ter 11km v upravljanju DRSI) in se še gradijo. Mnoge od teh bi lahko predstavljale osnovo za postavitev FN elektrarne.

Možnost postavitve

Za optimalno postavitev FN elektrarne v kombinaciji s protihrupno ograjo se šteje orientacija modulov proti južni strani in z naklonom modulov od 30° do 35°. Naklon je odvisen od lokacije in nadmorske višine. V primeru, da je lokacija v nižini, kjer se pozimi pojavlja megla, se za glavni izplen sončne energije upošteva obdobje od aprila do oktobra (sončni žarki imajo višji vpadni kot, zato se za postavitev upošteva kot do 30°). Ko pa je lokacija višje nad morjem in kjer megla ni pogosta, potem se izplen sončne energije upošteva skozi celo leto (predvsem pa pomladi in jeseni, ko je vpadni kot sonca nižji, zato se v tem primeru upošteva kot postavitve 35°).

Poleg tega je možna tudi vgraditev FN modulov v vertikalni smeri in možnostjo izkoriščanja obeh strani sonca, tako imenovanih dvostranskih fotonapetostnih elektrarn (hkrati tudi delno transparentne), z moduli obrnjenimi na vzhodno in zahodno stran. S tako postavitvijo se vrhunec prodiranja sončnih žarkov na sončne module ob poldnevu prevesi v obdobje okoli poldneva in dosežejo enake energetske donose kot optimalno proti jugu obrnjeni moduli.

Predlog lokacije

Za postavitev fotonapetostne elektrarne bi predlagal AC A1 Šentilj – Srmin, na odsekih A1/0018 Ljubljana (Dolenjska - Barjanska) in A1/0017 (Barjanska - Vič) oziroma poznana kot južna ljubljanska obvoznica. Na južni ljubljanski obvoznici v smeri od razcepa Malence do razcepa Kozarje so trije odseki obstoječe protihrupne ograje.

Prvi odsek je kombinacija lesene in kovinske absorpcijske PHO (starejša) na AB točkovnih temeljih na bankini v dolžini okoli 550m in dva odseka lesene absorpcijske PHO (novejša - obnovljena) na betonski varnostni ograji (BVO) ob desnem robu vozišča okoli priključka Center v skupni dolžini okoli 965m.

Predlog izvedbe

1/ Postavitev FN elektrarne na obstoječo protihrupno ograjo

Na teh treh odsekih bi se na obstoječo konstrukcijo po predhodni statični presoji pritrdilo dodatno pod konstrukcijo, v naklonu do 30° nad obstoječo PHO usmerjeno proti južni strani za izbrane solarne module, ki bi tvorili FN elektrarno.

2/ Postavitev FN elektrarne na obstoječo (novejšo) protihrupno ograjo in obnova (starejše) protihrupne ograje in nadgraditev s FN elektrarno

Na prvem (starejšem) odseku bi se po predhodnem ogledu dotrajane lesene in kovinske protihrupne panele zamenjalo z novimi. Izdelalo bi se statično presojeno obstoječih točkovnih temeljev za novo protihrupno ograjo kombinirano s FN elektrarno in temelje po potrebi ojačili. Izdelalo bi se načrt za novo leseno protihrupno ograjo (kot že obnovljena) s HEA stebrički pripravljenimi za FN panele (v naklonu do 30°) nad PHO usmerjenimi proti južni strani za izbrane solarne module, ki bi tvorili FN elektrarno.

Na dveh (novejših) odsekih pa bi se na obstoječo konstrukcijo po predhodnem statični presoji namestilo dodatno pod konstrukcijo, v naklonu do 30° nad obstoječo PHO usmerjeno proti južni strani za izbrane solarne module, ki bi tvorili FN elektrarno.

Namen in rezultat

Z ustrezno spodbudo (državne subvencije in politično naklonjenostjo) k izkoriščanju sončne energije bi le to pripomoglo k ponovni rasti trga in padanju cen samih investicij zaradi večje proizvodnje in s tem večje ponudbe fotovoltaičnih modulov. Cene modulov naj bi se po statistiki še naprej zniževale in glede na to, da bo cena elektrike pridobljene iz fosilnih goriv še naprej rasla, bi država morala nekako spodbuditi uporabo sončne energije in drugih obnovljivih virov. Tako bi lahko FV elektrarne v poletnih mesecih, ko je vodostaj rek nižji, s svojo proizvodnjo razbremenile hidroelektrarne.

