Analyzing performance and refining the wiring of an underperforming solar power plant

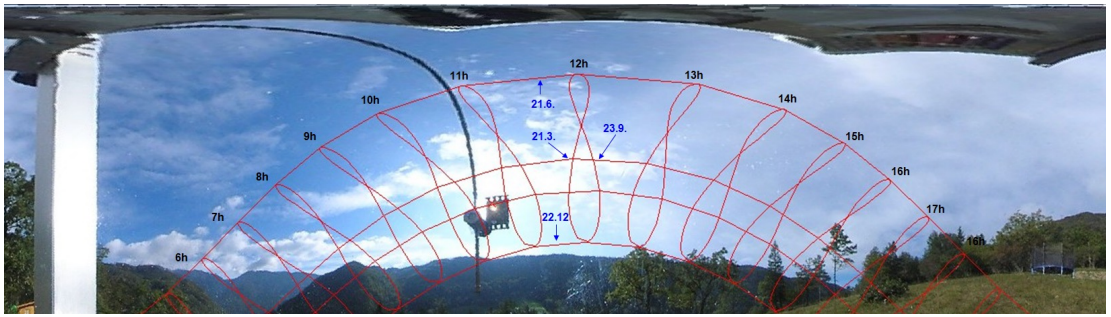
Žiga Miklič - LPVO

PVPMC 2024



FE UNIVERSITY OF LJUBLJANA
Faculty of Electrical Engineering

Introduction „PV plant 6,9 kWp“

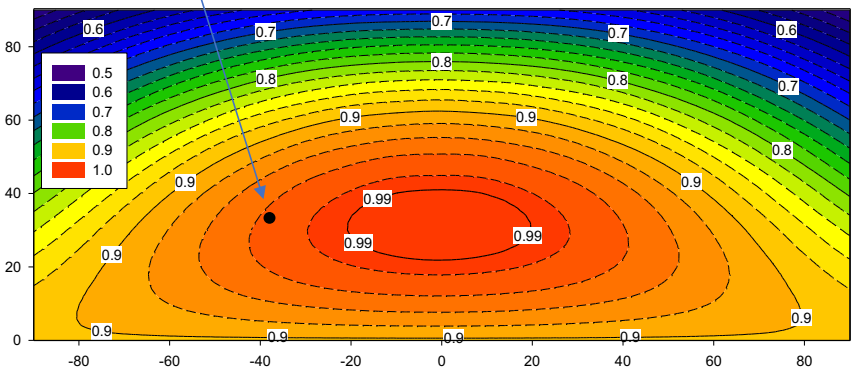


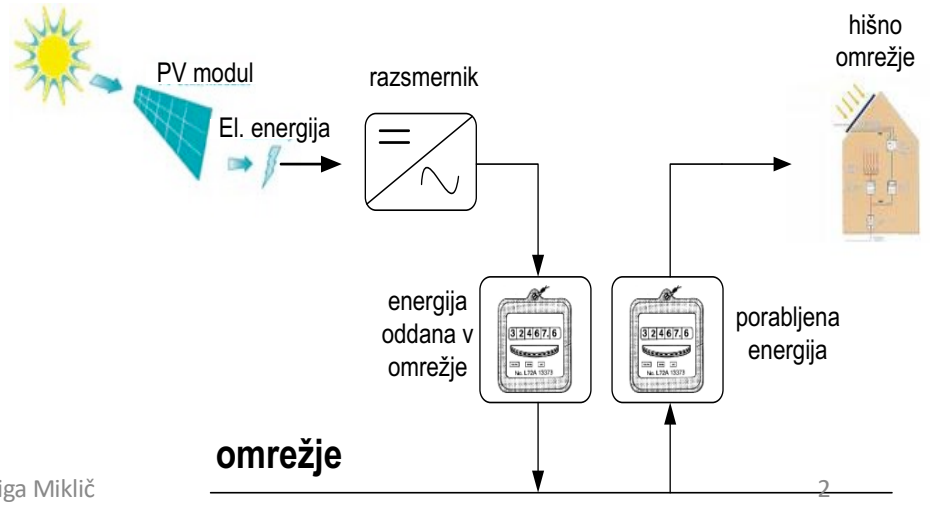


Orientation of a “southern” part of the roof (**43°** from N to S, **36°** tilt)

~ **7 %** annual loss due to shading (hills, mauntains, trees…)

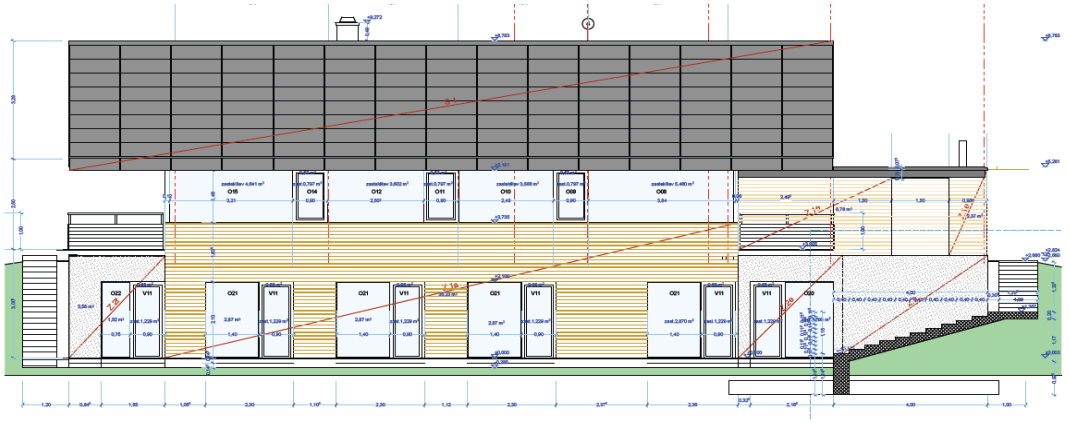
~ **3.5 %** annual loss due to non ideal orientation





Components

- **120** PV modules (CiS – Thin film)
- PV generator power = **6,9 kWp**
- Roof integrated (SolRif)
- PV module power = **57,5 Wp**
- PV generator area = **100 m2**
- Warranty 10 let = 90 %
- Warranty 25 let = 80%
- Inverters (3 x 1f) – SMA Sunny Boy 2500HF
- Inverter effiiency = **96 %**

