

Moderni pristopi za spremljanje obratovanja in vzdrževanja sončnih elektrarn

SLO-PV 2025: 18. junij 2025

Kristijan Brecl, Matevž Bokalič

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

Laboratorij za fotovoltaike in optoelektroniko

Kazalo

Vzdrževanje sončnih elektrarn:

- Vizualni pregledi
- Analiza donosa
- Odkrivanje napak

Metode analize delovanja sončnih elektrarn:

- Fotoluminiscenca
- Elektroluminiscenca
- Termovizija
- UV fluorescenca



Delovanje sončne elektrarne



Spremljanje delovanja sončne elektrarne

Motivacija

Kaj potrebujemo?

- natančno in pametno analizo učinkovitosti SE
- avtomatsko zaznavanje napak
- oceno „popravljivosti“ SE, za zmanjševanje izgub

$$LCOE \left(\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right) = \frac{\text{Investicija} + O\&M}{\text{energijski izplen v življenjski dobi}}$$

Primer:

Sončna elektrarna: 10 MW
Cena el. energije: 0.05 €/kWh
Proizvodnja: 12 GWh/leto
Prihodek: 600.000 €/leto

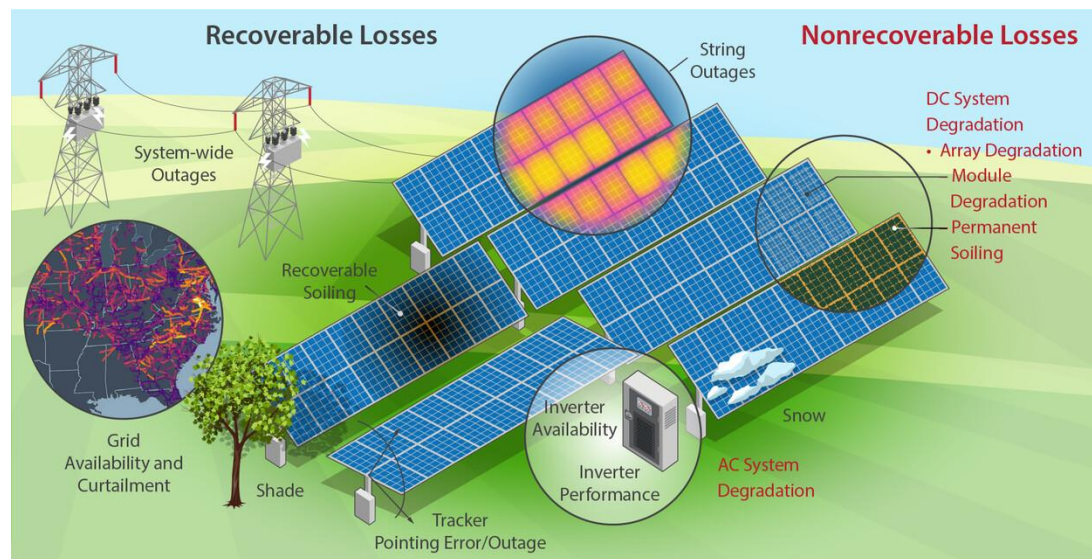


5 % povečanje/zmanjšanje donosa

30.000 €/leto

Spremljanje delovanja sončne elektrarne

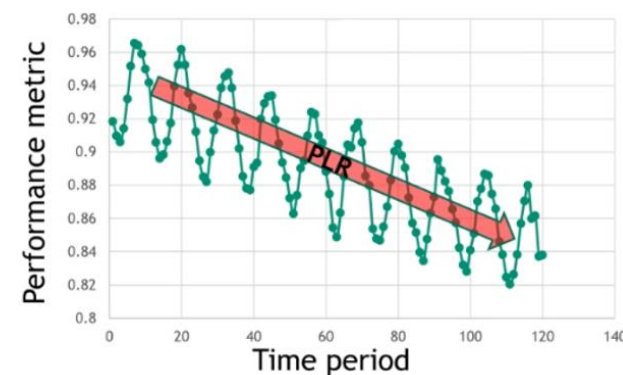
Iskanje napak



$$\text{PLR (\%/leto)} = R_d + \text{ostali faktorji}$$

Običajna praksa v industriji

- Linearna stopnja izgube učinkovitosti (PLR) v %/leto
- Enaka stopni degradacije (R_d)
- Realne stopnje degradacije in izgub neznane



Vir: M. G. Deceglie, <https://doi.org/10.1002/solr.202300196>, M. Theristis: Degradation and performance loss rates in photovoltaics, UJA, 2024

Analiza delovanja sončnih elektrarn

Parametri vrednotenja sončnih elektrarn

Parametri vrednotenja:

- Energijski izplen

$$Y = \frac{E}{P_{STC}}$$

- Faktor učinkovitosti

$$PR = \frac{E}{E_n} = \frac{E}{\sum \eta_{STC} \cdot G \cdot \Delta t}$$



Y – razmerje med proizvedeno energijo in nazivno močjo sončne elektrarne



odvisen od sončnega obsevanja in temperature

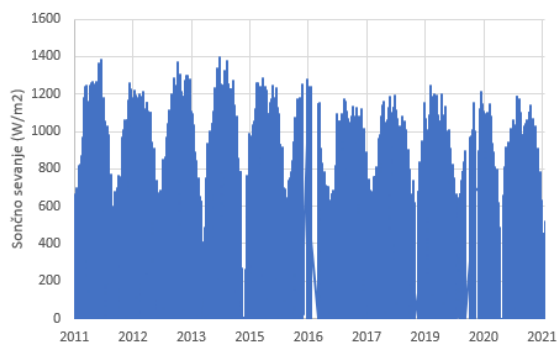
PR – razmerje med proizvedeno energijo in energijo, ki bi jo elektrarna proizvedla pri nazivnem izkoristku



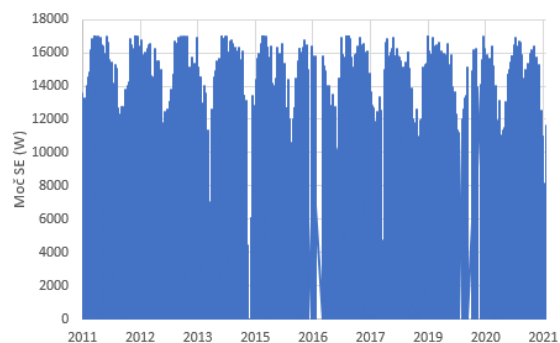
neodvisen od sončnega obsevanja; PR^T neodvisen tudi od temperature



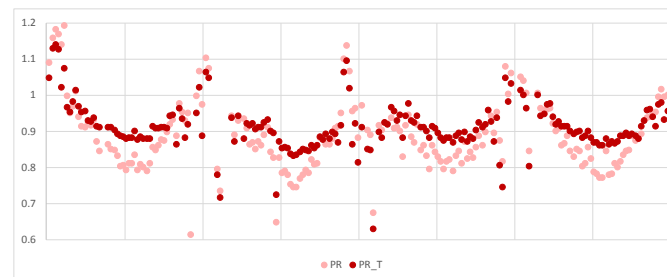
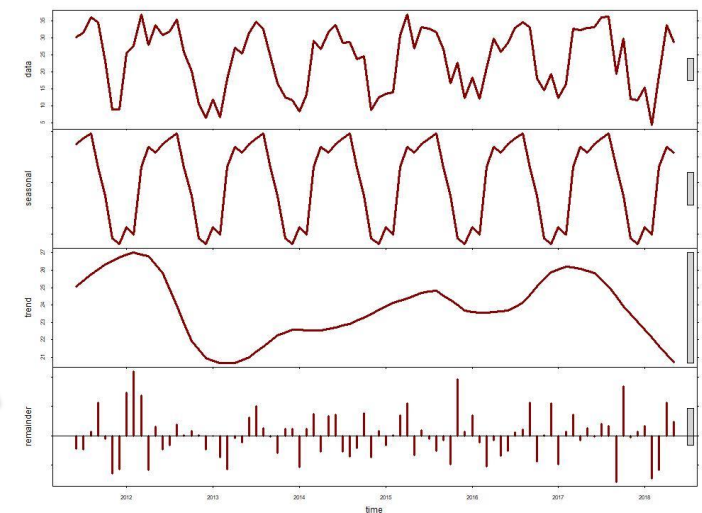
Vhodni podatki