Možnosti postavitve fotovoltaične elektrarne na protihrupnih ograjah bi se lahko pripravilo v študiji za posamezna območja po Sloveniji, kjer bi sodelovali različni strokovnjaki za izračune sončnega sevanja, določitev potencialov in izdelavo kart možnosti postavitve in usmeritve posameznih FN elektrarn. Fotonapetostne elektrarne bi tako razširili iz streh objektov ob avtoceste in železnice, kar predstavlja ekonomično rešitev brez dodatne uporabe zemljišča. S tem lahko povečamo delež obnovljivih virov na področju trga z električno energijo. Na možnost izvedbe študije pa vpliva tudi odnos do fotovoltaike kot vira energije.

Novi projektni razpisi (načrtovanja novih cest in spremljajočih objektov, obnov cest, ...) bi lahko vključevali možnosti postavitve FN elektrarne v kombinaciji s postavitvijo nove protihrupne ograje ali pri obnovi dotrajane protihrupne ograje in tako omogočili postavitve sončnih elektrarn ob AC in HC, morda kasneje tudi ob Državnih cestah.

Zasebnim in javnim investitorjem v FN elektrarne bi tako prihranili iskanje možnih lokacij. Pri postavitvi novih PHO ali pri obnovi obstoječih PHO pa lahko pride do zmanjšanja stroškov (5-10%) v sodelovanju z zasebnimi investitorji v FN elektrarne.

Elementi protihrupnih ograj imajo garancijo 20 let, življenjska doba pa je tudi do 35 let, prav tako za fotonapetostne module znaša garancija 20 let. Po 20 letih pa električna energija ne bo takoj upadla, možno delovanje bo še od 5 do 10 let.

Z novo postavljenimi kombinacijami protihrupnih ograj in FN elektrarn bi lahko z analizami predstavili prednosti simbioze. S pozitivnim odzivom bi z večjimi projekti opremljali obstoječe ali nove PHO s FV in s tem oskrbovali infrastrukturo vzdolž avtocest (kot električna energija za obratovanje samih sončnih elektrarn, razsvetlavo na AC (priključki, bencinski servisi, avtocestne baze, razsvetlavo predorov in prezračevanje le-teh, oskrba pametne signalizacije, itd)).

6 ZAKLJUČEK

Fotonapetostna energija je ena od naprednejših oblik uporabe energije. Njen potencial je zniževanje stroškov in skupaj z drugimi obnovljivimi viri energije omogoča prispevati k ohranjanju energetskega virov. Delovanje fotonapetostnih elektrarn je tiho, vizualno nemoteče in ne potrebujemo dodatnih goriv, tako da so okolju prijazne.

V Sloveniji je že veliko objektov z nameščenimi fotonapetostnimi elektrarnami, tako, da na tem področju ne zaostajamo. Soproizvajalci in proizvajalci električne energije iz OVE energije, ki ustrezajo veljavnim predpisom in zakonom, pridobijo status kvalificiranega proizvajalca in določene ugodnosti. Za postavitev fotonapetostnih elektrarn lahko izkoristimo obstoječe objekte, tudi protihrupne ograje ali brežine vkopov ob AC in HC po Sloveniji in ni potrebno iskati nove lokacije.

Mnogi očitajo fotovoltaiiki previsoke proizvodne stroške električne energije, kot so pri nekonvencionalnimi energetskimi virih (vodna energija, zemeljski plin, premog, jedrska goriva, ...). Vendar se FN elektrarne amortizirajo v 15 letih, medtem ko se ostale elektrarne amortizirajo šele v 40 do 50 letih. To naj ne bi bilo res, v resnici naj bi bile že konkurenčne.