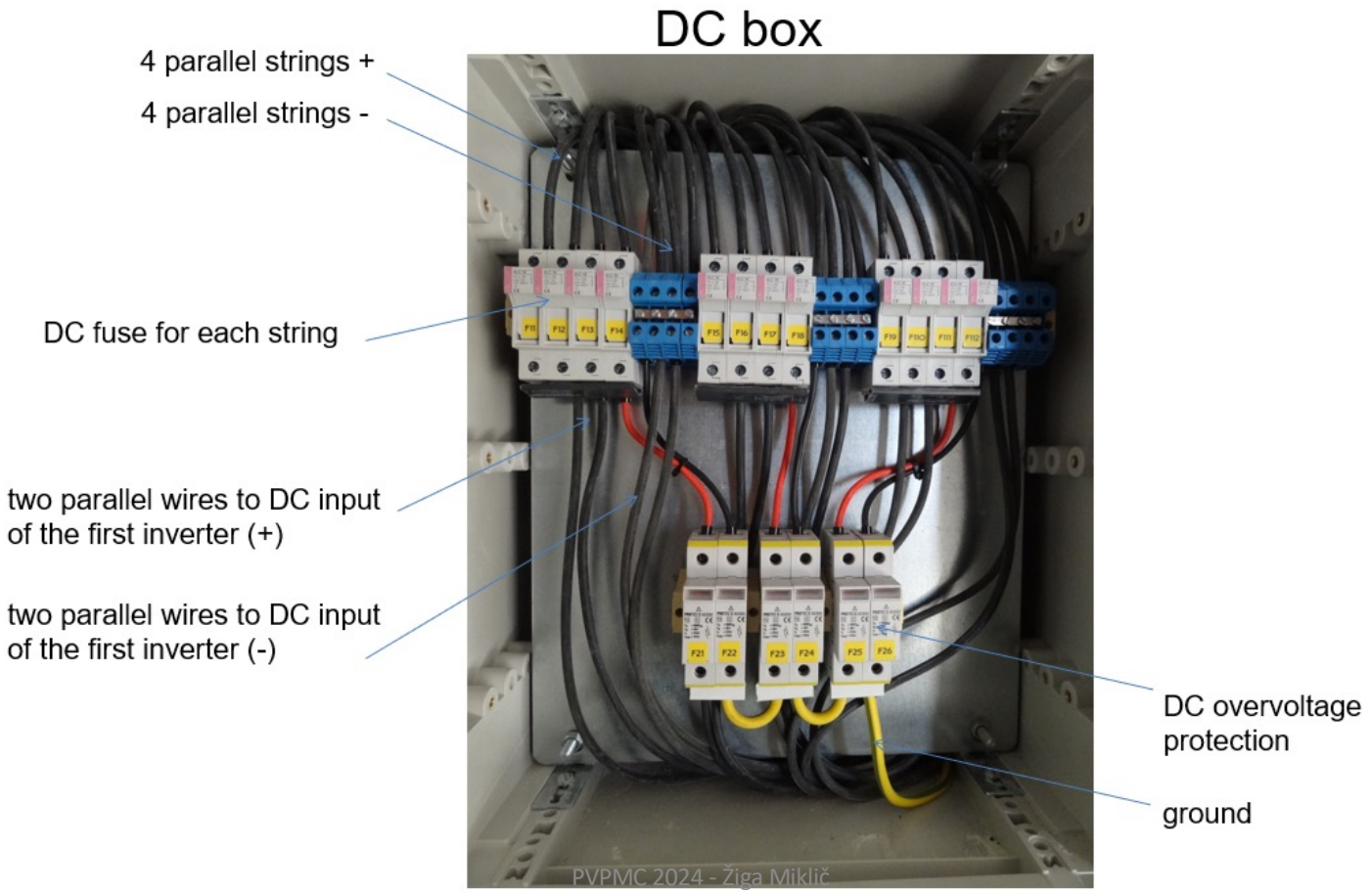




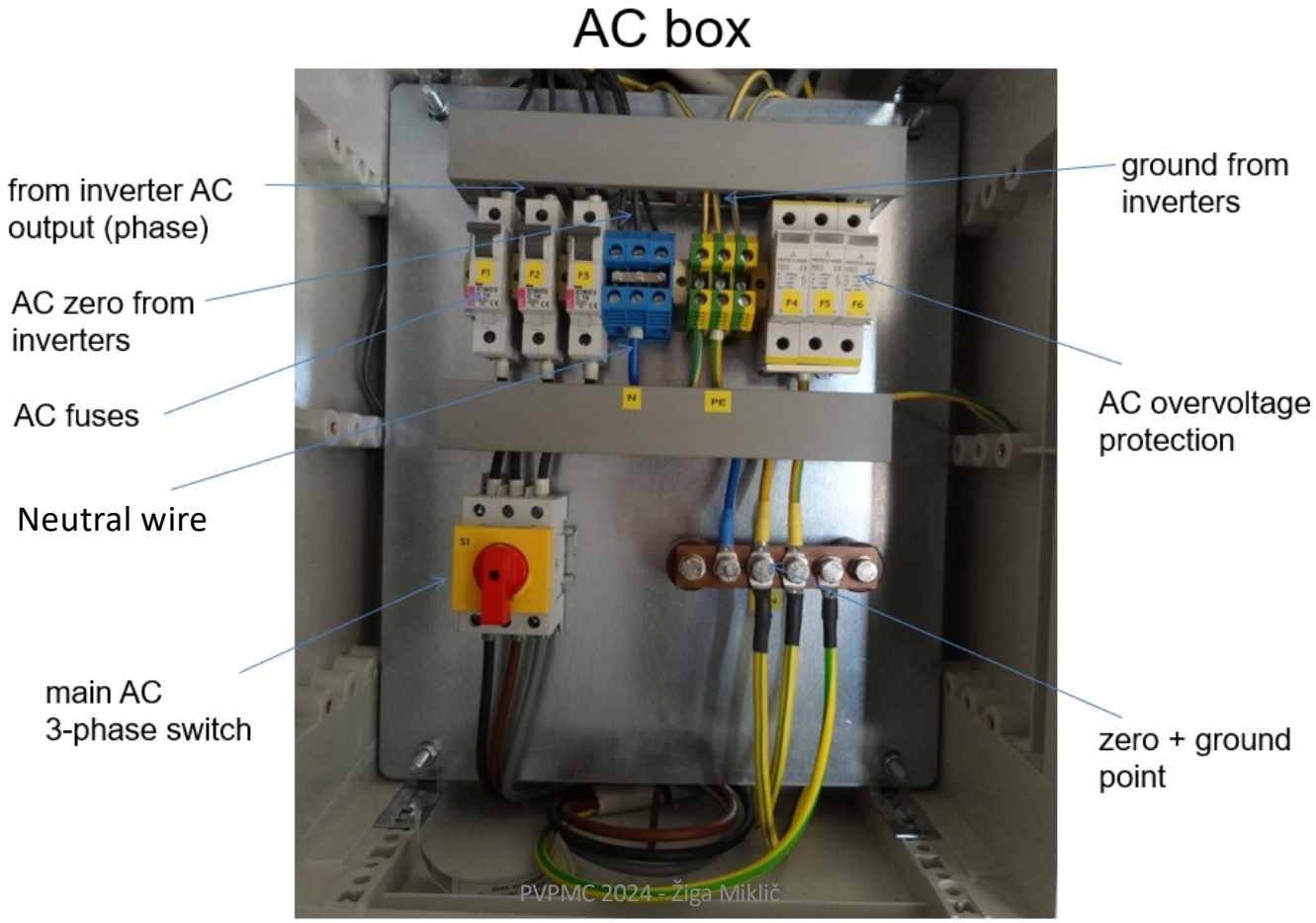
Electrical Characteristics at 1000 W/m², 25°C, AM 1,5				
Modul	SCG52-HV-RI	SCG55-HV-RI	SCG57-HV-RI	SCG60-HV-RI
Rated Power**	52,5 W	55 W	57,5 W	60 W
Tolerance	+8/–2 %	+8/–2 %	+8/–2 %	+8/–2 %
Module efficiency	6,4 %	6,7 %	7,0 %	7,3 %
Voltage at Vmpp	37,8 V	38,8 V	39,7 V	40,3 V
Current at Impp	1,39 A	1,42 A	1,45 A	1,49 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	50,2 V	50,9 V	51,4 V	52,1 V
Short-Circuit Current (Isc)	1,67 A	1,69 A	1,71 A	1,74 A
max. system Voltage	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Reverse Current Load	5 A	5 A	5 A	5 A

25 year - Output power

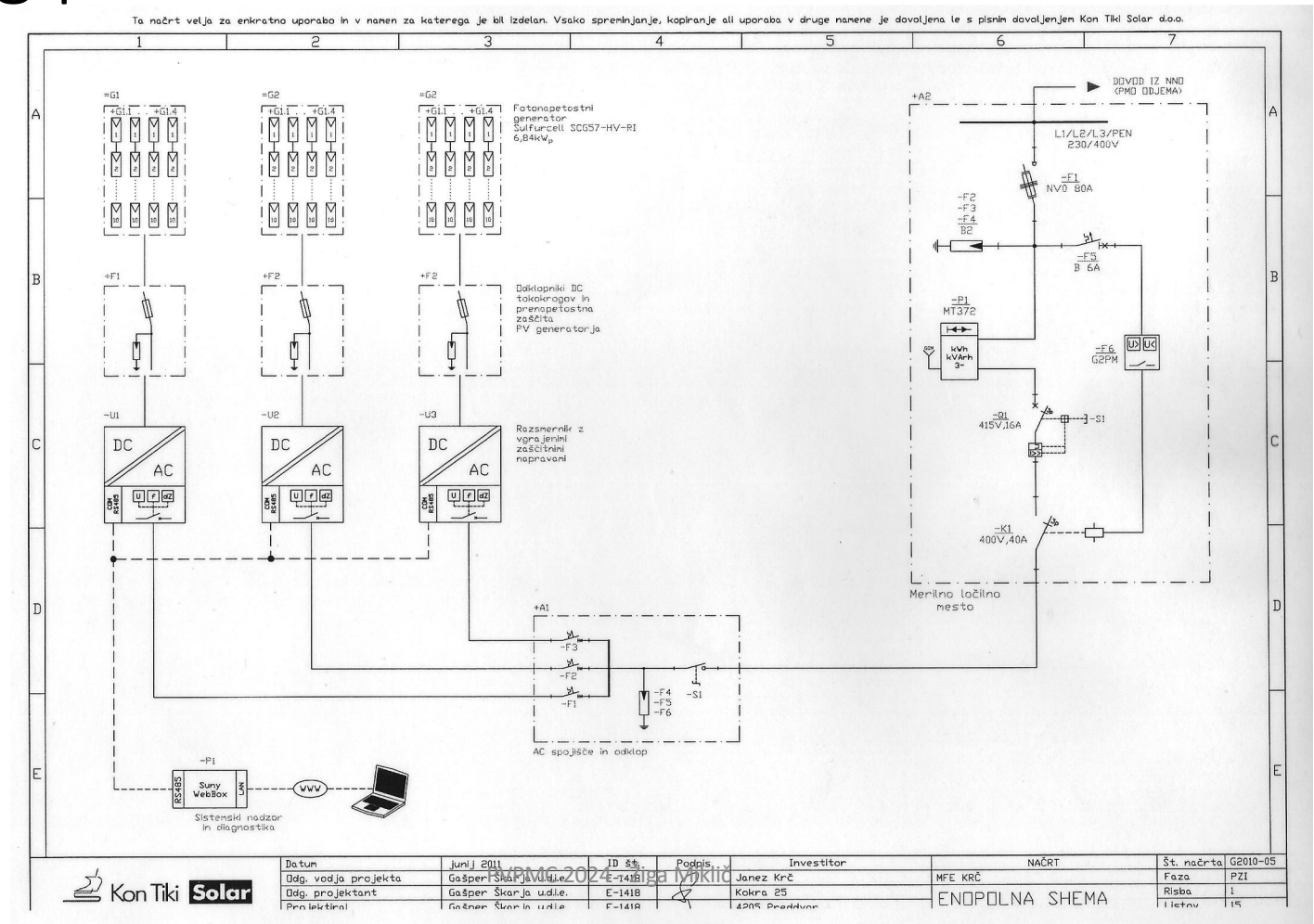
DC wiring box



AC wiring box



Wiring plan


Ta načrt velja za enkratno uporabo in v namen za katerega je bil izdelan. Vsako spreminjanje, kopiranje ali uporaba v druge namene je dovoljena le s pisnim dovoljenjem Kon Tiki Solar d.o.o.
Fotonapetostni generator Sulfurcell SCG57-HV-BI 6,84kWp
Odklopniki DC tokokrogov in prenapetostna zaščita PV generatorja
Razsmernik z vgrajenimi zaščitnimi napravami
DOVOD IZ NNO (PMO ODJEMA)
L1/L2/L3/PEN 230/400V
-F1 NV0 80A
-F5 B 6A
-P1 MT372
-F6 G2PM
-Q1 415V,16A
-K1 400V,40A
Merilno ločilno mesto
AC spojišče in odklop
Suny WebBox
Sistemski nadzor in diagnostika
Kon Tiki Solar
ENOPOLNA SHEMA
Janez Krč
MFE KRČ
Kokra 25
Gašper Škarja u.d.i.e.
junij 2011
E-1418
G2010-05
PZI

Measurment instruments

- **Metrel MI 3108 EurotestPV** [string IV curve]
- **Metrel A 1378 EutrotestPV Remote** [module temperature and solar irradiance]
- **SMA Sensorbox (SN: 21009)** [module temperature and solar irradiance]

MI 3108 EurotestPV

Photovoltaic and electrical installation testers



A 1378 EurotestPV Remote

Accessories







Data analysis

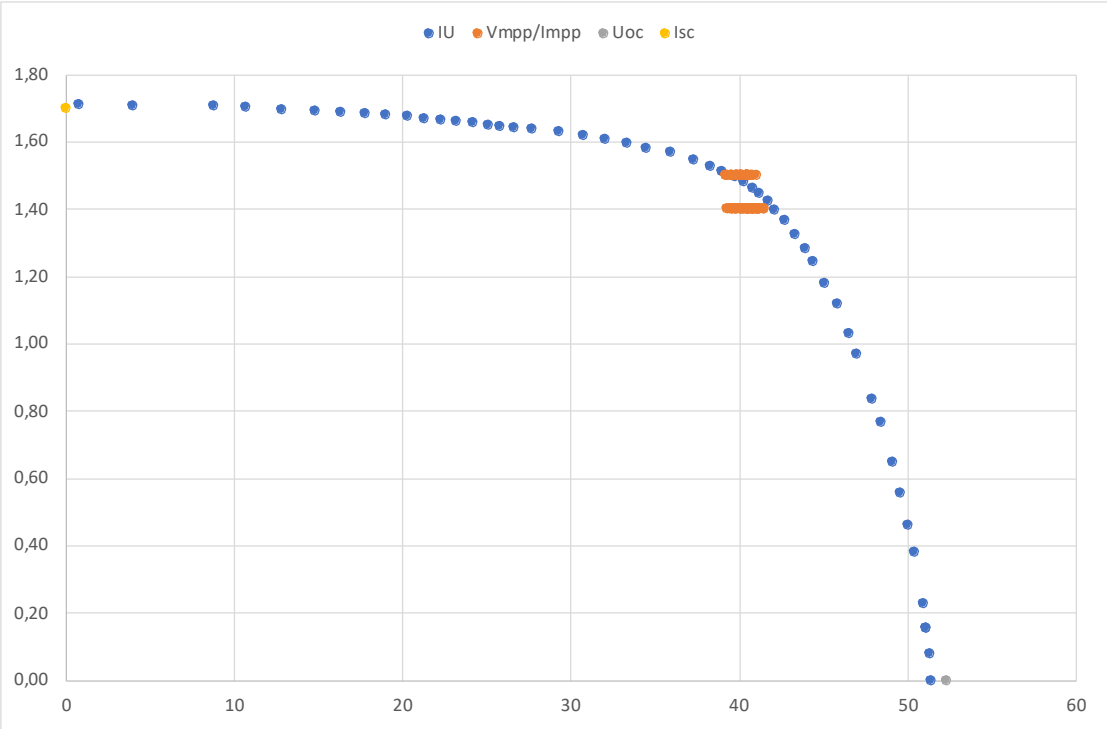
- Inverter data analysis (output power, solar irradiance, module temperature).
- Solar irradiance data filter **(>800 W/m2)**
- **Temperature compensated calculated PR factor**