Izhodni podatki

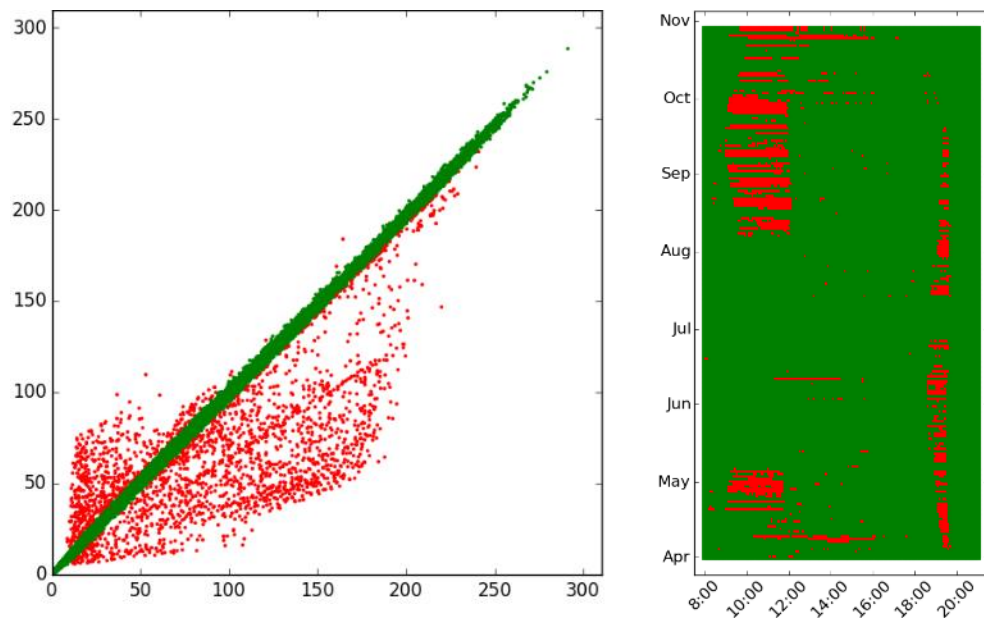


Agregacija: dnevna, mesečna

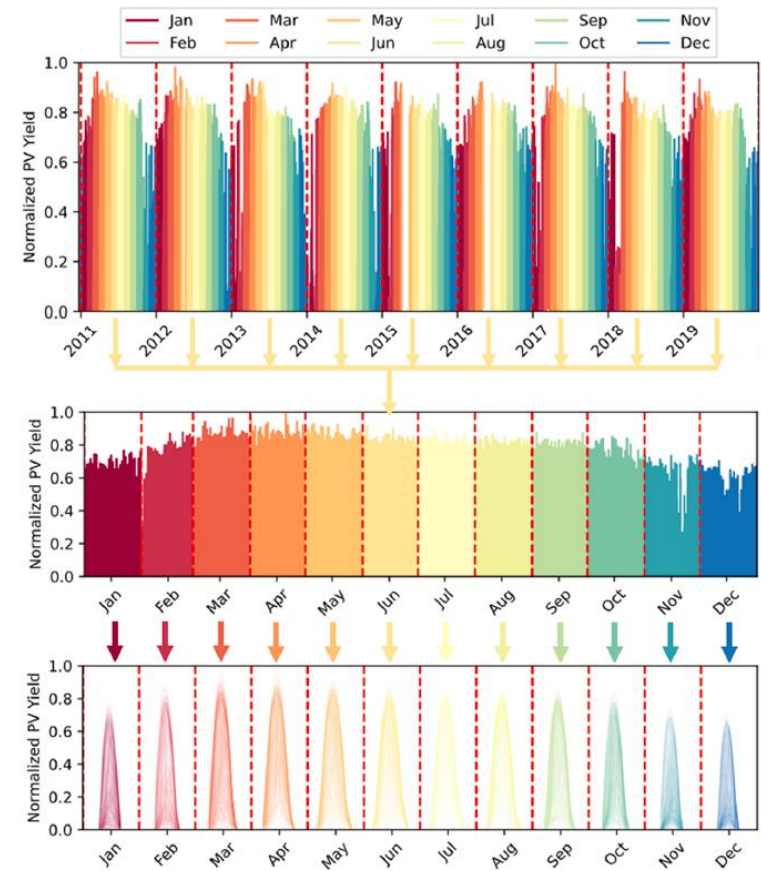
Dekompozicija:
trendi, sezonski vpliv, ostanek

Analiza delovanja sončnih elektrarn

Empirični modeli



Odysseas Tsafarakis, PEARL-PV WG 1: PV Monitoring, Lisbon, 27/2/2019



Typical Daily Profiles, a novel approach for photovoltaics performance assessment: Case study on large-scale systems in Chile
Julián Ascencio-Vásquez, Juan Carlos Osorio-Aravena, Kristijan Brecl, Emilio Muñoz-Cerón, Marko Topič, Solar Energy, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.007>

Analiza delovanja sončnih elektrarn

Umetna inteligenca

Solar Energy

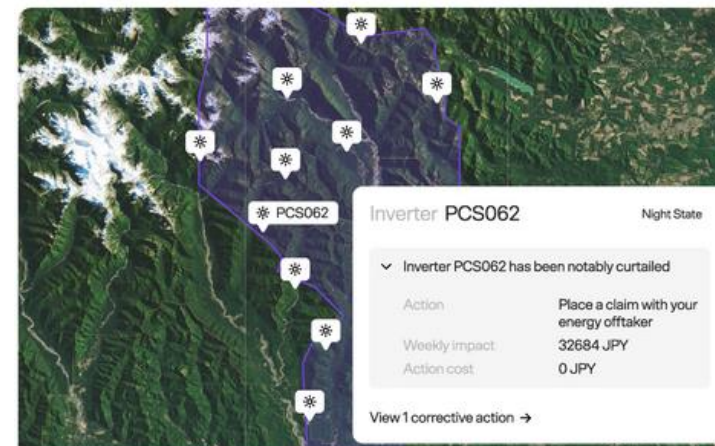
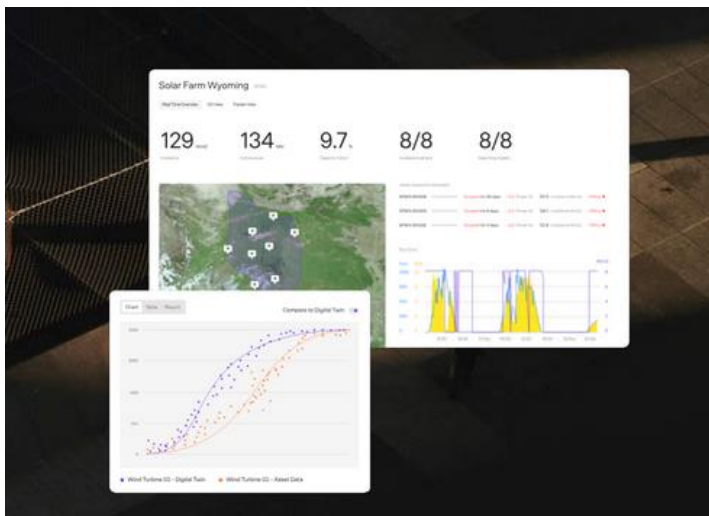


