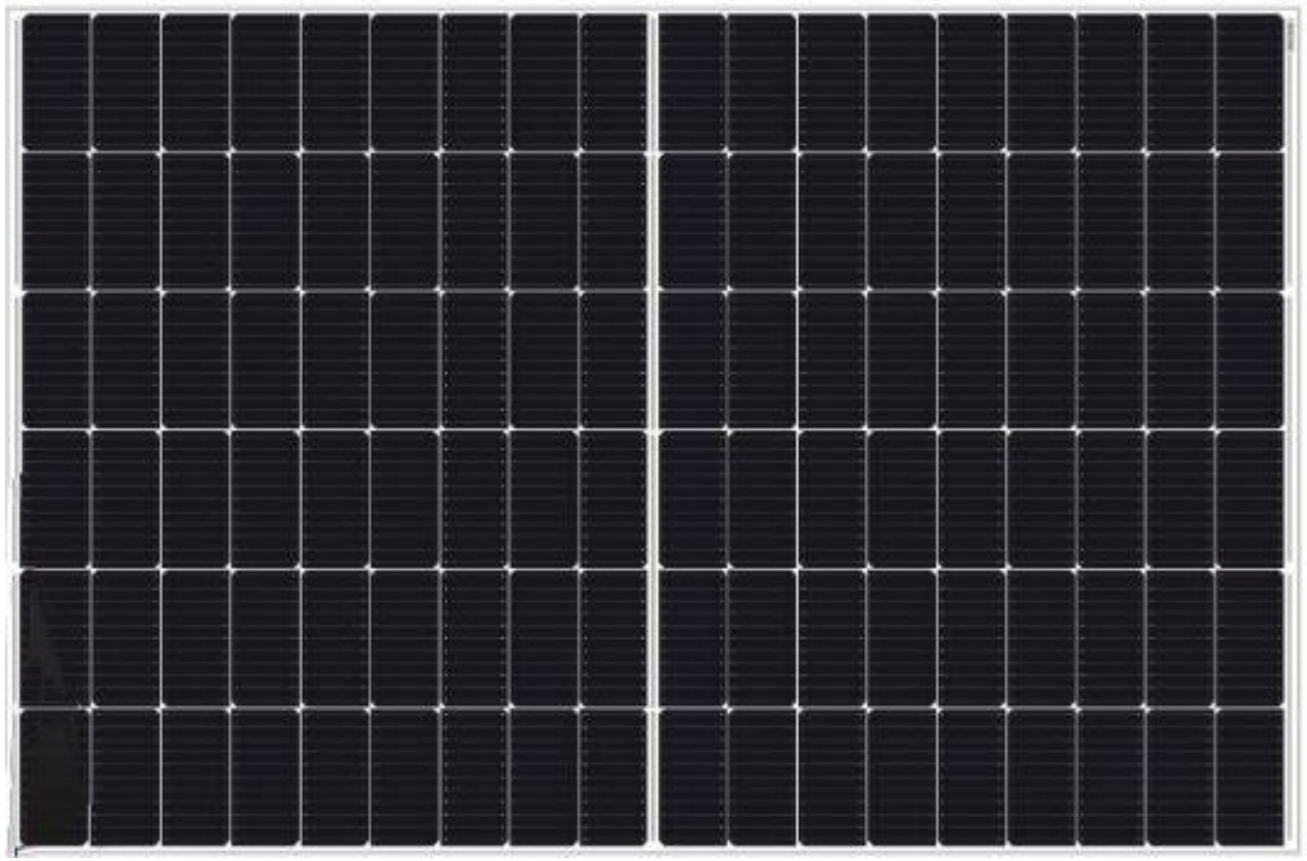
VanCo

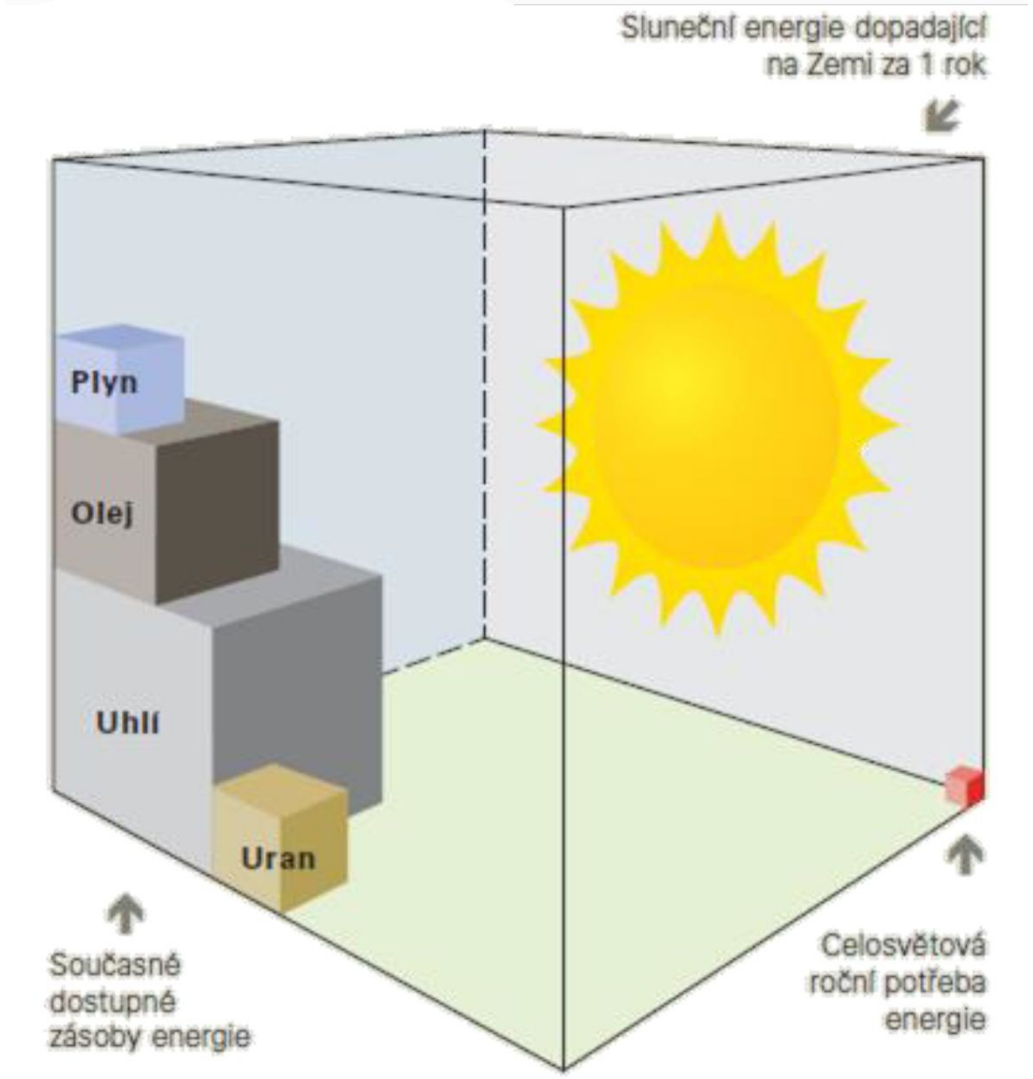


Miniúvod do fotovoltaiky

Ing. Zdeněk Mack
Vanco.cz sro
Elektra FEL ČVUT

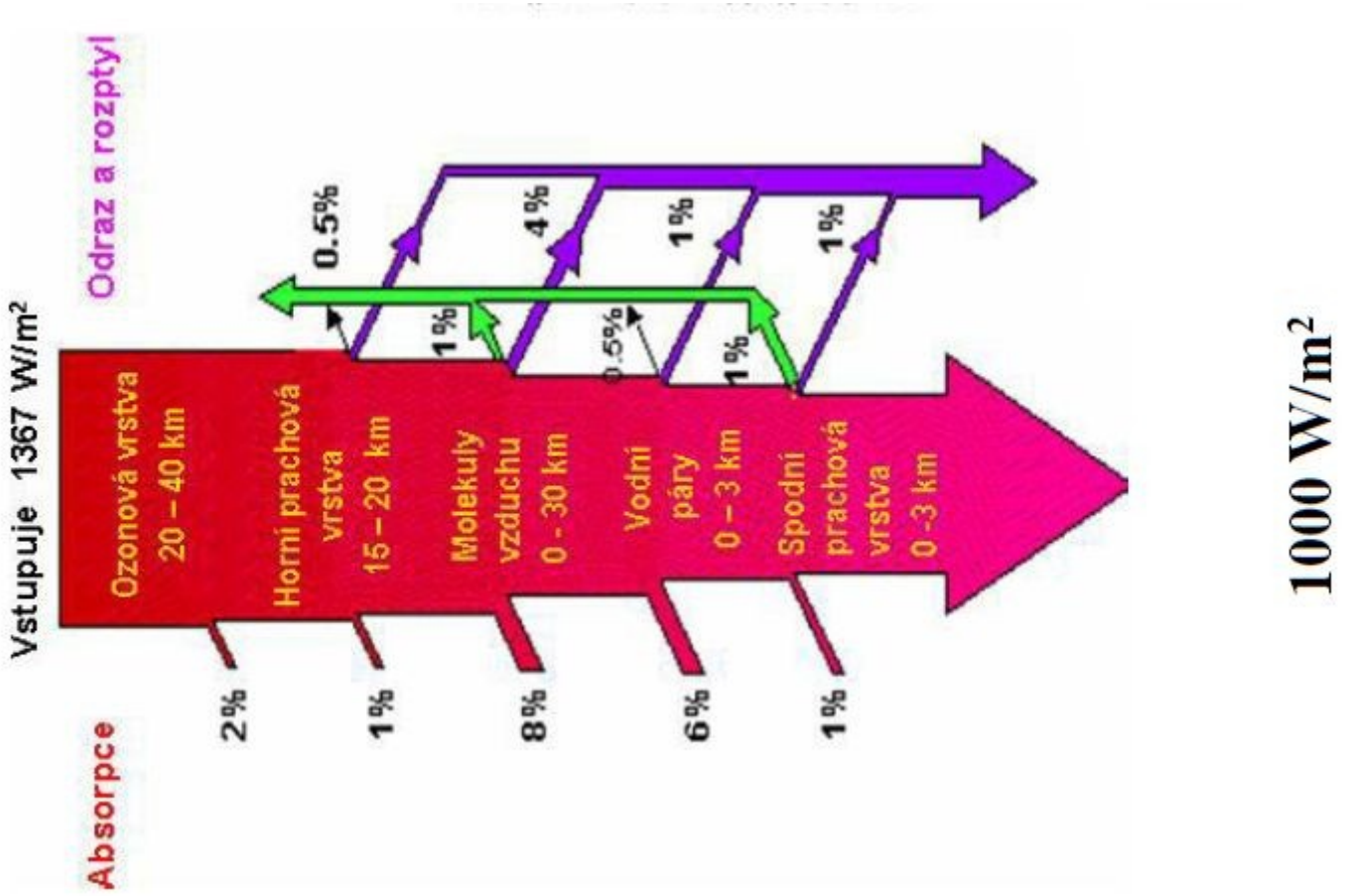
VanCo

Porovnání množství energie