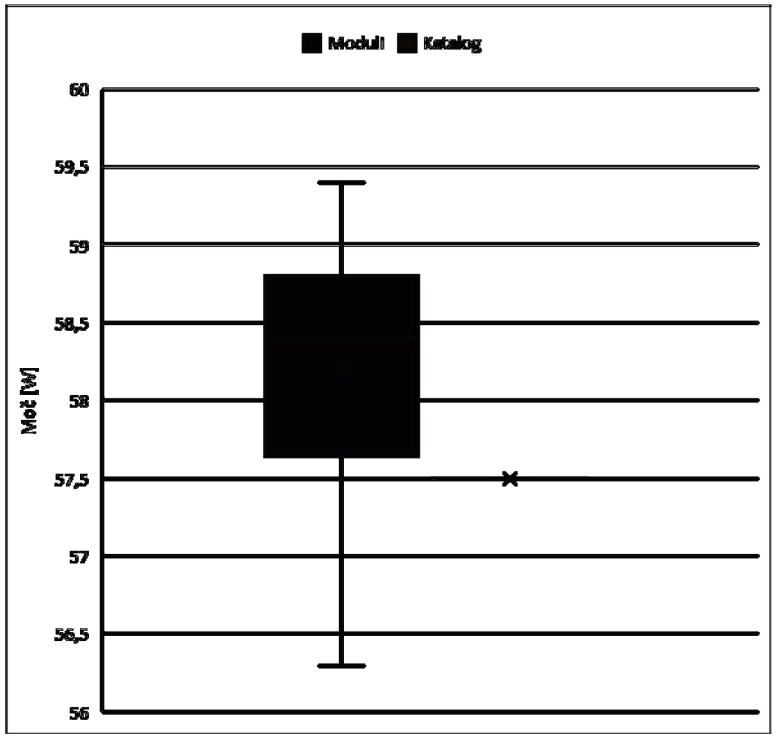


- Measurment data analysis (Metrel instruments data)
- IV curve plot for each PV string
- Linear interpolation **(ΔU = 1 V)** of paralel PV strings

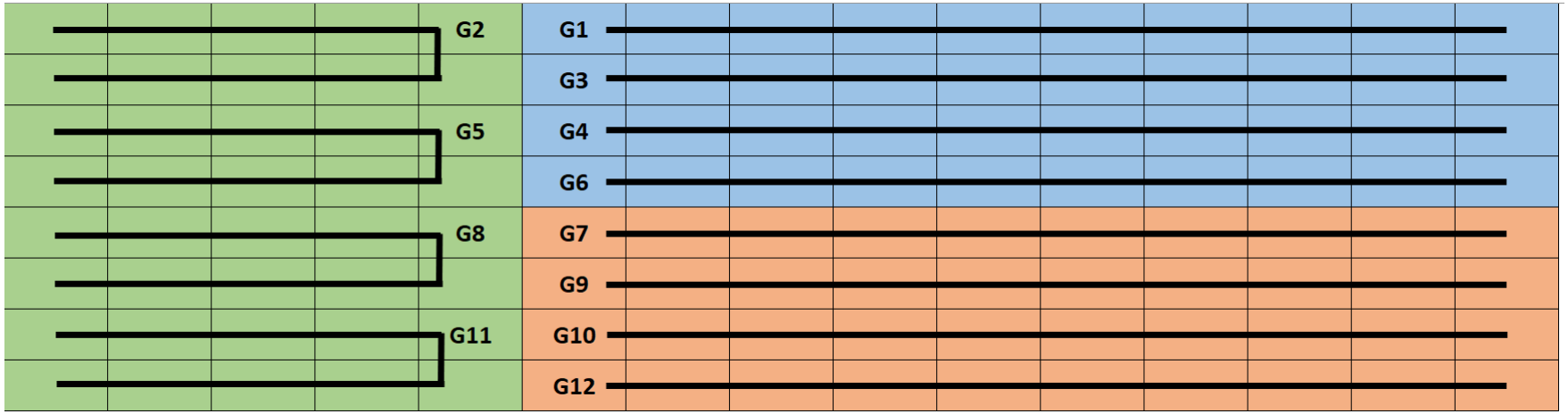


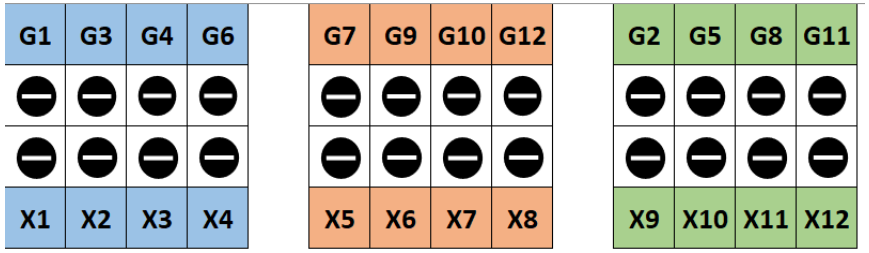
Factory PV module measurments

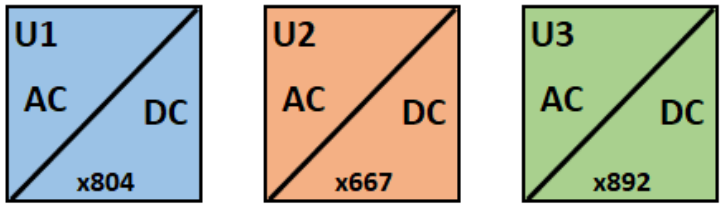




Actual PV string wiring







PV string measurments

Niz	Uoc [V]	deg. Uoc	Isc [A]	deg. Isc	FF	deg. FF	Umpp [V]	deg. Umpp	Impp [A]	deg. Impp	Pmpp [W]	deg. P	Eff. [%]	deg. Eff
Naziv.	514	0%	1,71	0%	0,65	0%	397	0%	1,45	0%	575	0%	6,46%	0%
G1	490	-4,7%	1,57	-8,2%	0,61	-6,5%	380	-4,3%	1,24	-14,5%	472	-17,9%	5,30%	-18%
G3	482	-6,2%	1,58	-7,6%	0,59	-9,7%	369	-7,1%	1,22	-15,9%	451	-21,6%	5,06%	-22%
G4	442	-14,0%	1,64	-4,1%	0,55	-15,5%	329	-17,1%	1,22	-15,9%	402	-30,1%	4,51%	-30%
G6	439	-14,6%	1,65	-3,5%	0,57	-13,4%	326	-17,9%	1,26	-13,1%	409	-28,9%	4,59%	-29%
G7	457	-11,1%	1,64	-4,1%	0,56	-13,9%	341	-14,1%	1,24	-14,5%	424	-26,3%	4,76%	-26%
G9	480	-6,6%	1,64	-4,1%	0,59	-10,3%	364	-8,3%	1,27	-12,4%	463	-19,5%	5,20%	-19%
G10	454	-11,7%	1,67	-2,3%	0,58	-10,9%	335	-15,6%	1,32	-9,0%	442	-23,1%	4,96%	-23%
G12	462	-10,1%	1,68	-1,8%	0,58	-12,1%	349	-12,1%	1,28	-11,7%	448	-22,1%	5,03%	-22%
G2	472	-8,2%	1,64	-4,1%	0,58	-11,6%	353	-11,1%	1,27	-12,4%	448	-22,1%	5,03%	-22%
G5	451	-12,3%	1,63	-4,7%	0,56	-15,1%	335	-15,6%	1,22	-15,9%	409	-28,9%	4,59%	-29%
G8	470	-8,6%	1,64	-4,1%	0,58	-10,9%	354	-10,8%	1,27	-12,4%	451	-21,6%	5,06%	-22%
G11	469	-8,8%	1,67	-2,3%	0,58	-11,2%	356	-10,3%	1,28	-11,7%	455	-20,9%	5,11%	-21%

Visual representation of degradation

Degradacija Uoc [%]

-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7
-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2
-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-12,3	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-14
-12,9	-12,9	-12,9	-12,9	-12,9	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6	-14,6
-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1
-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-8,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6	-6,6
-8,8	-8,8	-8,8	-8,8	-8,8	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7
-8,8	-8,8	-8,8	-8,8	-8,8	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1	-10,1

Degradacija Umpp [%]

-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3
-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-11,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1	-7,1
-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1	-17,1
-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9
-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1	-14,1
-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3
-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6	-15,6
-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1

Degradacija Isc [%]

-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2	-8,2
-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6
-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1
-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-4,7	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1
-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1
-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3
-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8	-1,8

Degradacija Impp [%]

-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9
-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9
-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-15,9	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1
-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4	-12,4
-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7	-11,7