Artificial Intelligence



=

Increase in Efficiency



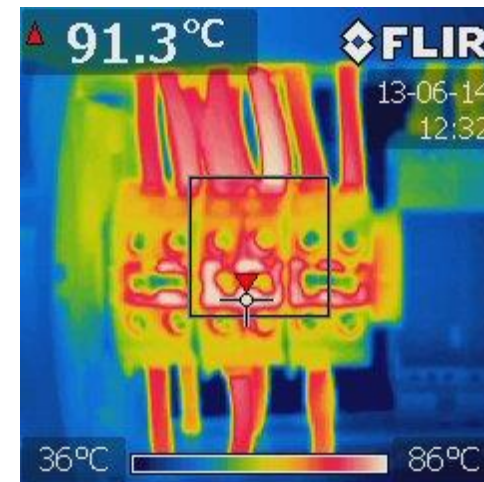
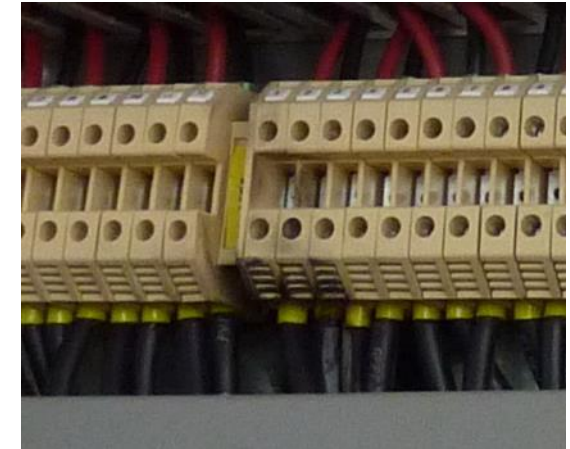
Vir: Univers, LinkedIn

Pregledi sončnih elektrarn



Pregledi sončni elektrarn

Poškodbe na električni napeljavi



Pregledi sončnih elektrarn



Metode pregleda delovanja PV modulov:

- Termovizija – IR
- Elektroluminiscenca – EL
- Fotoluminiscenca – PL
- UV fluorescenca

Pregledi sončnih elektrarn

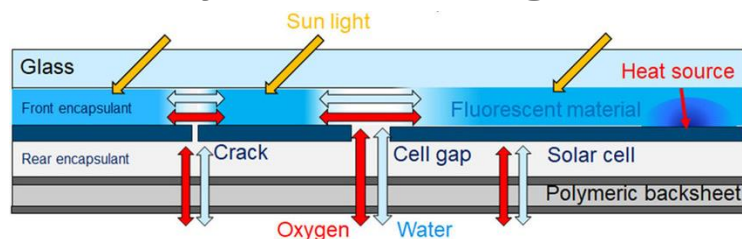
Slikovne metode

Termovizija:

- infrardeče sevanje
- razlike v temperaturi

UV fluorescenca:

- sevanje fluorescenčnega materiala

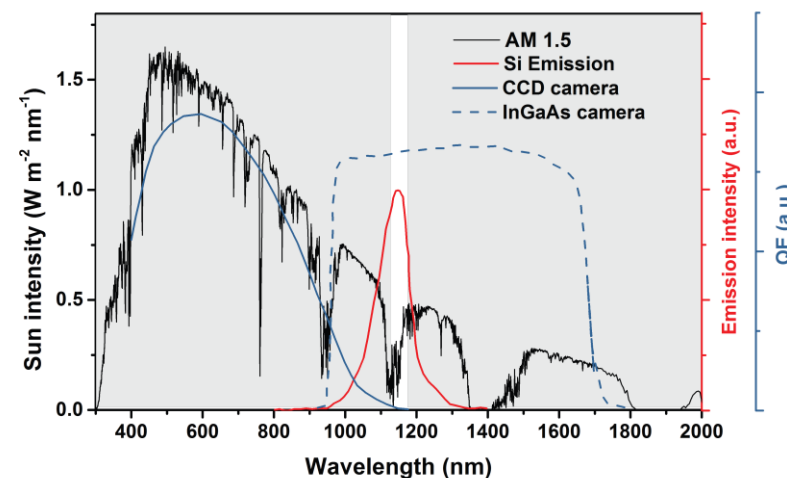


Elektroluminiscenca:

- potrebno električno napajanje modulov
- sončna celica oddaja svetlobo

Fotoluminiscenca:

- potrebno vzbujanje sončne celice s svetlobo
- sončna celica oddaja svetlobo



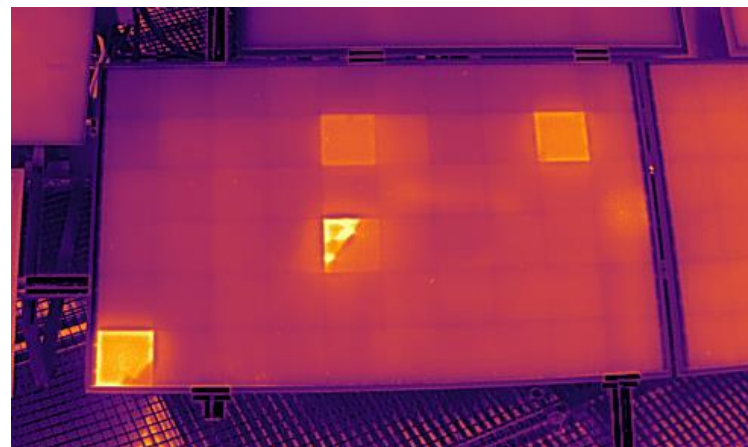
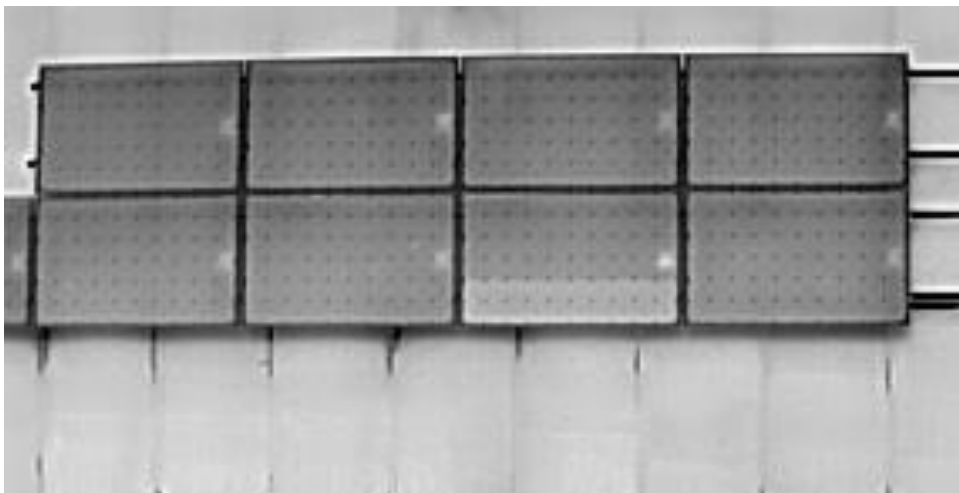
M. Köntges, IFSH

N.Riedel, DTU

Pregledi sončnih elektrarn

Termovizija celotne SE z droni

nedelujoč niz v modulu (substring)