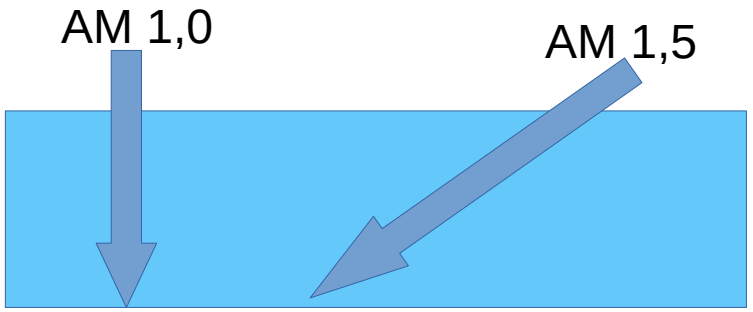
Na atmosféru dopadá 1367 W/m2

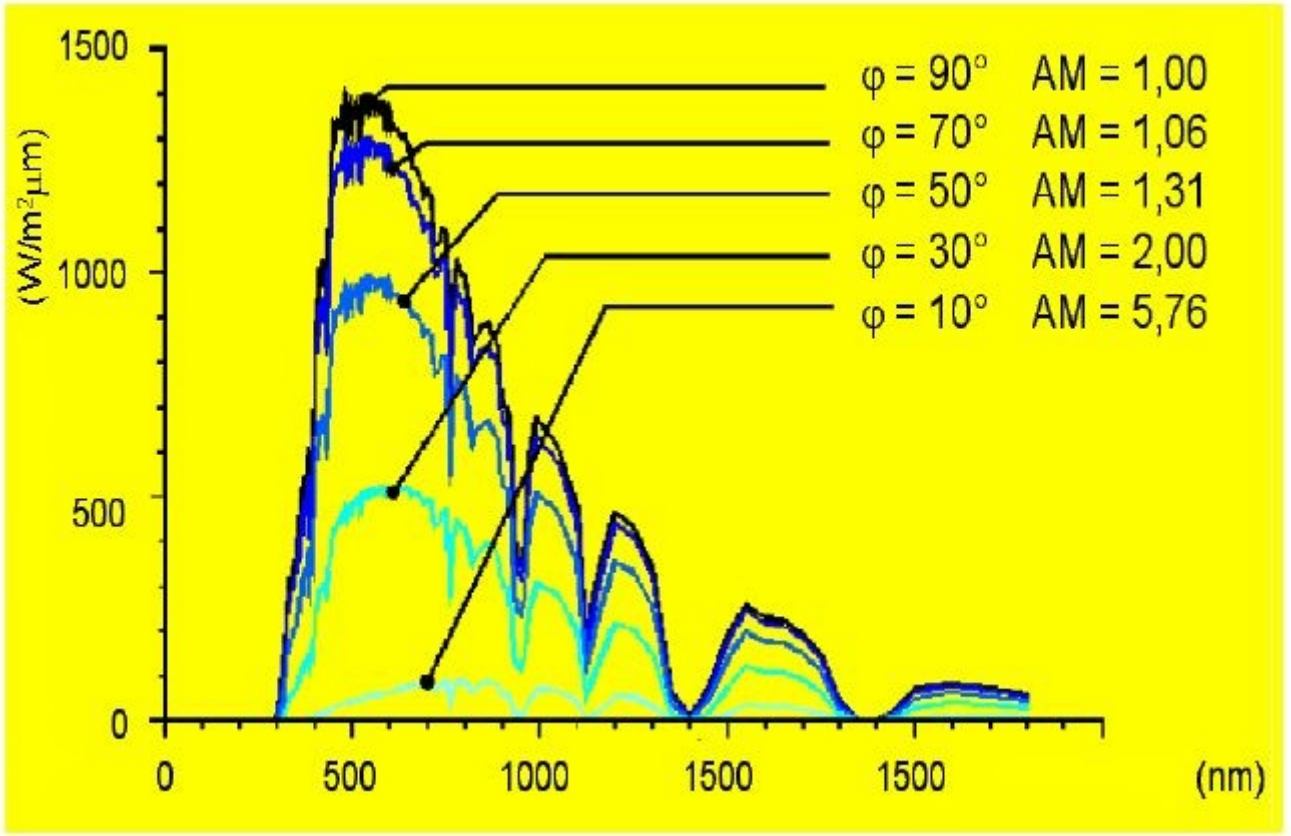
Atmosféra nepropustí všechnu energii:
-odraz + rozptyl
-pohlcení (prach,vodní páry, molekuly Plynů)
- vliv oblačnosti
-závislost na úhlu (délce trasy)