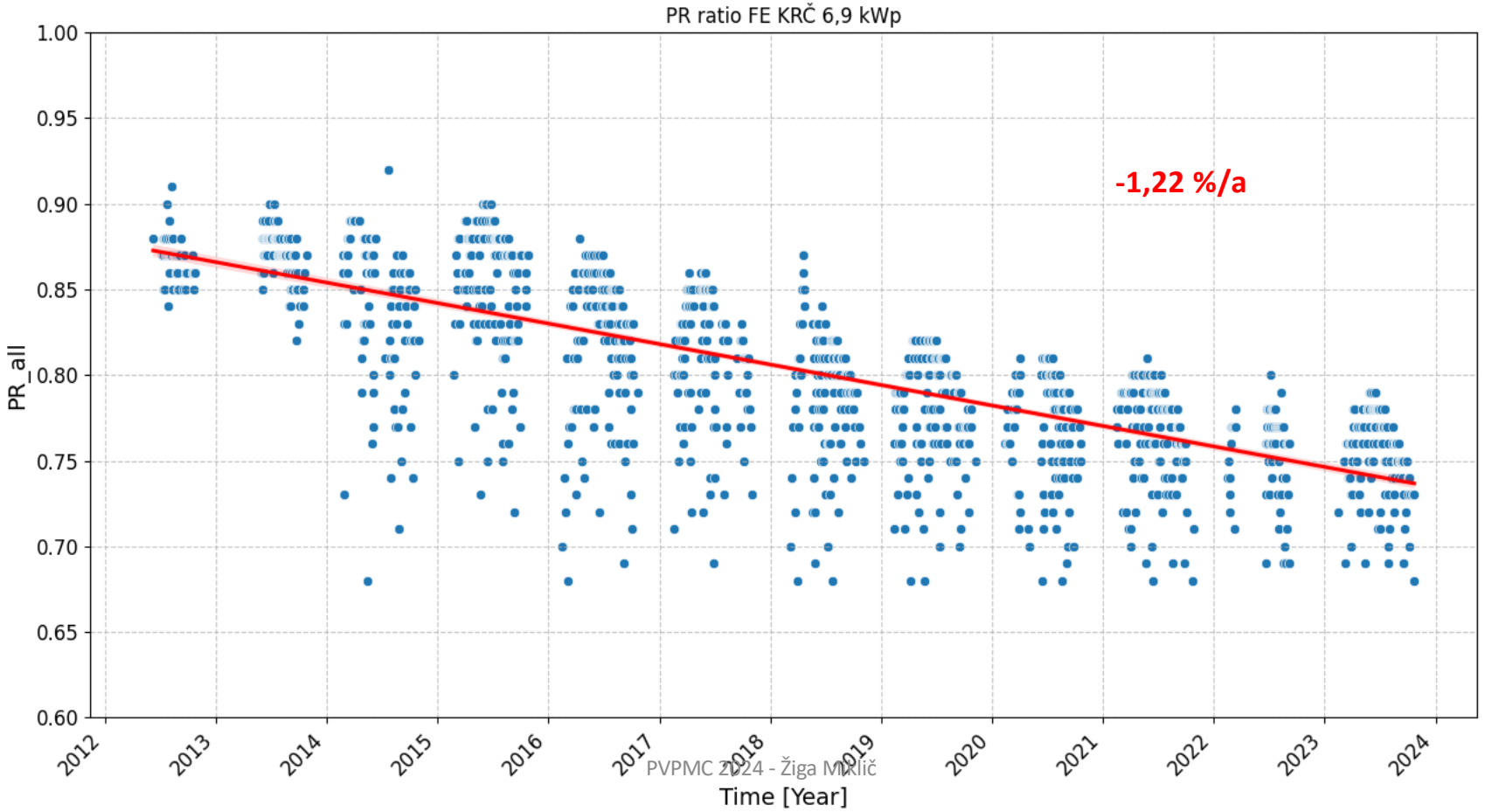
Degradacija FF [%]

-11,6	-11,6	-11,6	-11,6	-11,6	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
-11,6	-11,6	-11,6	-11,6	-11,6	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7	-9,7
-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5	-15,5
-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	-15,1	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4	-13,4
-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9	-13,9
-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3	-10,3
-11,2	-11,2	-11,2	-11,2	-11,2	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9
-11,2	-11,2	-11,2	-11,2	-11,2	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1	-12,1

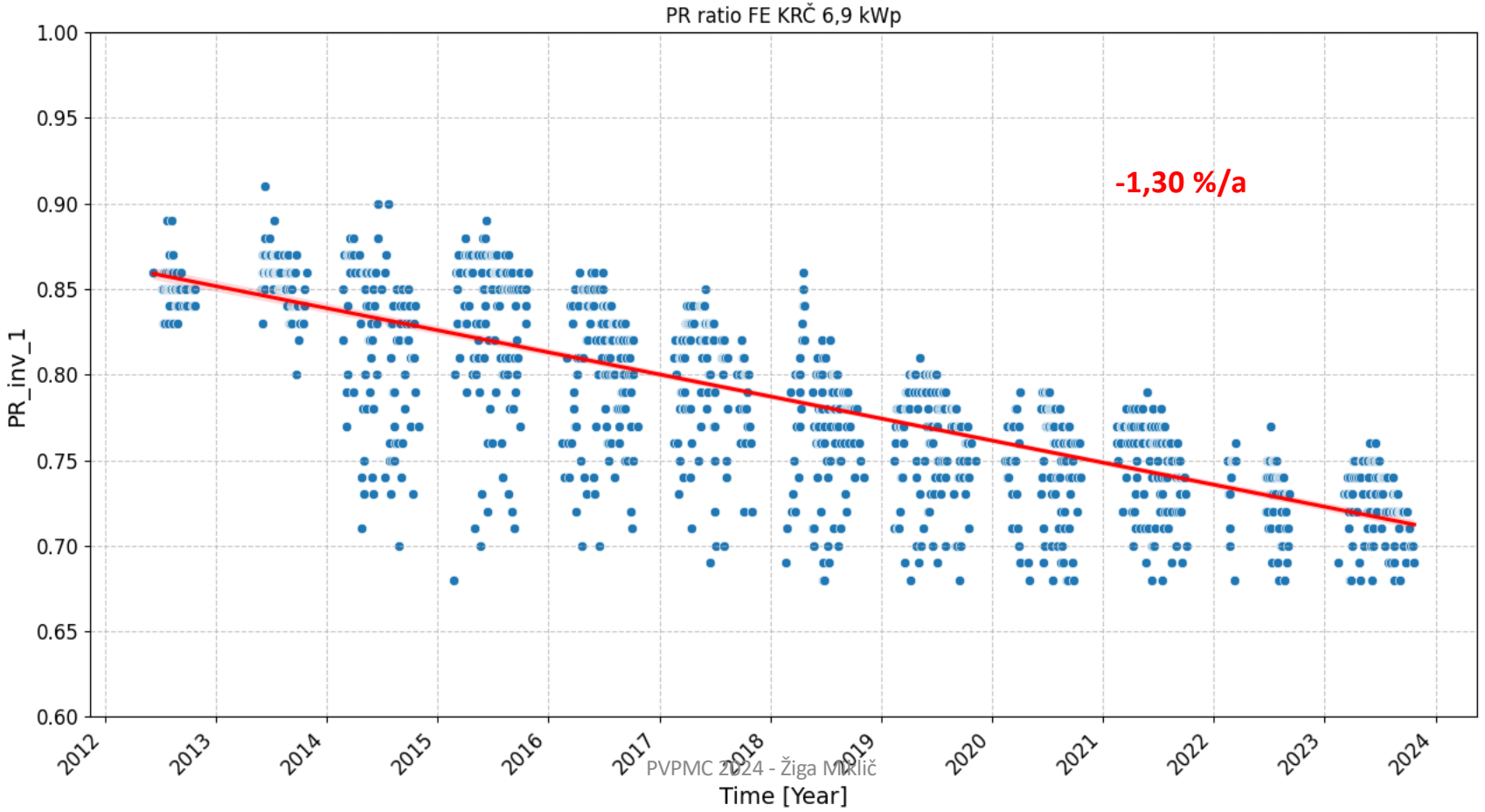
Degradacija Pmpp [%]

-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9	-17,9
-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6
-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1	-30,1
-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9	-28,9
-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3	-26,3
-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-21,6	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5	-19,5
-20,9	-20,9	-20,9	-20,9	-20,9	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
-20,9	-20,9	-20,9	-20,9	-20,9	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1	-22,1

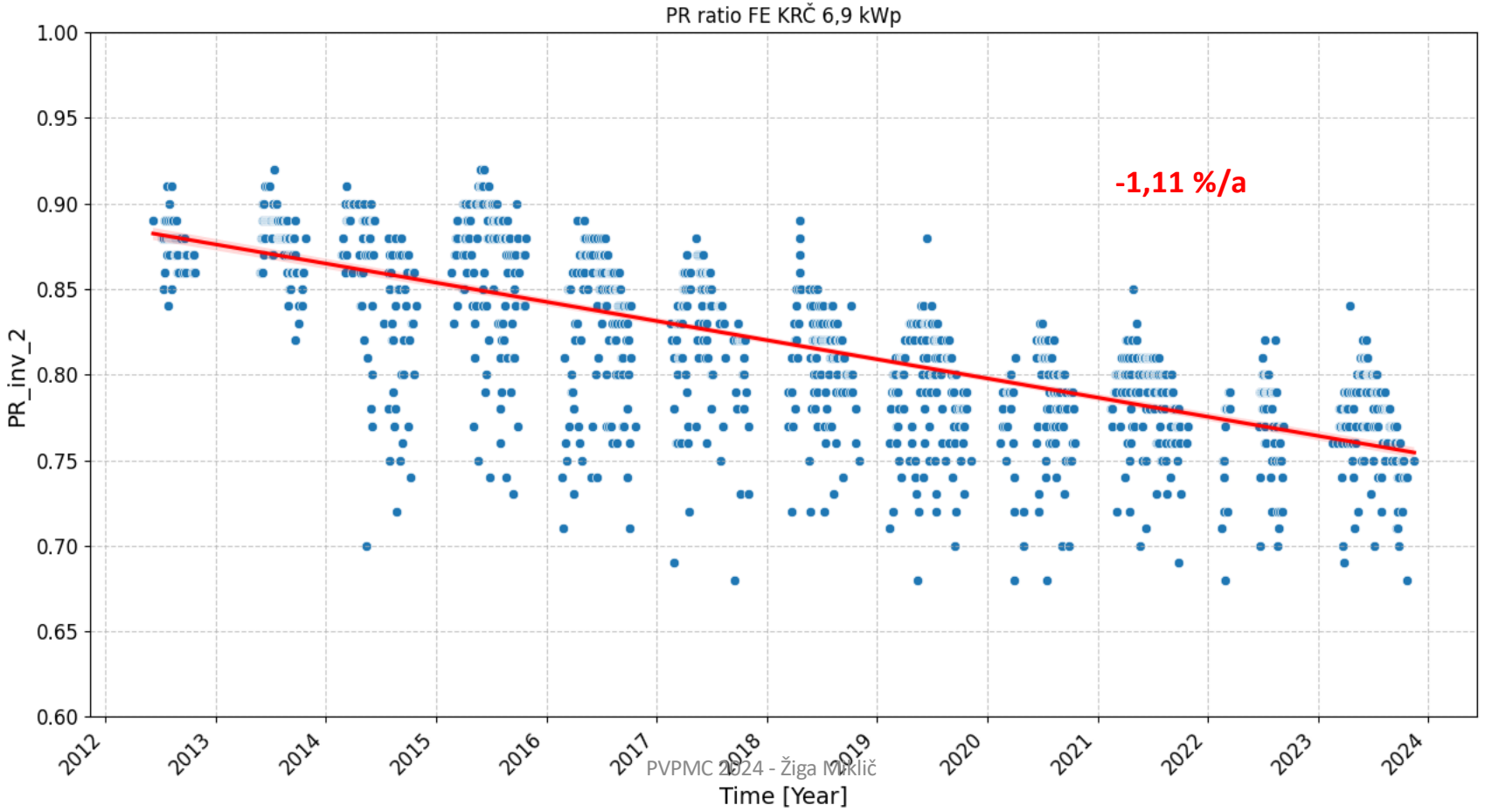
PR factor [2012-2023]