Za uspešen razvoj bi potrebovali industrijsko politični cilj razvoja močne in mednarodno uspešne slovenske industrije. Poleg tega pa bi bilo potrebno spodbujati vlaganja v razvoj fotovoltaike in ostalih obnovljivih virov energije, da bi fotovoltaika ponovno zaživela. Namreč gre za revolucionarno tehnologijo, z velikim tehnološkim in komercialnim potencialom. Če pogledamo nazaj v začetke fotovoltaike vidimo, da so cene FN modulov močno padle. Pri trenutni rasti trga pa proizvodna cena sončne električne energije vsako leto upada. Zato postaja fotovoltaika proti drugim virom energije (ki postajajo težje dostopni in dražji) bolj konkurenčna. Cilj Evrope je, da bi fotovoltaika postala poglavitni vir električne energije, vendar s podporo politike in industrije, ki naj bi imeli skupen cilj. Skupno sodelovanje bi omogočilo nadaljnji razvoj fotovoltaične industrije in s tem odprlo nova delovna mesta in predvsem energetsko neodvisnost v Evropi. Energetska oskrba bi bila prijazna okolju, zmanjšali bi izpust CO₂ in s tem bi upočasnili podnebne spremembe.

Sončna energija je na razpolago, zato bi bilo škoda, da se je ne bi bolj izkoriščalo. Obnovljivi viri energije so prihodnost, zato kratkoročni plani in pogoste spremembe v FV politiki niso koristne. To zavira dinamiko samega trga in potrebno bi bilo ponovno zaživeti FV trg, da bi začel naraščati.

VIRI

- [1] Protihrupna ograja: https://sl.wikipedia.org/wiki/Protihrupna_ograj (Pridobljeno 22. 2. 2016.)
- [2] Protihrupna ograja: https://en.wikipedia.org/wiki/Noise_barrier (Pridobljeno 22. 2. 2016.)
- [3] Uredila: Živana Mejač, vsebina: dr. Tomaž Maher dipl. inž. gradb., Mednarodni seminar, 1994, Načrtovanje in izbor variant daljinskih cest s poudarkom na presojah vplivov na okolje. Portorož, ADOZ tisk d.o.o., Hrup ob cestah in zaščita pred njim: str. 136 do 144.
- [4] Pripravi: Evstahij Drmota, april 1998, Protihrupne ograje ob avtocestah (za potrebe izvedbe razpisov in izvedbe del je pripravo smernic Protihrupne ograje ob AC, organizirala, izdala in založila DDC; Družba za državne ceste), Ljubljana, 3 Mejne vrednosti: str. 9 do 10.
- [5] Protihrupna ograja: <http://www.petric.si/protihrupne-in-protivetrne-ograje/alu-protihrupni-panel> (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [6] Protihrupna ograja: <http://www.stavbar-igm.si/sl/protihrupne-ograje> (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [7] Protihrupna ograja: http://www.imont.si/p4-29-229-protihrupna_ograj (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [8] Protihrupna ograja: <http://www.akripol.si/znamke/soundstop/akripol-soundstop-paneli/panel-v-kovinskem-okvirju/> (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [9] Protihrupna ograja: <http://www.phs.si/galerija/galerija.html> (Pridobljeno 6. 6. 2016.)
- [10] Denis Lenardič, 2012, Fotonapetostni sistemi, Druga dopolnjena in razširjena izdaja, Priročnik. Ljubljana, Agencija POTI, d.o.o., 3 Fotonapetostne celice: str. 47 do 65.
- [10.1] Grafični prikaz kaj je »modul« in kaj je »string« oziroma polje: http://www.eti.si/images/userfiles/sl-SI/documents/media/zascita_enosmernih_tokogrogov.pdf (Pridobljeno 10. 6. 2016.)
- [11] Slovenski PV portal; Sončne elektrarne v Slovenij: <http://pv.fe.uni-lj.si/SEvSLO.aspx> (Pridobljeno 19. 5. 2016.)
- [12] Slovenski PV portal; Pregled fotovoltaičnega trga v Slovenij: http://pv.fe.uni-lj.si/files/Pregled_fotovoltaičnega_trga_v_Sloveniji_2013.pdf (Pridobljeno 19. 5. 2016.)
- [13] mag. Drago Papler. 2012. Osnovne uporabe Solarnih toplotnih in fotonapetostnih sistemov, Ljubljana, Energetika Marketing d.o.o., 11.4 Fotonapetostne elektrarne v praksi: str. 449, 459, 472 do 473, 482 in 506.
- [14] Aktivna protihrupna zaščita s sončno elektrarno na hitri cesti H4 Razdrto - Vrtojba. 2016: <http://www.provia.si/> (Pridobljeno 21. 3. 2016.)
- [15] Evropski projekti; Sončna elektrarna na protihrupni ograji: <http://www.mojabocina.si/semper-vrtojba/novice/evropski-projekti/soncna-elektrarna-na-protihrupni-ograj.html> (Pridobljeno 14. 3. 2016.)
- [16] Growth of photovoltaics: https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics (Pridobljeno 20. 5. 2016.)