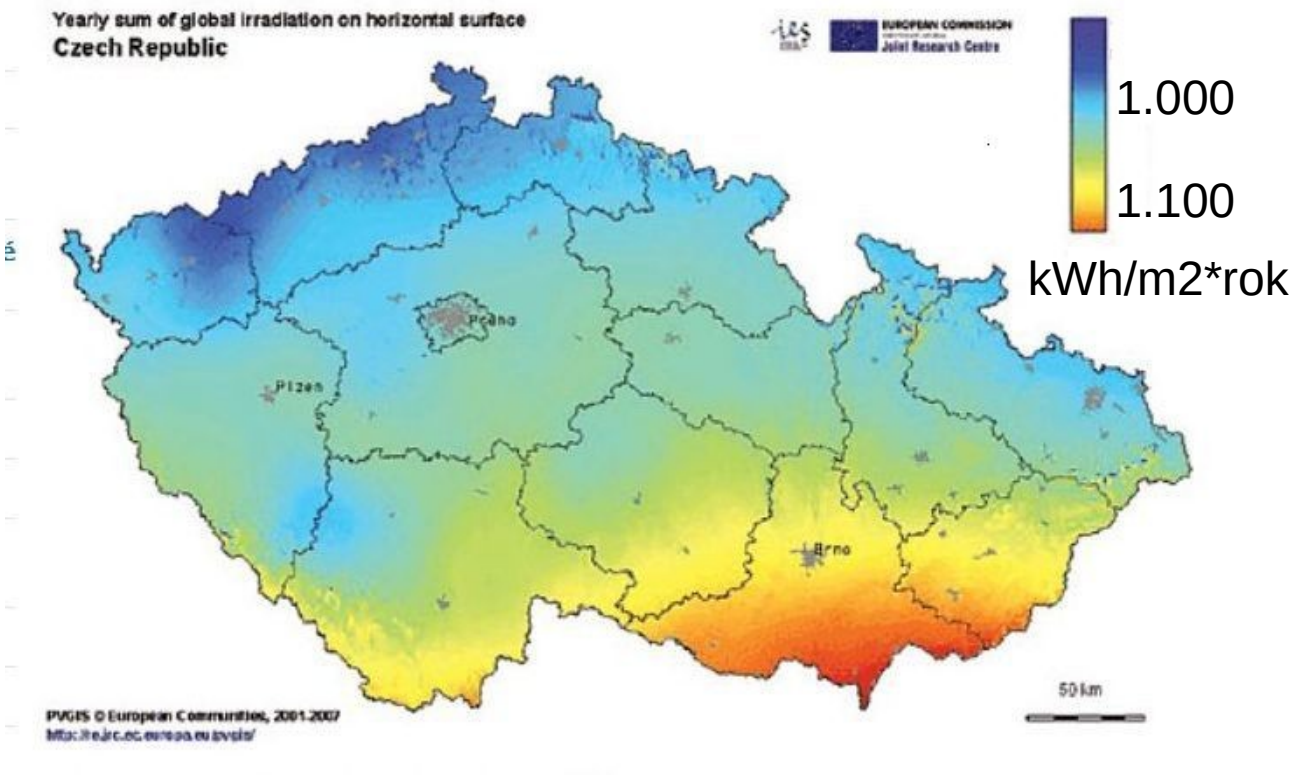


V závislosti na průchodu atmosférou
Označujeme spektra koeficientem atmosférické masy AM:

Nad atmosférou AM 1,0
Svislý průchod = AM 1
Šikmo , např AM 1,5 ve stř Evropě
Kolem rovnodennosti
AM x = AM 1 / sin α



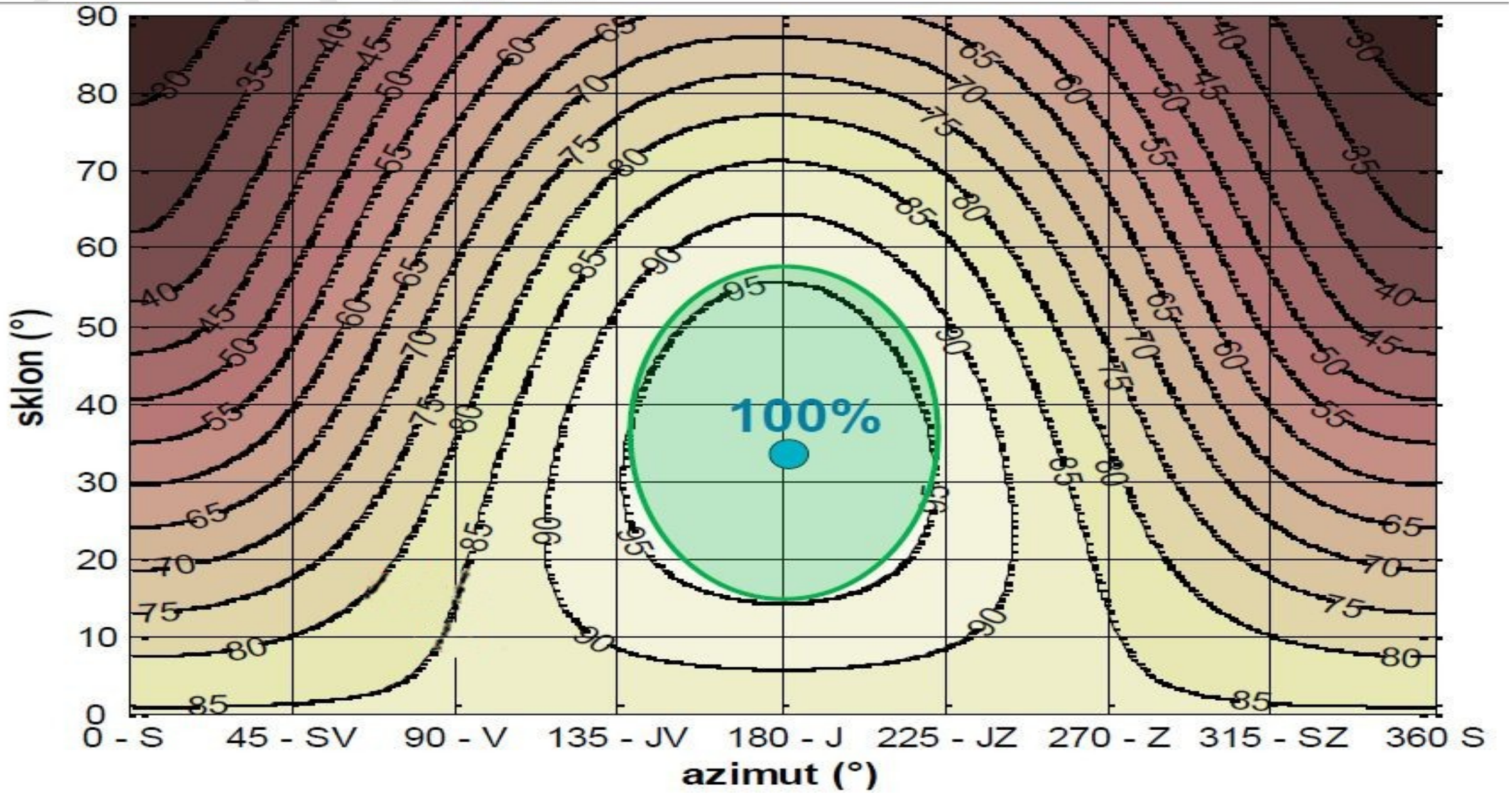




Ve střední Evropě dopadá nakonec ca 1kW/m2
1) přímo +
2) nezanedbatelný podíl difuzního záření
Modré nebe 10% , zamračené nebe podzim/zima až 100%, celoroční průměr 50 až 60%