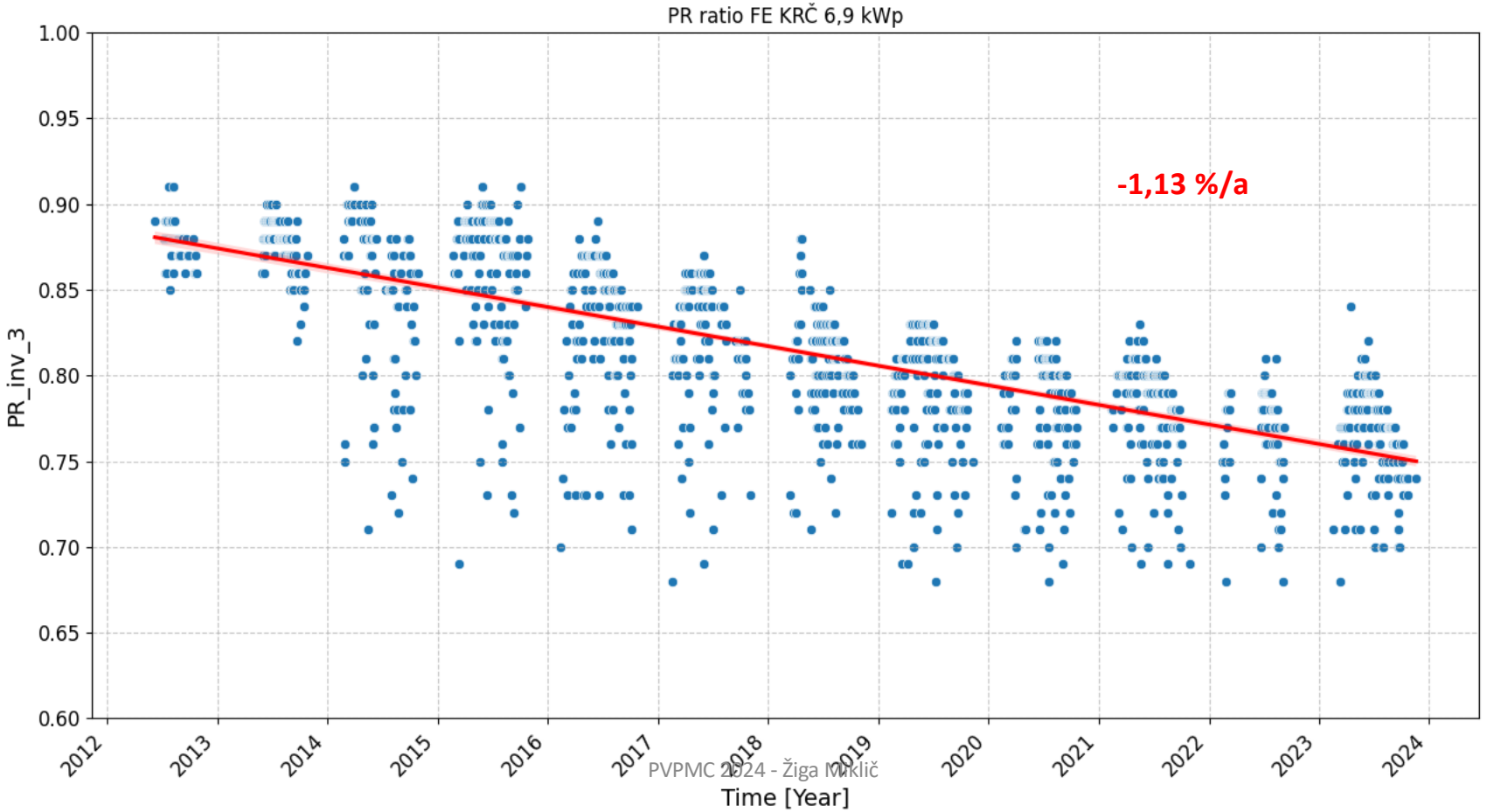
PR factor Generator-Inverter 1 [2012-2023]



PR factor Generator-Inverter 2 [2012-2023]

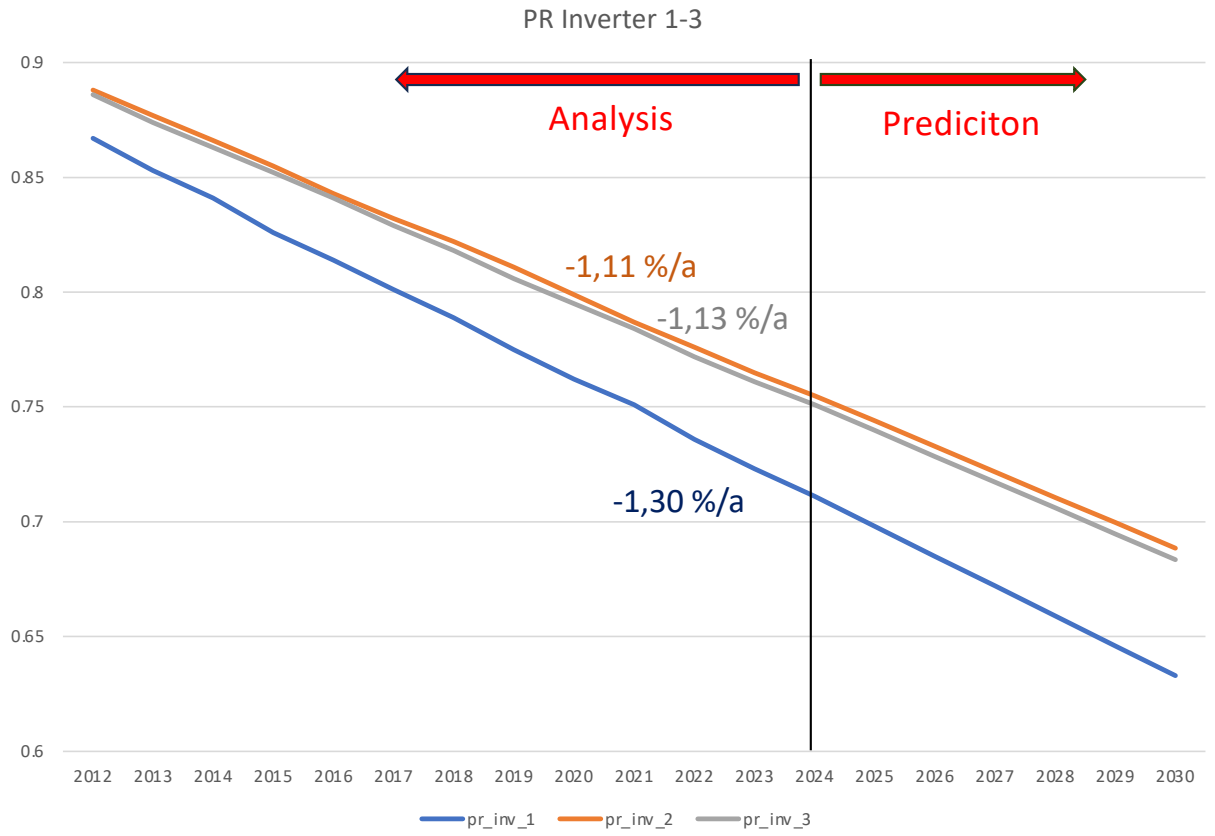


PR factor Generator-Inverter 3 [2012-2023]