-
- [17] Growth of photovoltaics:
https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country (Pridobljeno 20. 5. 2016.)
- [18] Photovoltaics report world:
<https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf> (Pridobljeno 19. 5. 2016.)
- [19] Top 5 Largest Solar Power Plants of the World:
<http://www.solarinsure.com/largest-solar-power-plants> (Pridobljeno 20. 5. 2016.)
- [20] Photovoltaic Noise Barriers:
<http://sunenergysite.eu/en/pvpowerplants/noisebarriers.php> (Pridobljeno 3. 5. 2016.)
- [21] PV Highway Noise Barriers:
<http://www.angelfire.com/va/pkleeman/pv/> (Pridobljeno 23. 5. 2016.)
- [22] Avtocestni sistem v Republiki Sloveniji:
[http://www.dars.si/Dokumenti/2 AC HC v gradnji in obstojece/AC%20sistem%202015 ve lika.jpg](http://www.dars.si/Dokumenti/2_AC_HC_v_gradnji_in_obstojece/AC%20sistem%202015_ve_lika.jpg) (Pridobljeno 26. 5. 2016.)
- [23] Izvedba obratovalnega monitoringa obremenitve s hrupom za omrežje cest, ki so v upravljanju DARS d.d. (JV PNZ d.o.o., Epi Spektrum d.o.o., A-Projekt d.o.o., št. 12-1466, januar 2014, dopolnjeno maj 2014), (Pridobljeno od DRI upravljanje investicij d.o.o., 30. 5. 2016.)
- [24] Obratovalni monitoring hrupa za ceste z več kot 3 mio. prevozov vozil letno, ki so v upravljanju Direkcije Republike Slovenije za ceste (JV Epi Spektrum d.o.o. & PNZ d.o.o. & A-Projekt d.o.o., št. 2012-008/MONI, september 2013 – dopolnjeno december 2013), (Pridobljeno od DRI upravljanje investicij d.o.o., 30. 5. 2016.)
- [25] Sončno obsevanje v Republiki Sloveniji:
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/> (Pridobljeno 11. 5. 2016.)
- [26] Drei integrierte PV-Schallschutz Versuchsfelder.pdf (Pridobljeno 11. 4. 2016.)

Ta stran je namenoma prazna.

SEZNAM PRILOG:

PRILOGA A: SONČNO OBSEVANJE (vir: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/>)