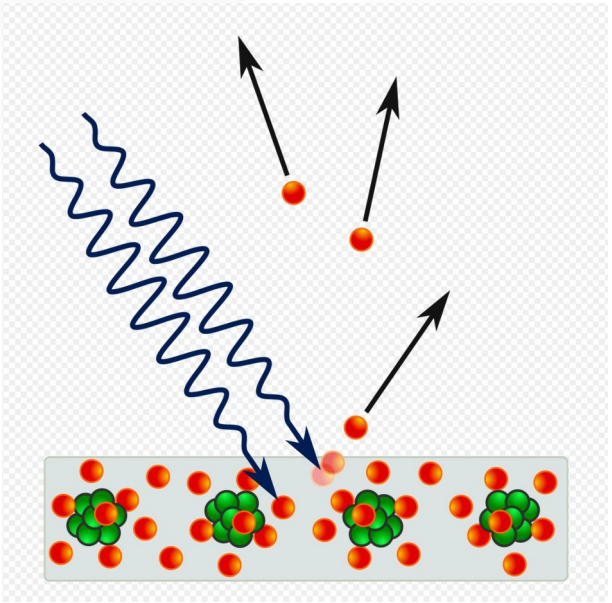
Fotovoltaický článek dodá jmenovitý výkon „p“ = „peak“ právě při tzv STC
25 st C a 1 kW/m2
Nakonec je roční výtěžnost ca 1 MWh z 1 kWp instalovaného výkonu za rok

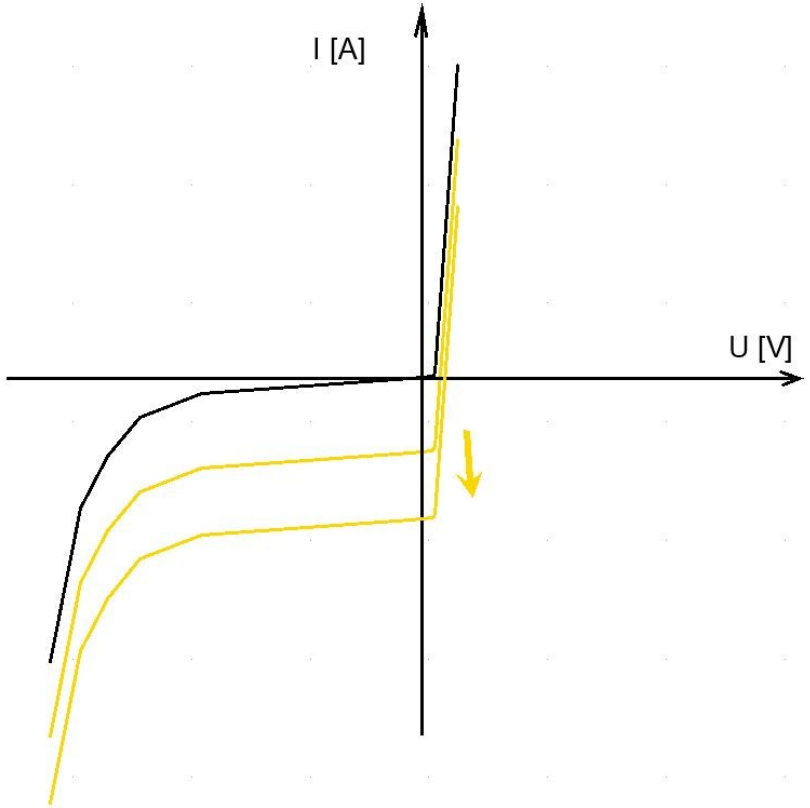
Vliv směrování



Jak přeměnit energii fotonů na energii elektrickou ?

Fotoelektrický jev - Albert Einstein - Nobelova cena za fyziku 1921 E = h*f





Elektron, který díky fotonu překonal zakázaný pás se může zůčastnit vedení elektrického proudu.

Využít lze pouze fotony s energií vyšší, než která odpovídá dle E=h*f energii zakázaného pásu W [eV]

Foton s vyšší energií vyrazí elektron, který nakonec termizuje a vráti se na hranici zakázaného pásu.