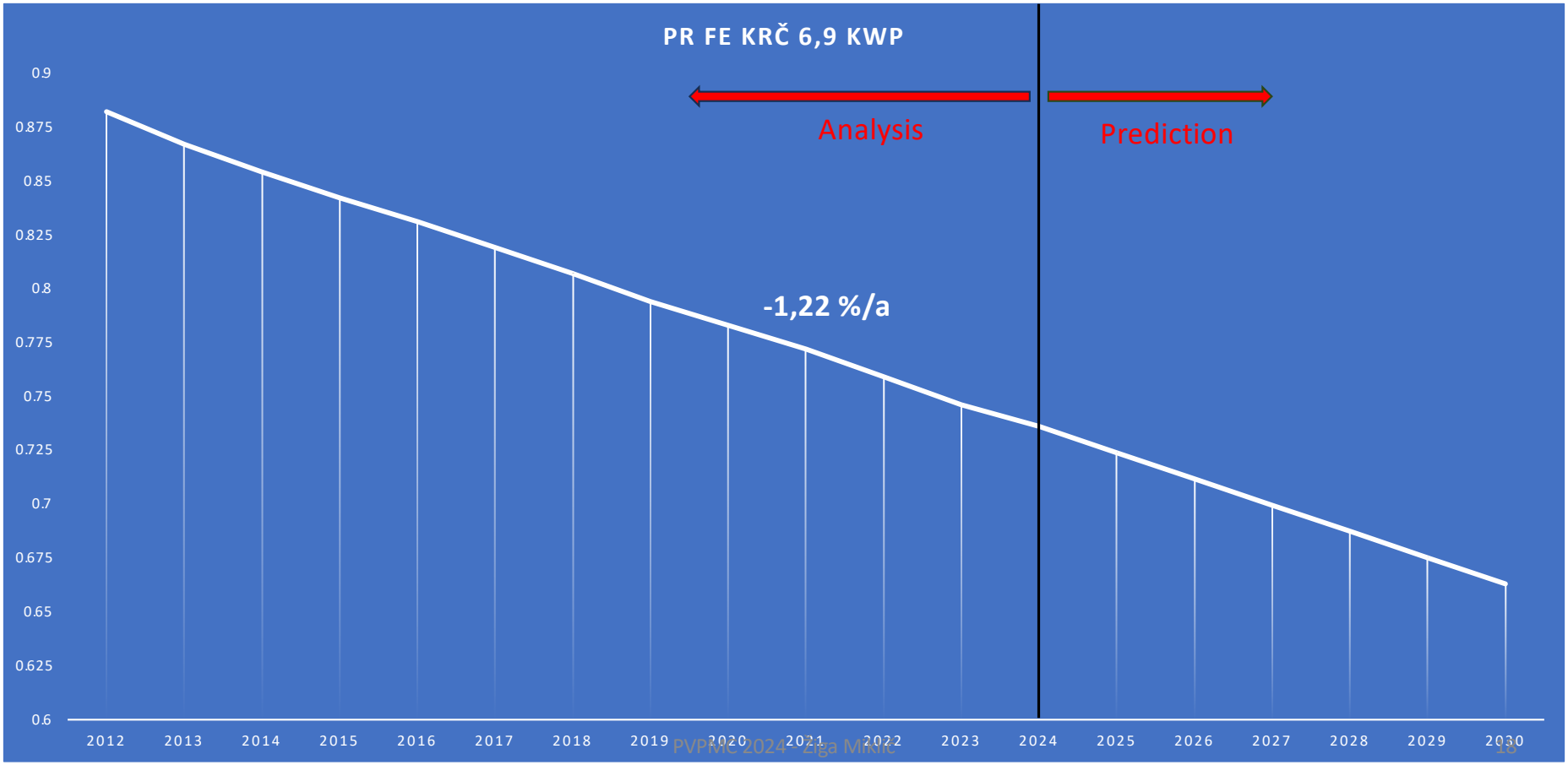


PR factor prediction to until 2030

	Serial nr.	xx804	xx667	xx892
leto	pr_all	pr_inv_1	pr_inv_2	pr_inv_3
2012	0,882	0,867	0,888	0,886
2013	0,867	0,853	0,877	0,874
2014	0,854	0,841	0,866	0,863
2015	0,842	0,826	0,855	0,852
2016	0,831	0,814	0,843	0,841
2017	0,819	0,801	0,832	0,829
2018	0,807	0,789	0,822	0,818
2019	0,794	0,775	0,811	0,806
2020	0,783	0,762	0,799	0,795
2021	0,772	0,751	0,787	0,784
2022	0,759	0,736	0,776	0,772
2023	0,746	0,723	0,765	0,761
2024	0,736	0,711	0,755	0,751
2025	0,724	0,698	0,740	0,744
2026	0,712	0,685	0,729	0,733
2027	0,700	0,672	0,717	0,722
2028	0,687	0,659	0,706	0,711
2029	0,675	0,646	0,695	0,700
2030	0,663	0,633	0,684	0,689



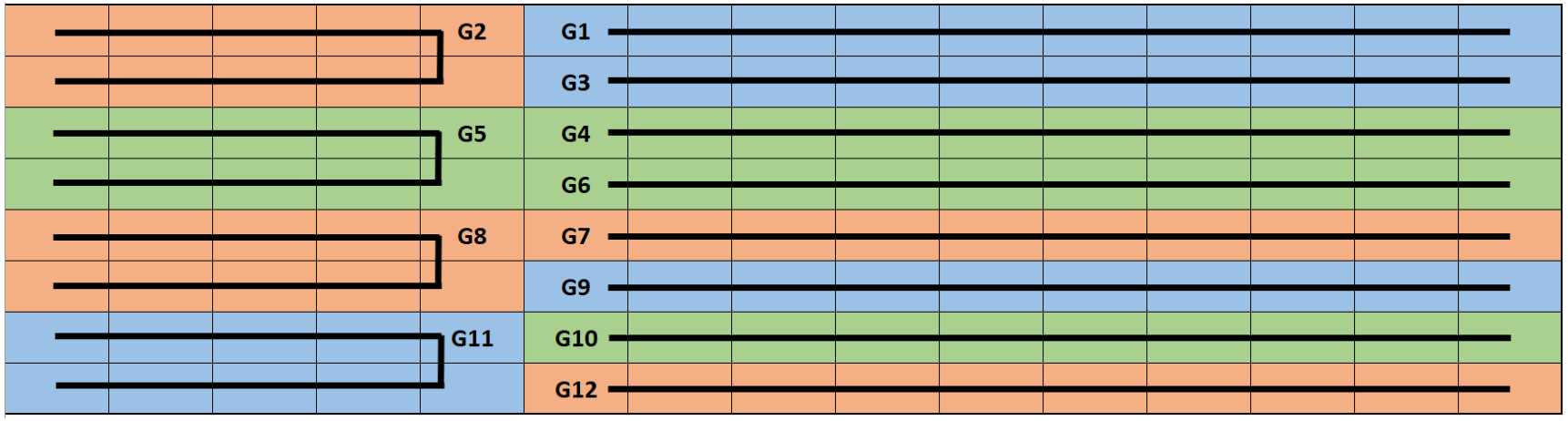
PR factor of PV plant 2012-2030

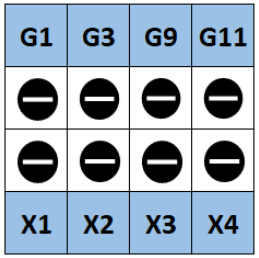


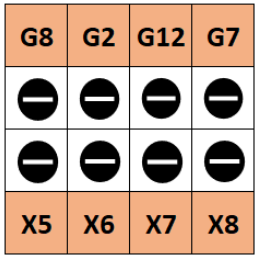
Optimal re-wiring of PV gen. („Umpp“)

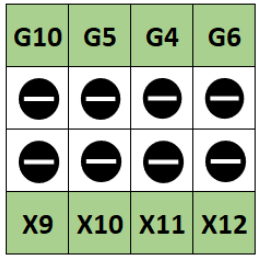
Niz	Uoc [V]	deg. Uoc	Isc [A]	deg. Isc	FF	deg. FF	Umpp [V]	deg. Umpp	Impp [A]	deg. Impp	Pmpp [W]	deg. P	Eff. [%]	deg. Eff
Naziv.	514	0%	1,71	0%	0,65	0%	397	0%	1,45	0%	575	0%	6,46%	0%
G1	490	-4,7%	1,57	-8,2%	0,61	-6,5%	380	-4,3%	1,24	-14,5%	472	-17,9%	5,30%	-18%
G3	482	-6,2%	1,58	-7,6%	0,59	-9,7%	369	-7,1%	1,22	-15,9%	451	-21,6%	5,06%	-22%
G9	480	-6,6%	1,64	-4,1%	0,59	-10,3%	364	-8,3%	1,27	-12,4%	463	-19,5%	5,20%	-19%
G11	469	-8,8%	1,67	-2,3%	0,58	-11,2%	356	-10,3%	1,28	-11,7%	455	-20,9%	5,11%	-21%
G8	470	-8,6%	1,64	-4,1%	0,58	-10,9%	354	-10,8%	1,27	-12,4%	451	-21,6%	5,06%	-22%
G2	472	-8,2%	1,64	-4,1%	0,58	-11,6%	353	-11,1%	1,27	-12,4%	448	-22,1%	5,03%	-22%
G12	462	-10,1%	1,68	-1,8%	0,58	-12,1%	349	-12,1%	1,28	-11,7%	448	-22,1%	5,03%	-22%
G7	457	-11,1%	1,64	-4,1%	0,56	-13,9%	341	-14,1%	1,24	-14,5%	424	-26,3%	4,76%	-26%
G10	454	-11,7%	1,67	-2,3%	0,58	-10,9%	335	-15,6%	1,32	-9,0%	442	-23,1%	4,96%	-23%
G5	451	-12,3%	1,63	-4,7%	0,56	-15,1%	335	-15,6%	1,22	-15,9%	409	-28,9%	4,59%	-29%
G4	442	-14,0%	1,64	-4,1%	0,55	-15,5%	329	-17,1%	1,22	-15,9%	402	-30,1%	4,51%	-30%
G6	439	-14,6%	1,65	-3,5%	0,57	-13,4%	326	-17,9%	1,26	-13,1%	409	-28,9%	4,59%	-29%

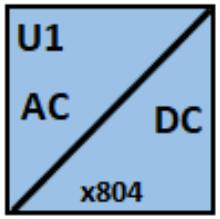
Optimal re-wiring of PV gen. („Umpp“)