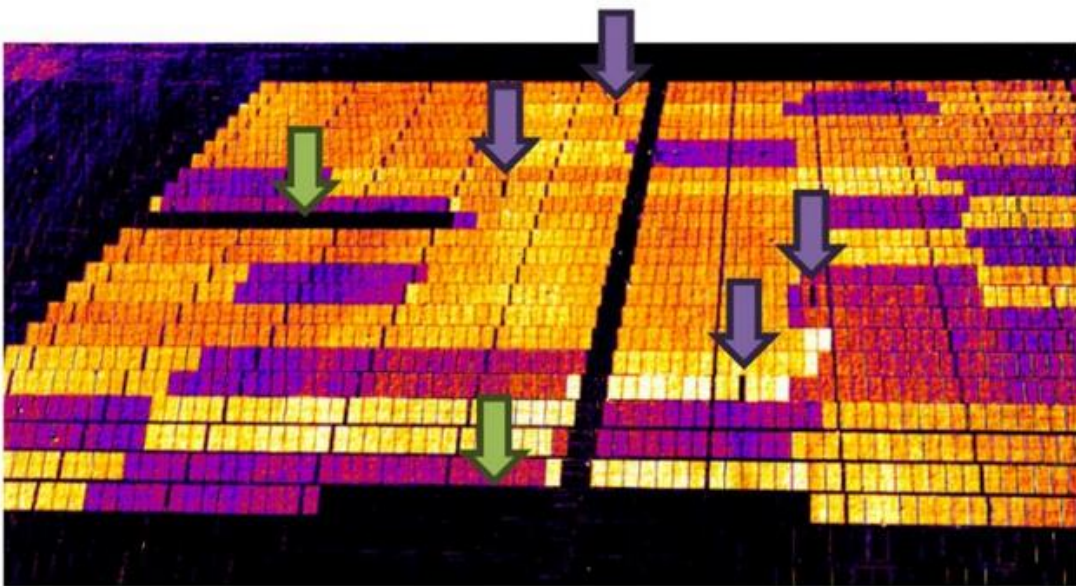


pregrevanje celic

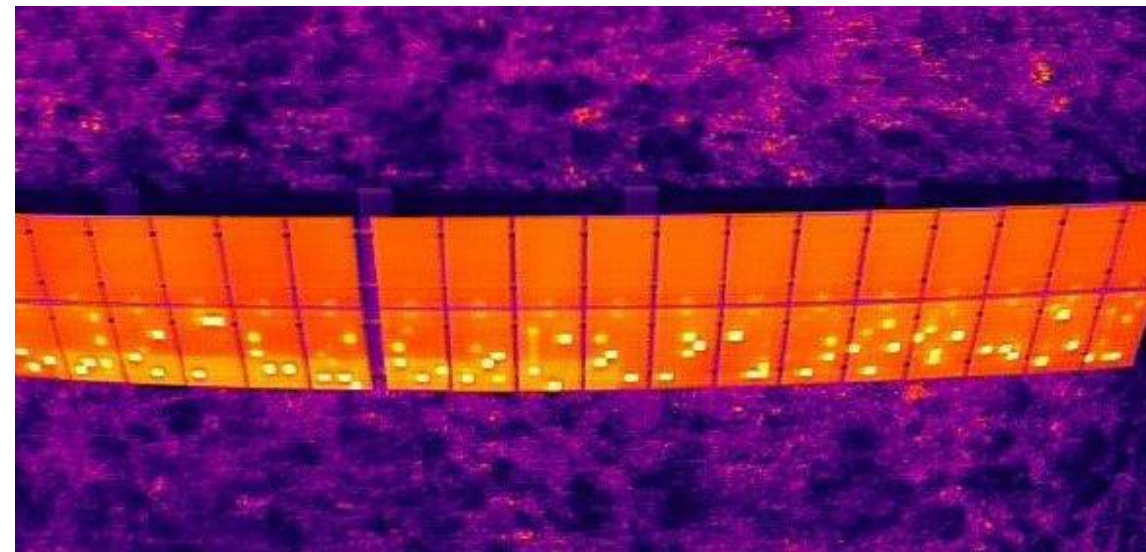


Pregledi sončnih elektrarn

Termovizija celotne SE z droni



Vir: UNSW Sydney



Vir: Plan-net d.o.o.

Senčenje sončnih elektrarn

Vpliv senčenja



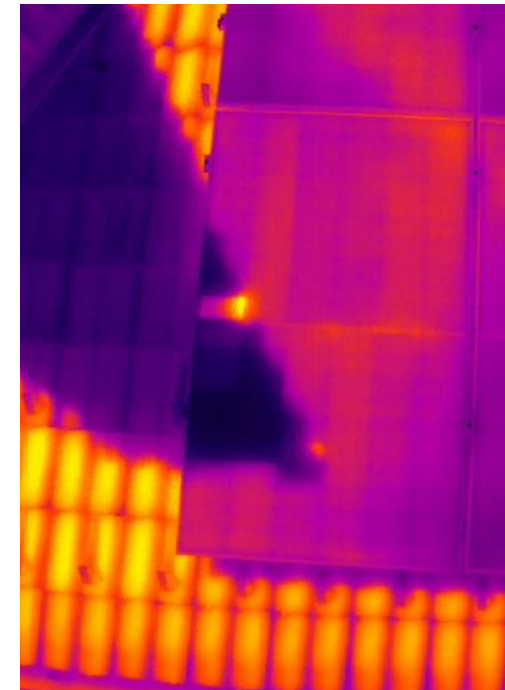
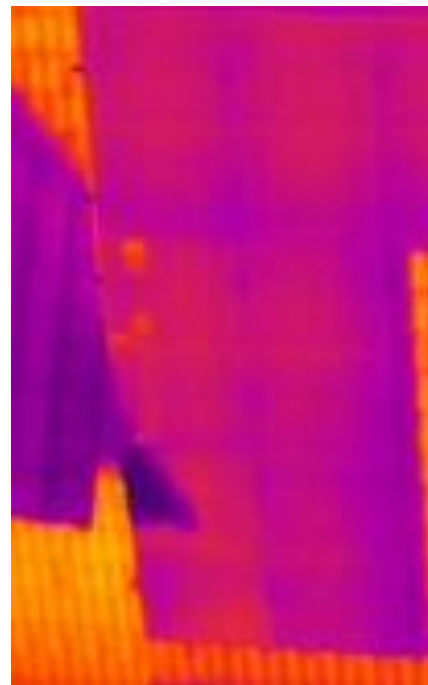
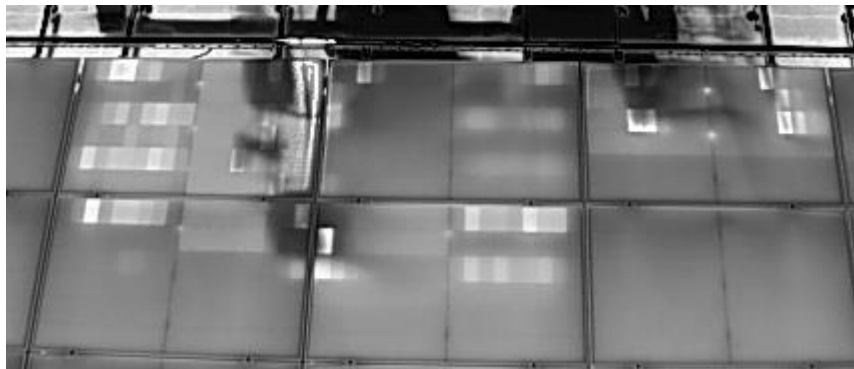
<https://surple.co.uk>