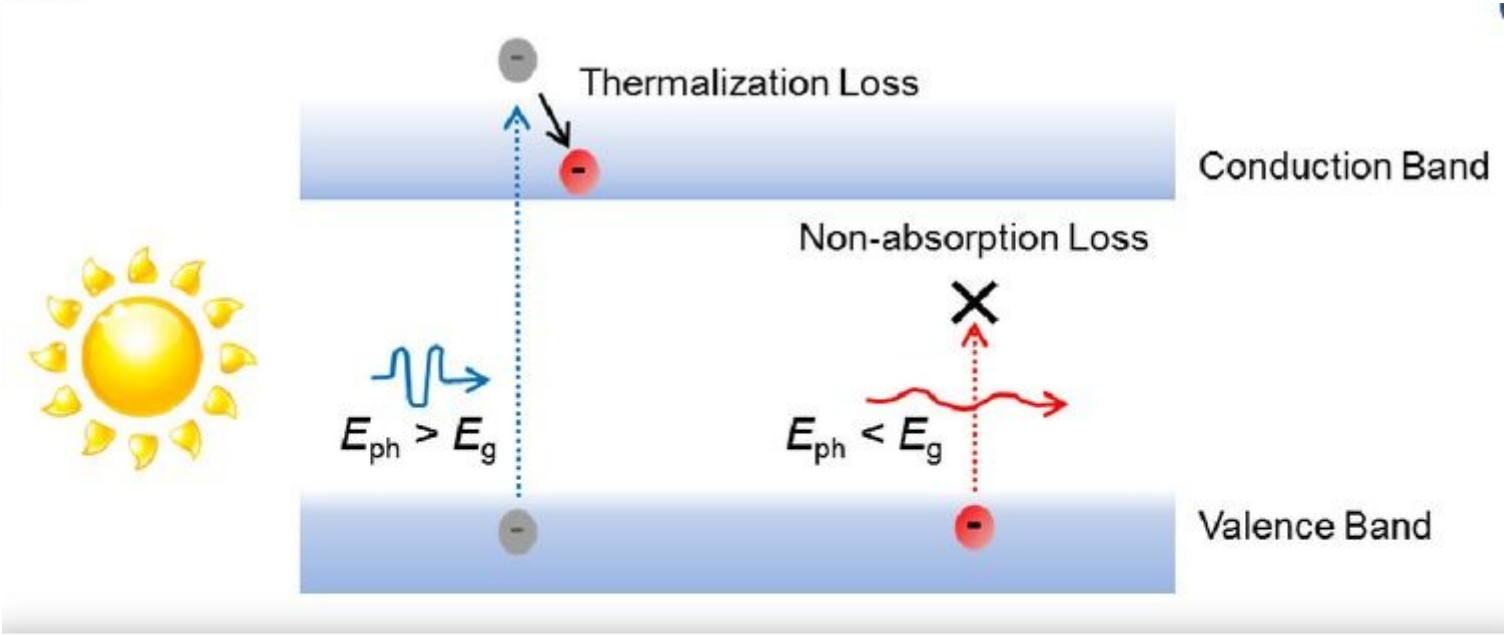


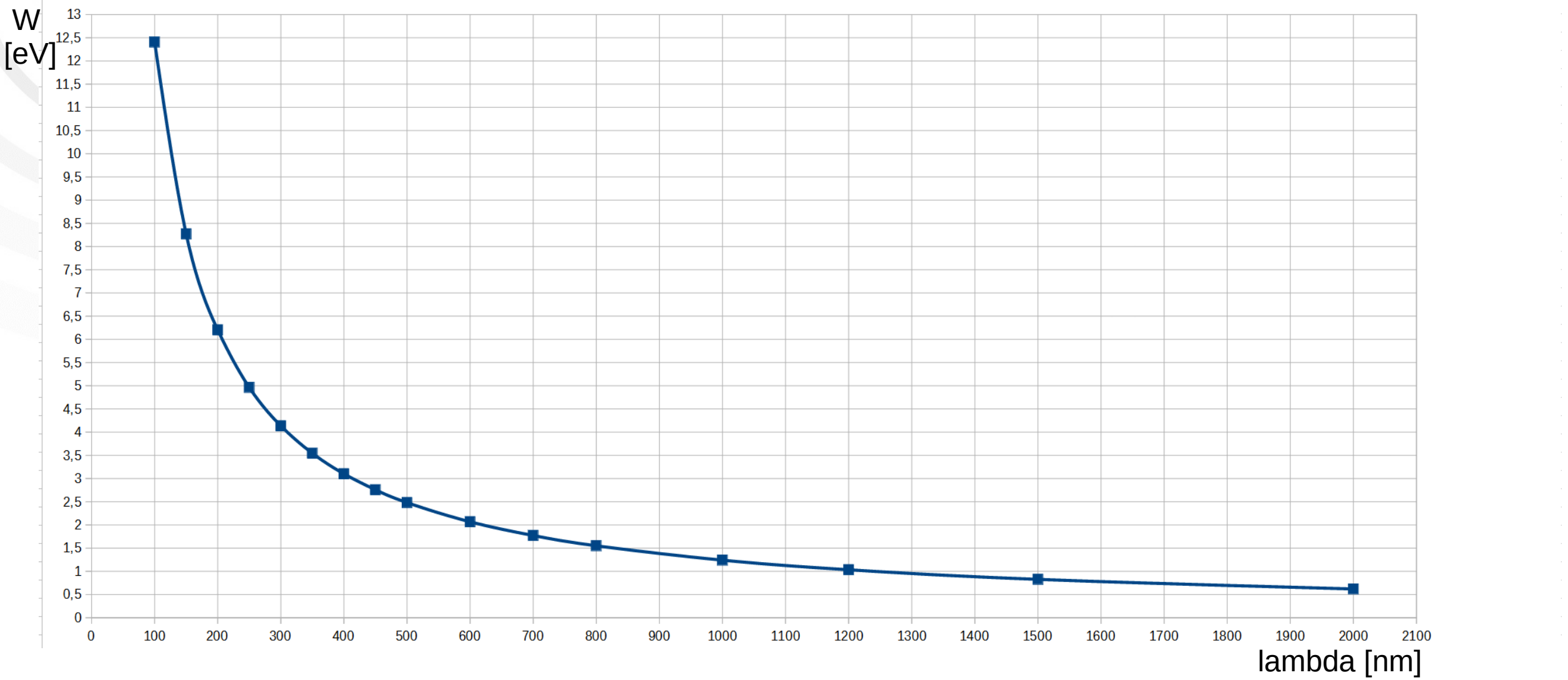
Figure 1.1. Two primary energy loss mechanisms in 1J photovoltaic cells

Published in 2016

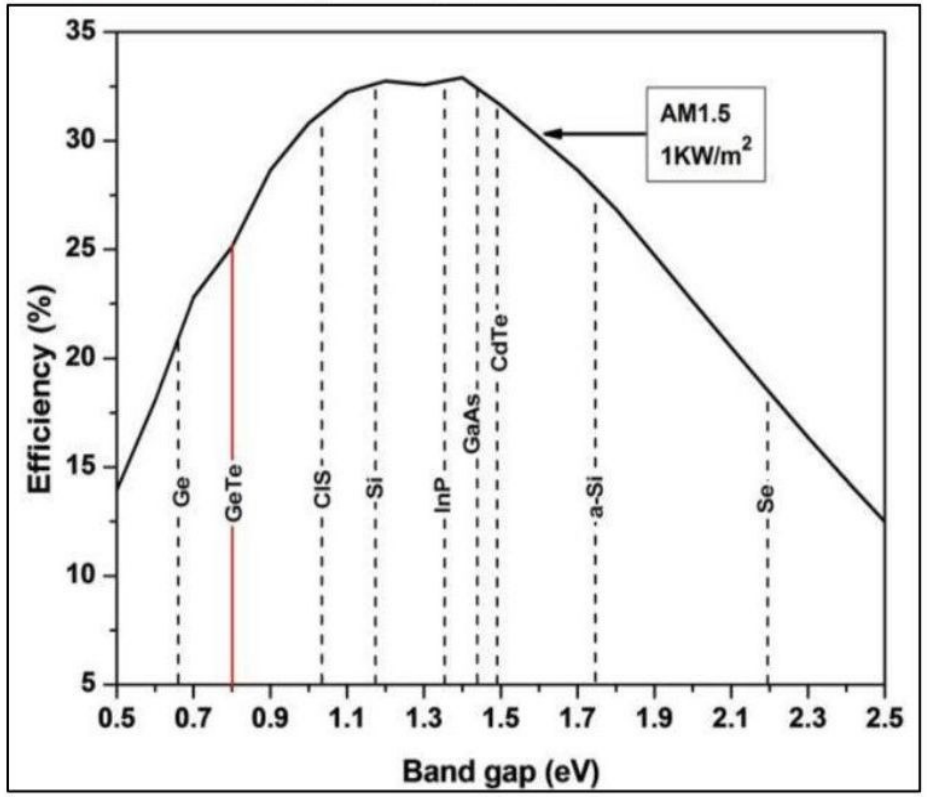
Beyond the Shockley-Queisser limit: intermediate band and tandem solar cells leveraging silicon and CdTe technology