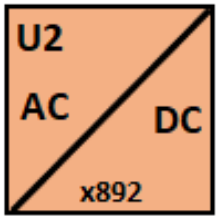


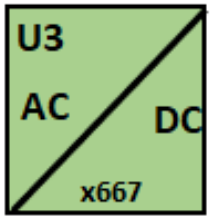




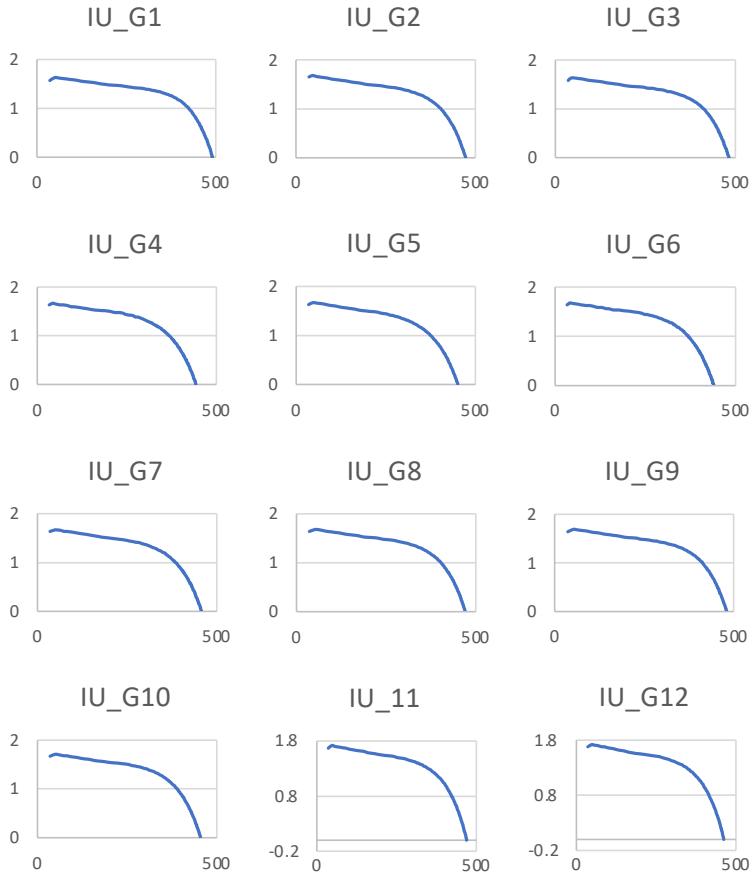


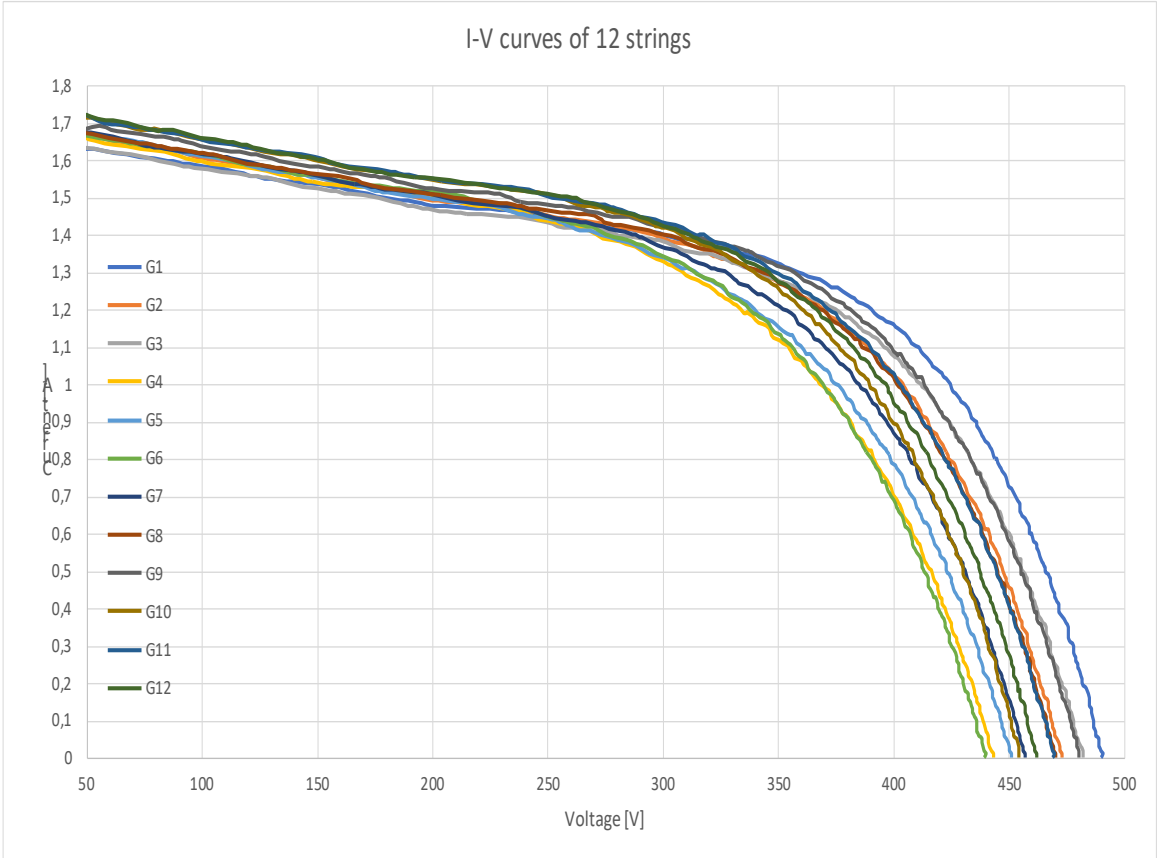




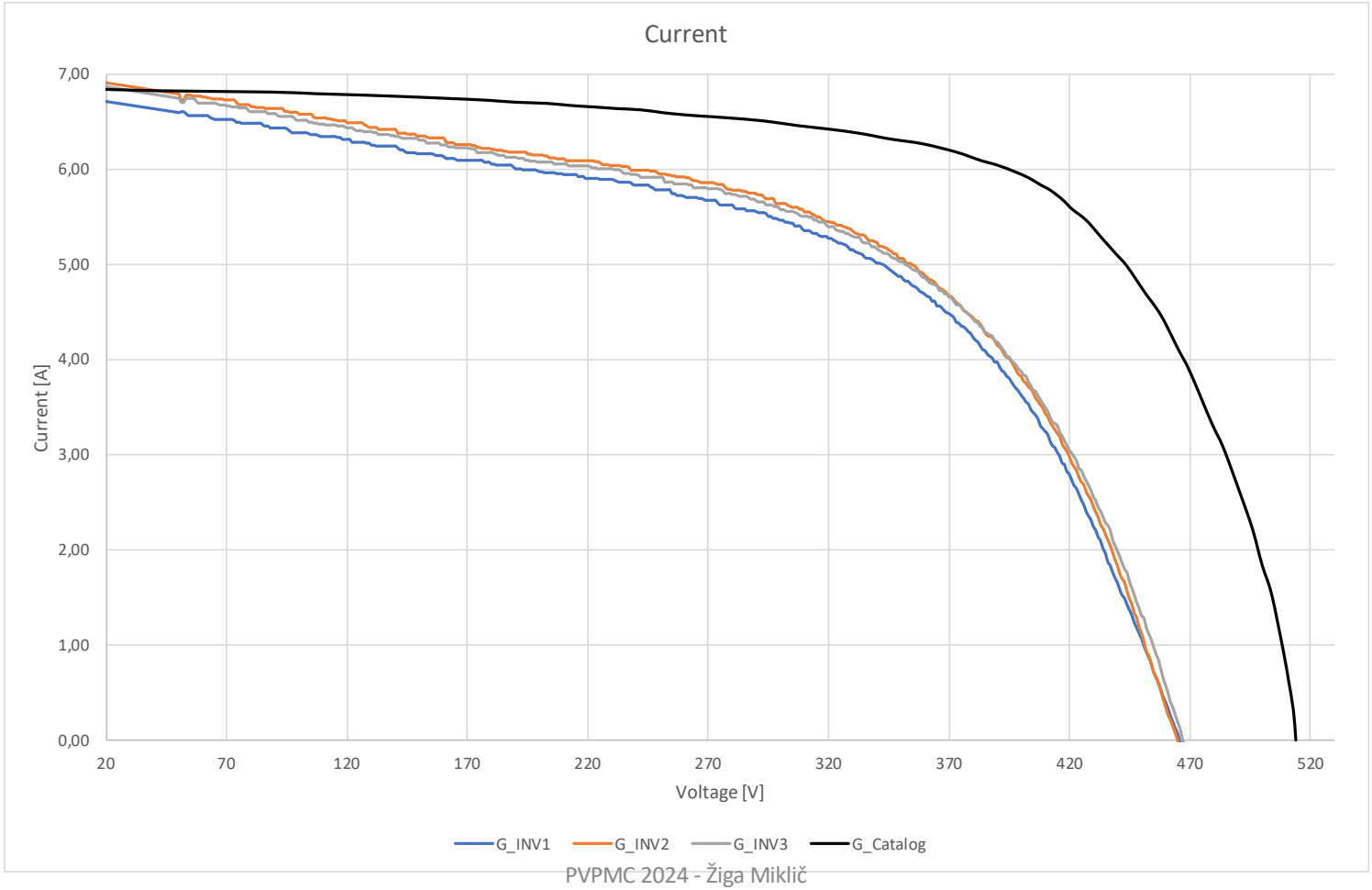


Measured IV curves

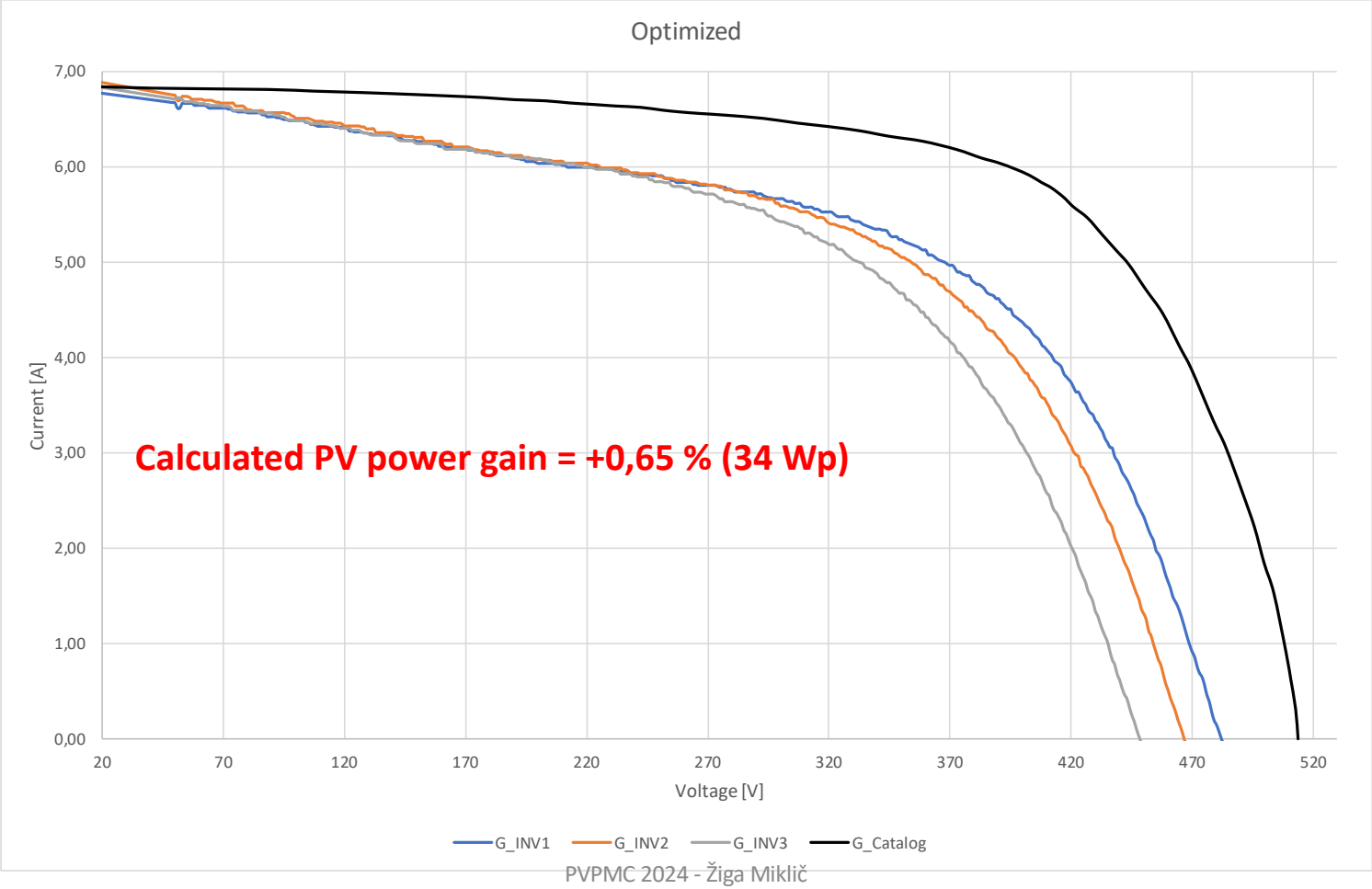




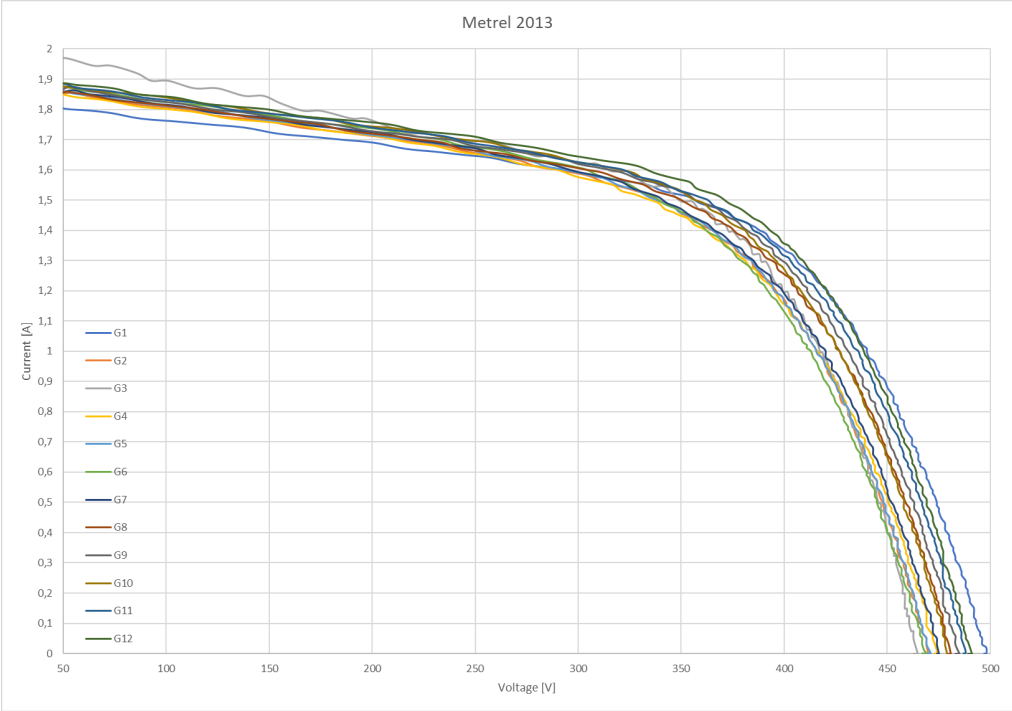
Actual PV string wiring