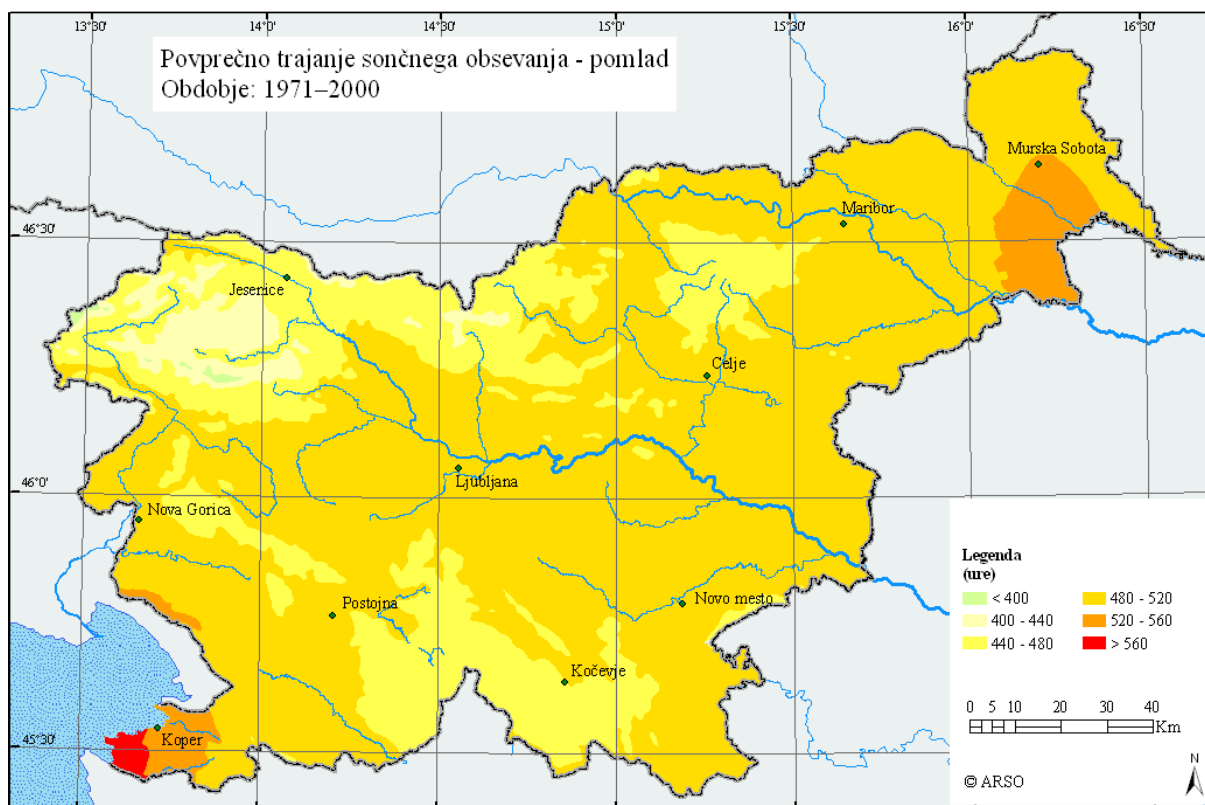
PRILOGA A1: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA SPOMLADI (1971 – 2000)

PRILOGA A2: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POLETI (1971 – 2000)

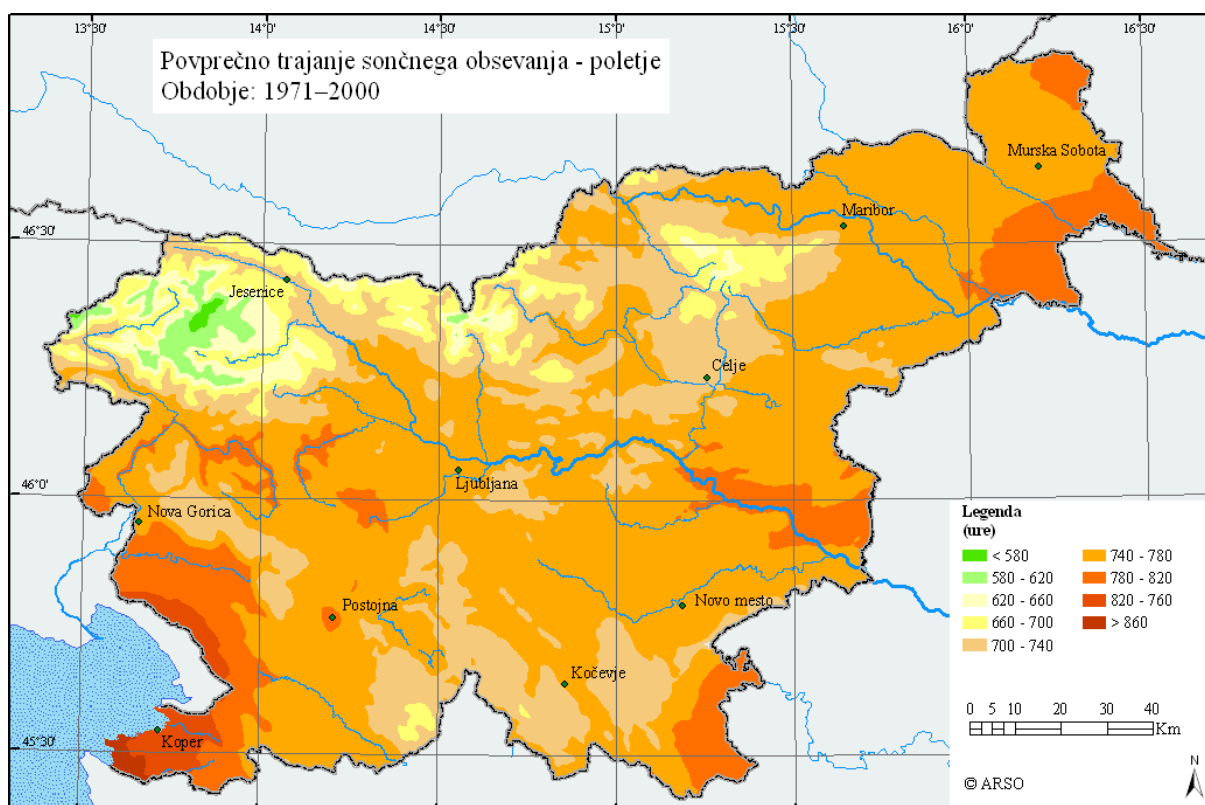
PRILOGA A3: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA JESENI (1971 – 2000)