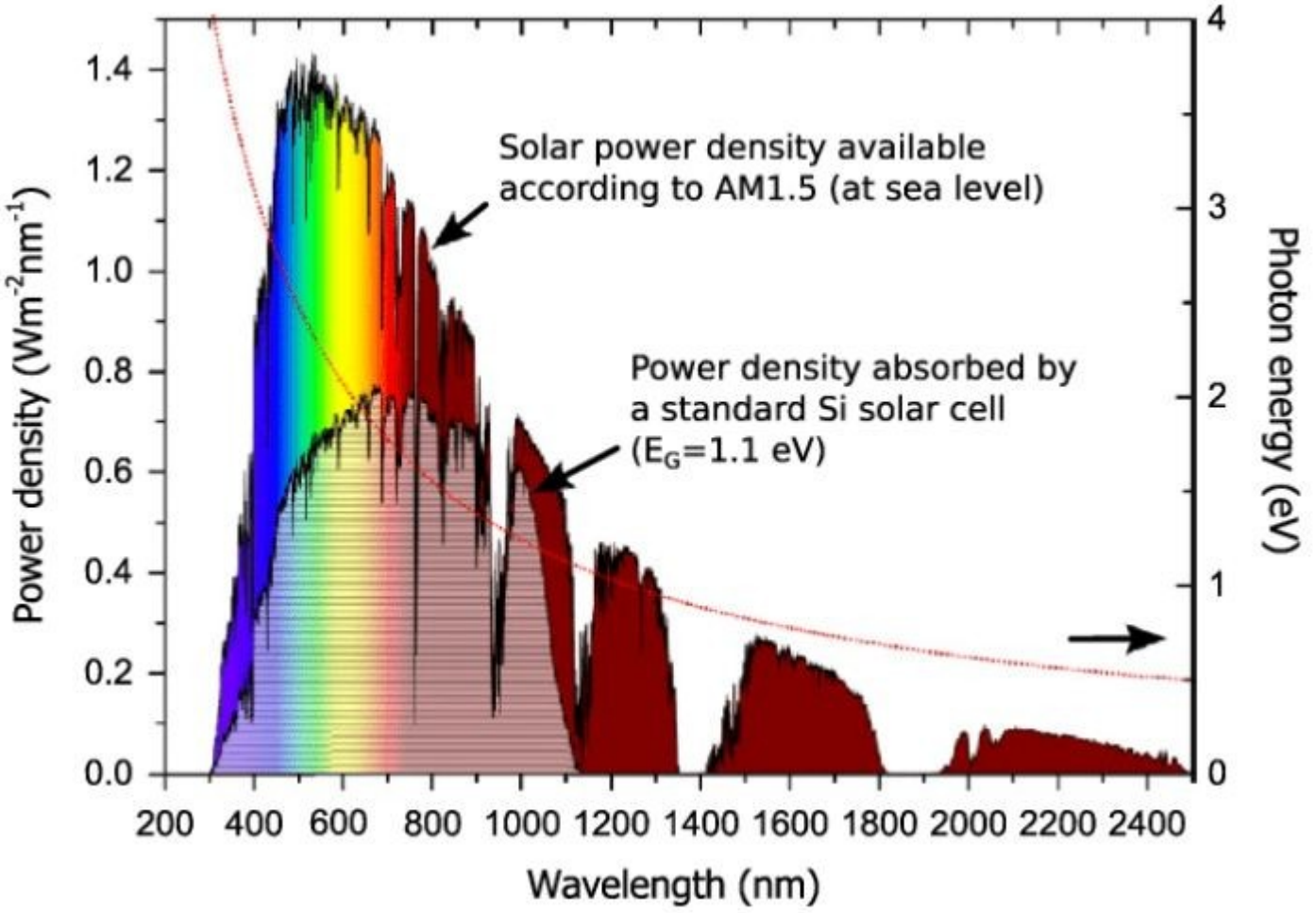
Jonathan P. Mailoa

lambda [nm]	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	1000	1200	1500	2000
lambda [m]	0,0000001	0,00000015	0,0000002	0,00000025	0,0000003	0,00000035	0,0000004	0,00000045	0,0000005	0,0000006	0,0000007	0,0000008	0,000001	0,0000012	0,0000015	0,000002
f [Hz]	3E+015	2E+015	1,5E+15	1,2E+15	1E+15	8,5714E+14	7,5E+14	6,6667E+14	6E+14	5E+14	4,2857E+14	3,75E+14	3E+14	2,5E+14	2E+14	1,5E+14
f [THz]	3000	2000	1500	1200	1000	857,142857	750	666,666667	600	500	428,571429	375	300	250	200	150
W [eV]	12,407001	8,271334	6,2035005	4,9628004	4,135667	3,54485743	3,10175025	2,75711133	2,4814002	2,0678335	1,77242871	1,55087513	1,2407001	1,03391675	0,8271334	0,62035005