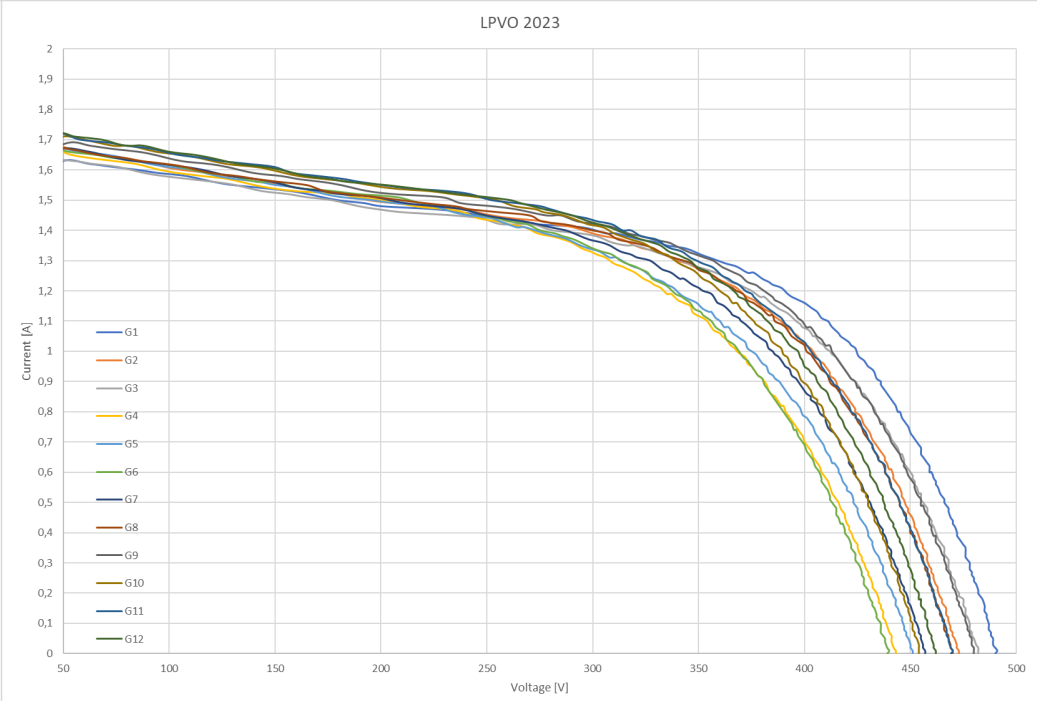


Optimal PV string wiring



Measurment of IV curve - 2013 vs. 2024



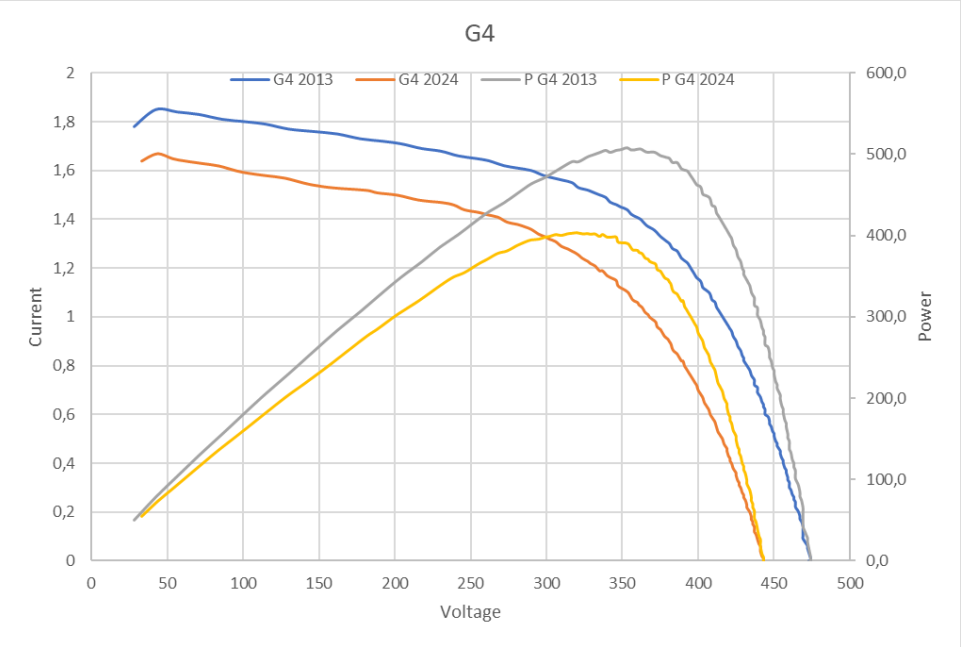


Best and worst PV string – IV measurments

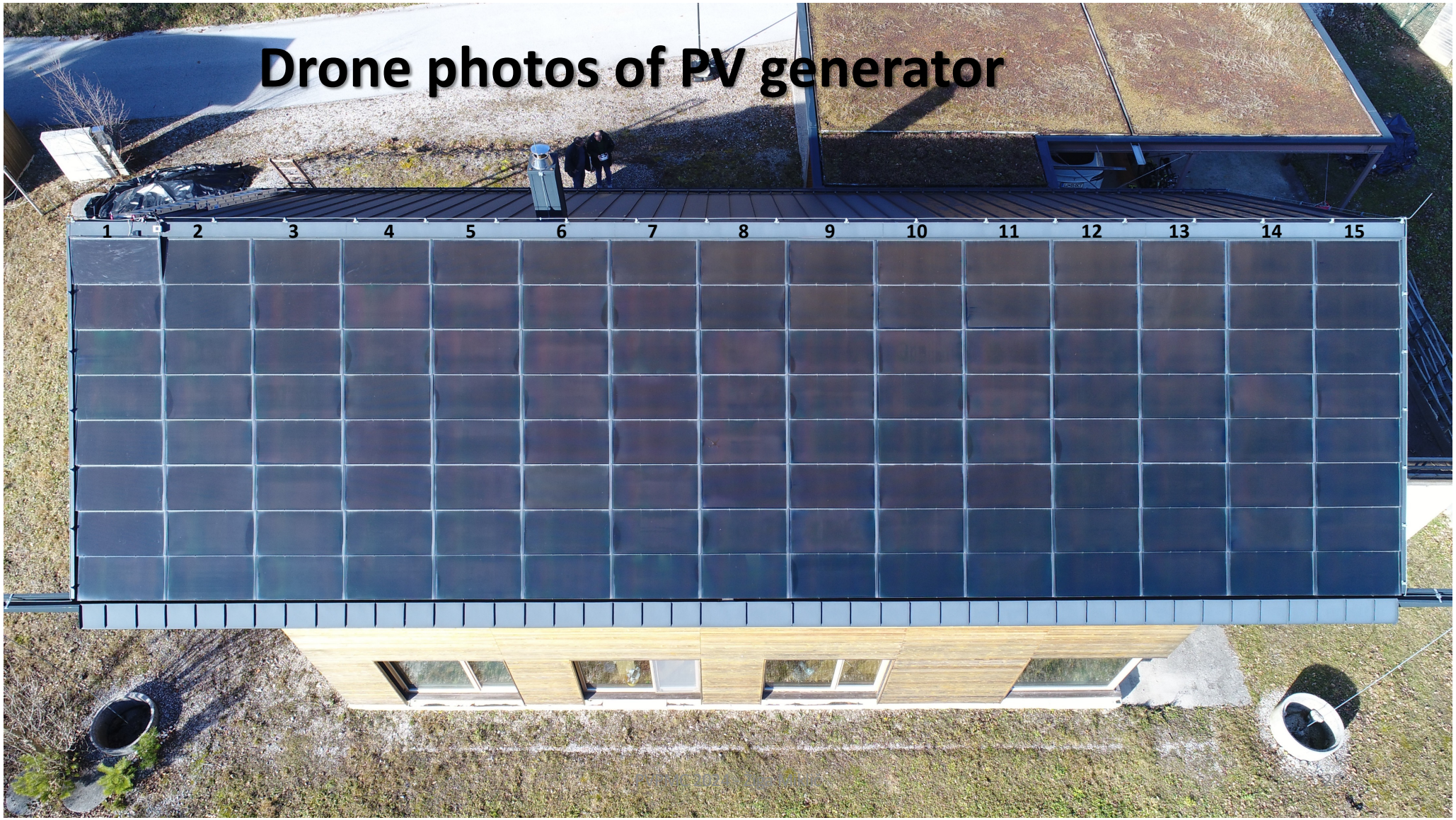
Deg. P = -17,9%



Deg. P = -30,1%



Drone photos of PV generator



1
2
3
4
5
6
7
8
9

7
8
9
10
11
12
13
14
15



Thank you!