<https://www.alternative-energy-tutorials.com>

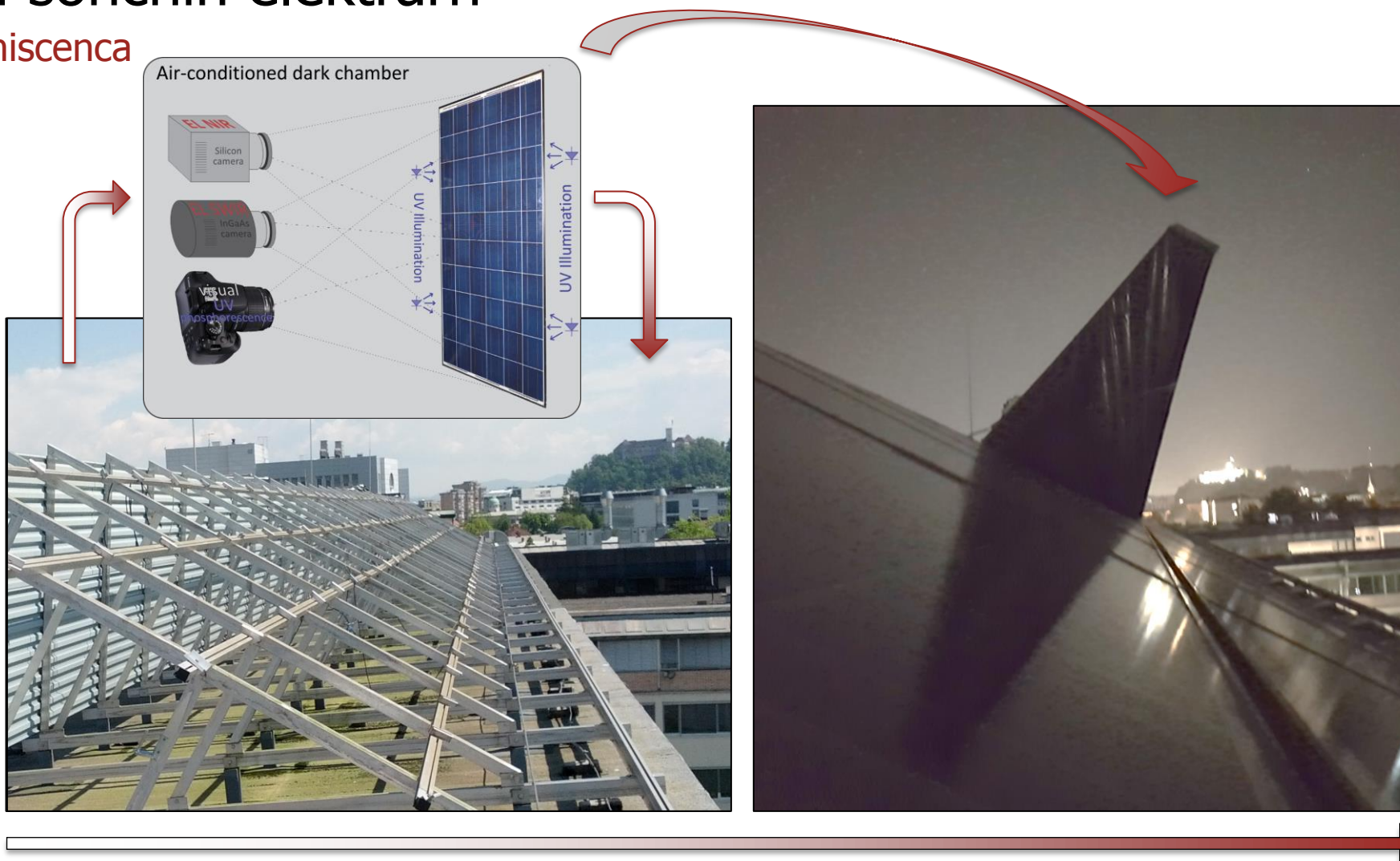
Pregledi sončnih elektrarn

Termovizija – vpliv senčenja



Pregledi sončnih elektrarn

Elektroluminiscenca



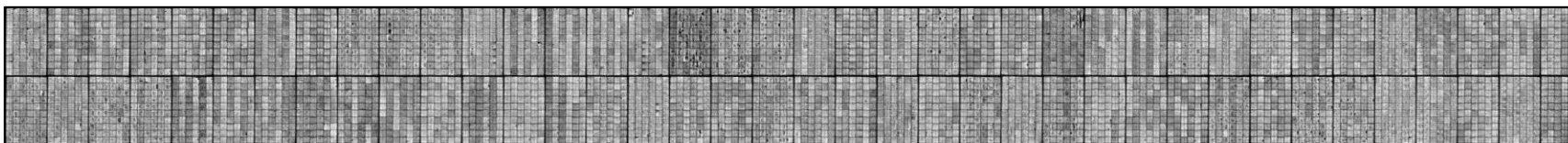
• • • • • 2010 • • • • • 2016 • • • • • 2018 • • • • •