Queisser-Shockleyův limit



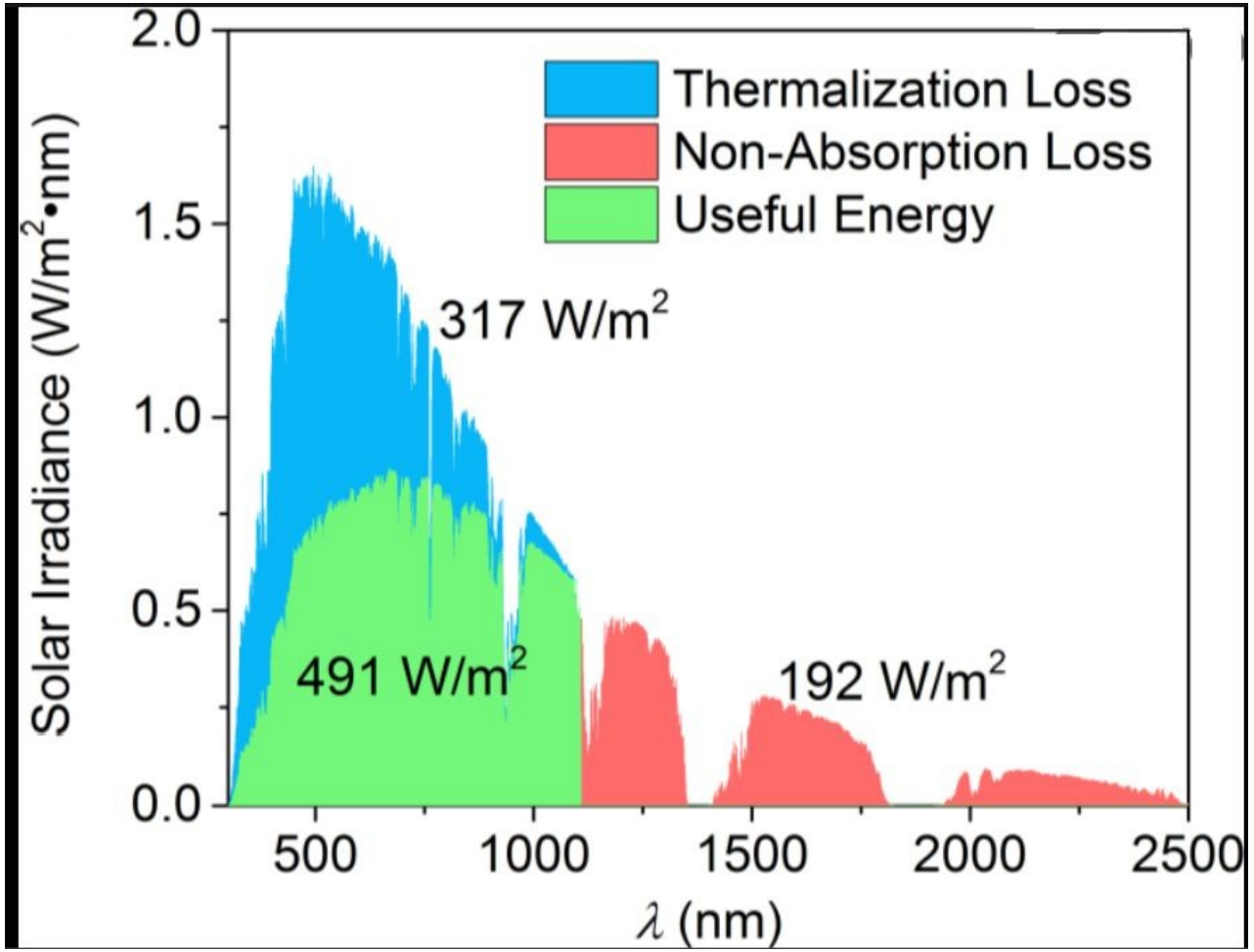


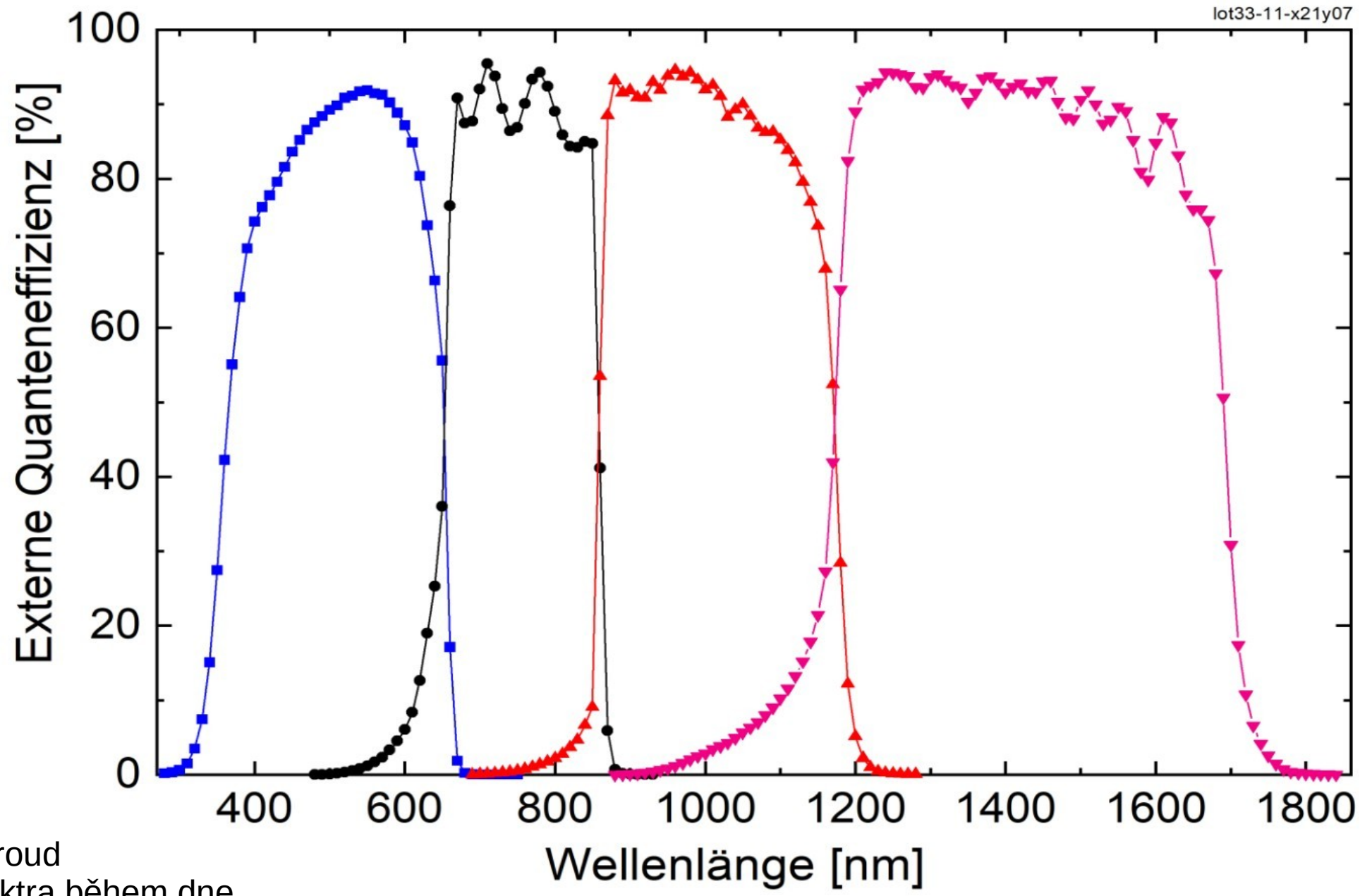
Když použijeme polovodič s širším
Zakázaným pásmem, stejně si nepomůžeme.

Spektrum sleduje křivku záření
absolutně černého tělesa o teplotě 5.523 K .

Fyzikální limit je 33% , blíží se mu GaAs, ale je extrémně drahý

29,5% pro křemík, kterého máme dostatek za nízkou cenu

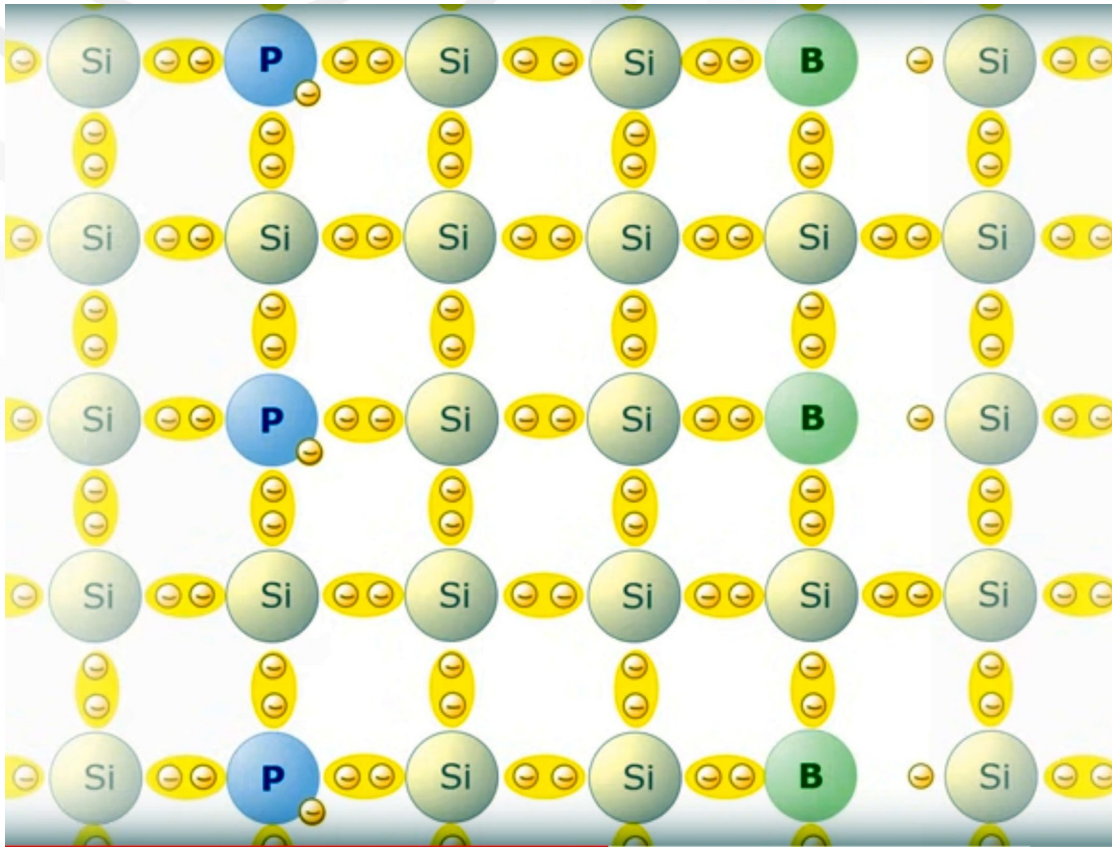


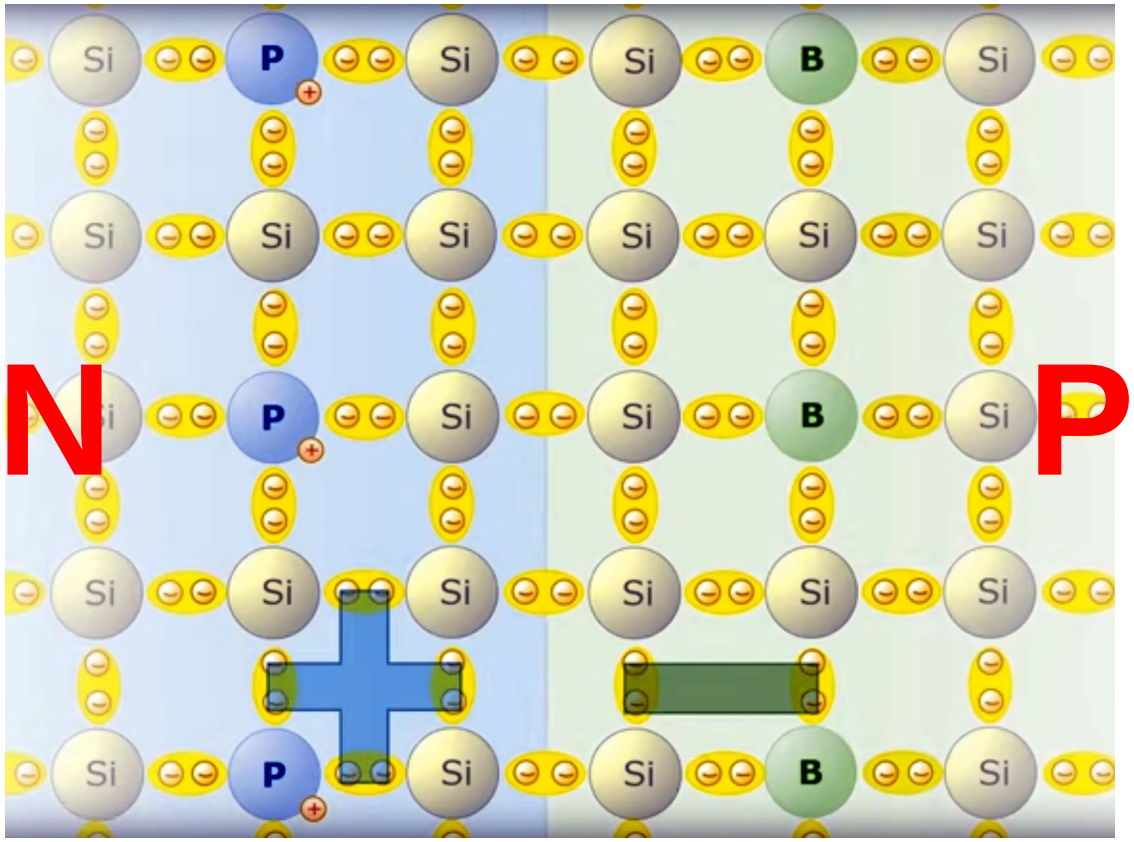


Jak překročit Queisser-Shockley Limit ?