PRILOGA A4: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POZIMI (1971 – 2000)

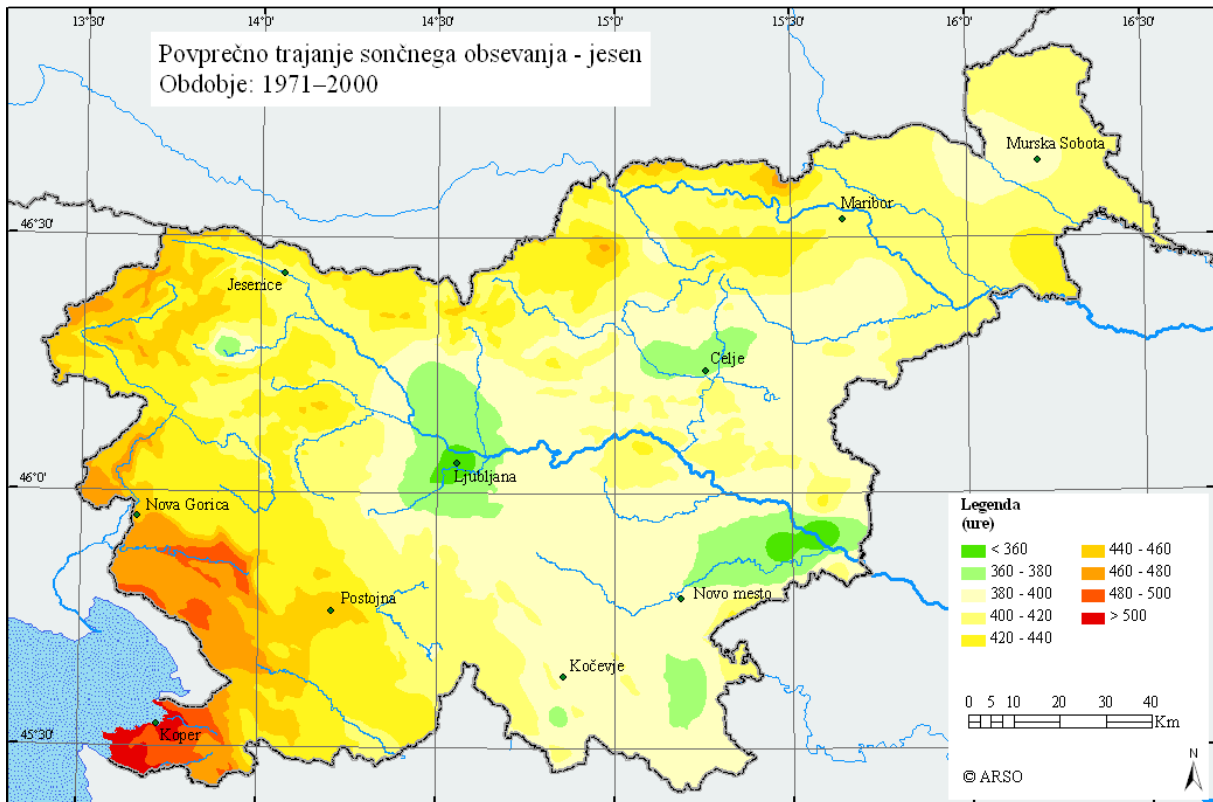
PRILOGA A1: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA SPOMLADI (1971 – 2000)



PRILOGA A2: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POLETI (1971 – 2000)



PRILOGA A3: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA JESENİ (1971 – 2000)



PRILOGA A4: POVPREČNO TRAJANJE SONČNEGA OBSEVANJA POZIMI (1971 – 2000)