Pregled sončnih elektrarn

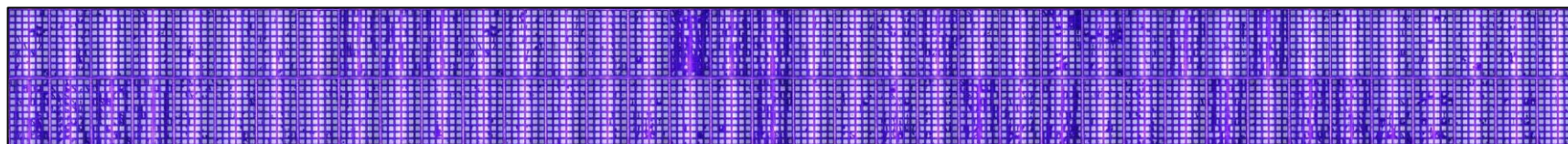
Vizualna slika



Elektroluminescenca

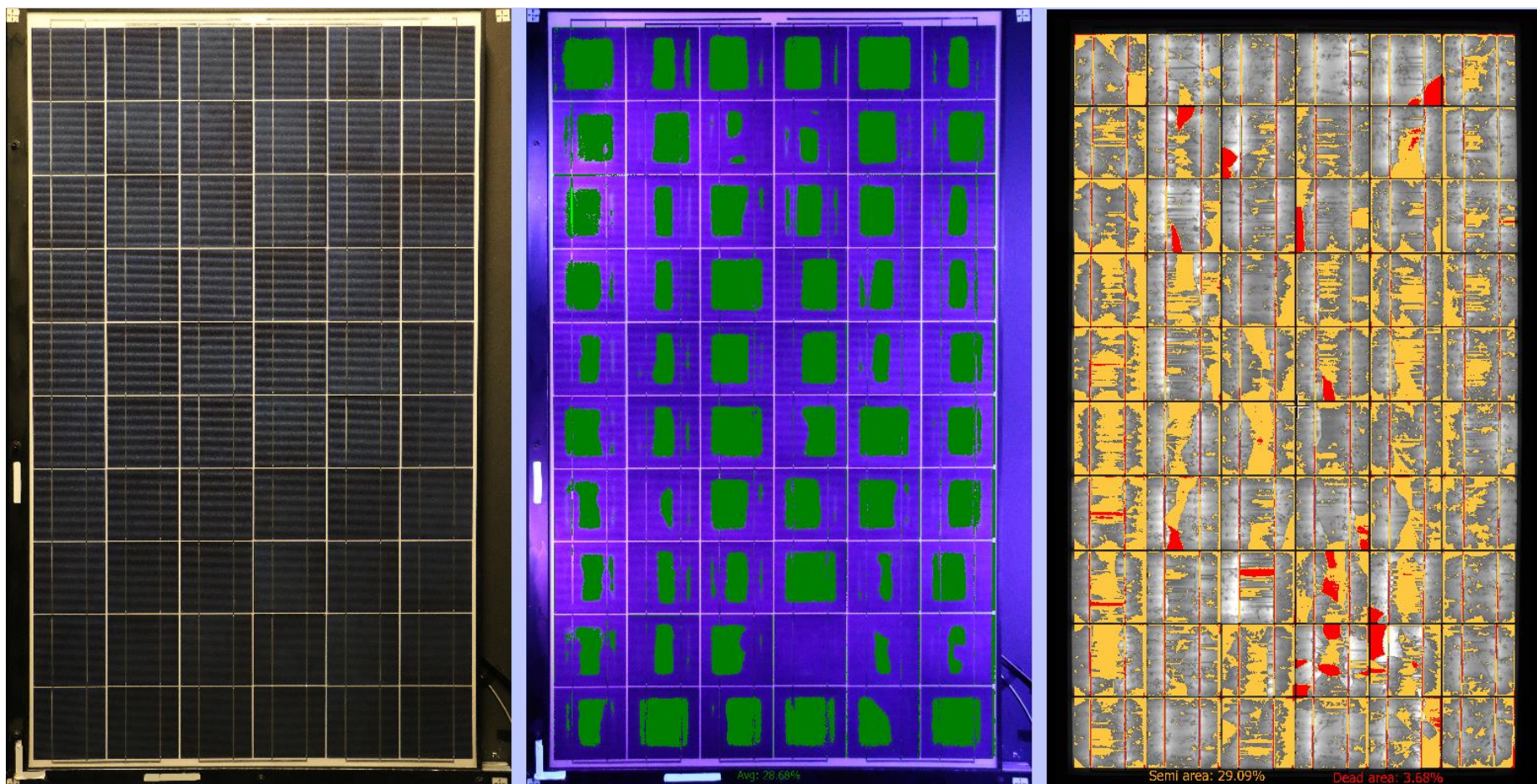


UV fluorescenca



Pregled sončnih elektrarn

Elektroluminiscenca, UV fluorescenca



Elektroluminiscenca

ST



Hvala za pozornost !



kristijan.brecl@fe.uni-lj.si