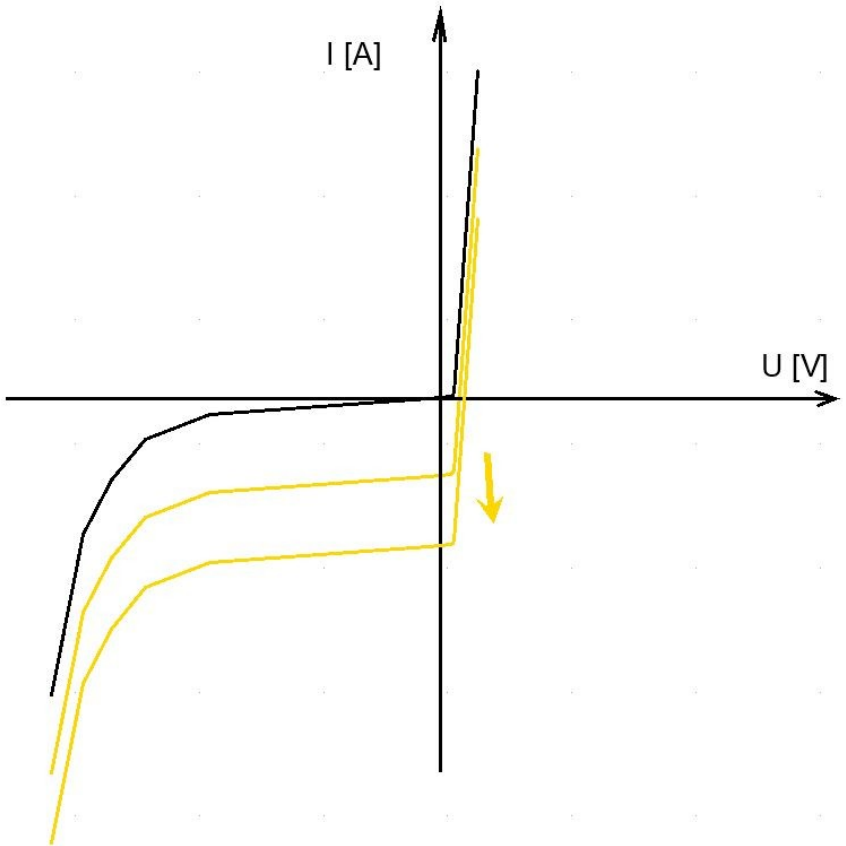
Tandemový článek:
- více vrstev
- každá má svůj limit
- každá dodá stejný proud
- problém: změna spektra během dne

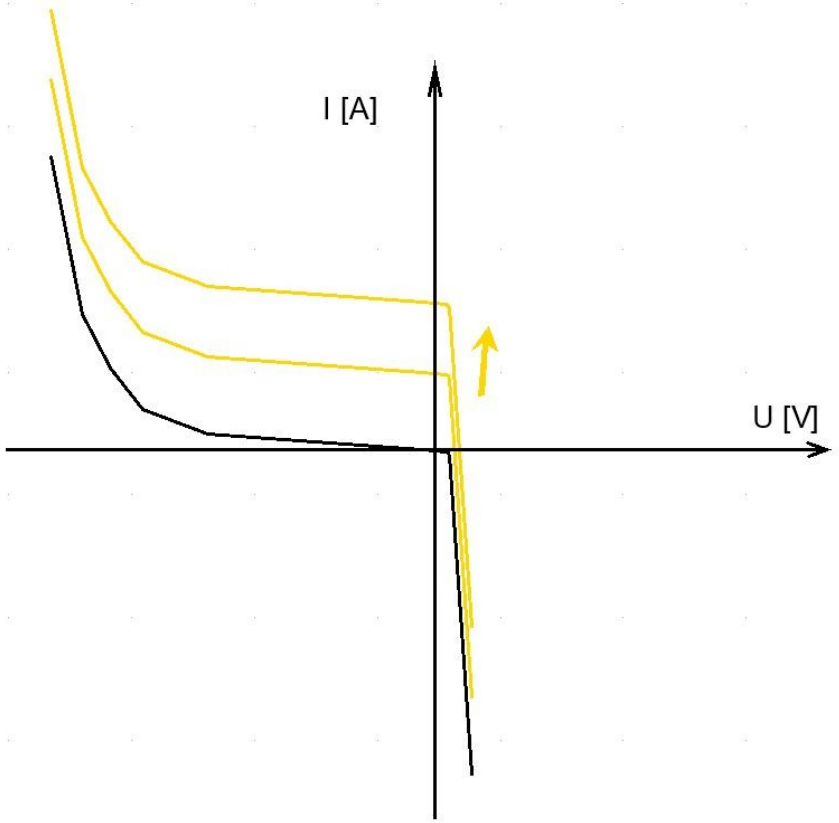
Jak funguje FV článek ?
Je to křemíková velkoplšná dioda
Křemík má 4 valenční elektrony
Fosfor má 5 valečních elektronů – dodatace – typ N
Bór má 3 valenční elektrony – dotace – typ P



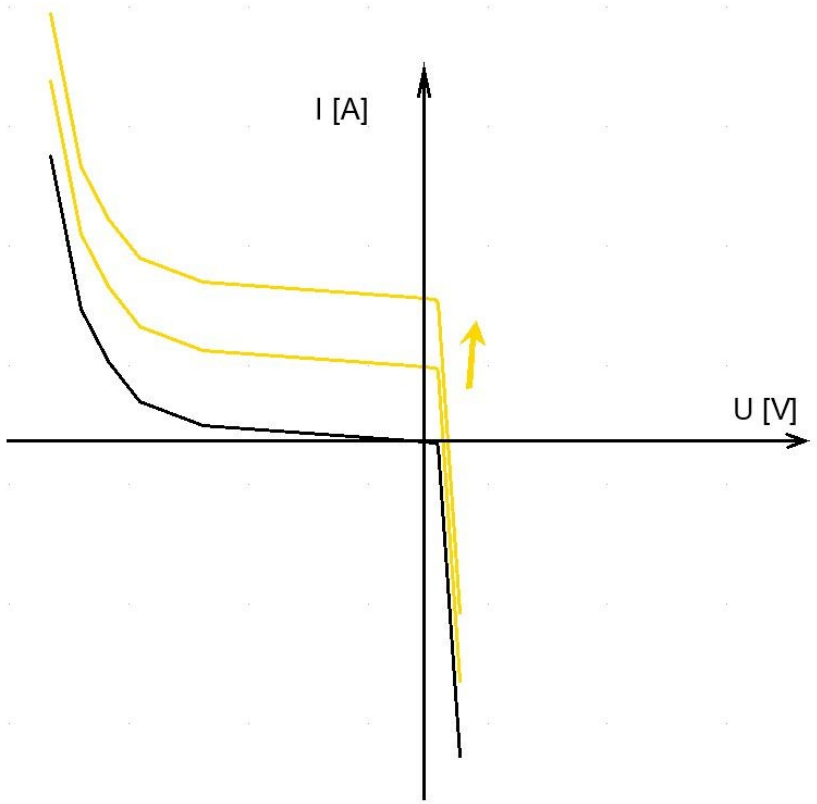


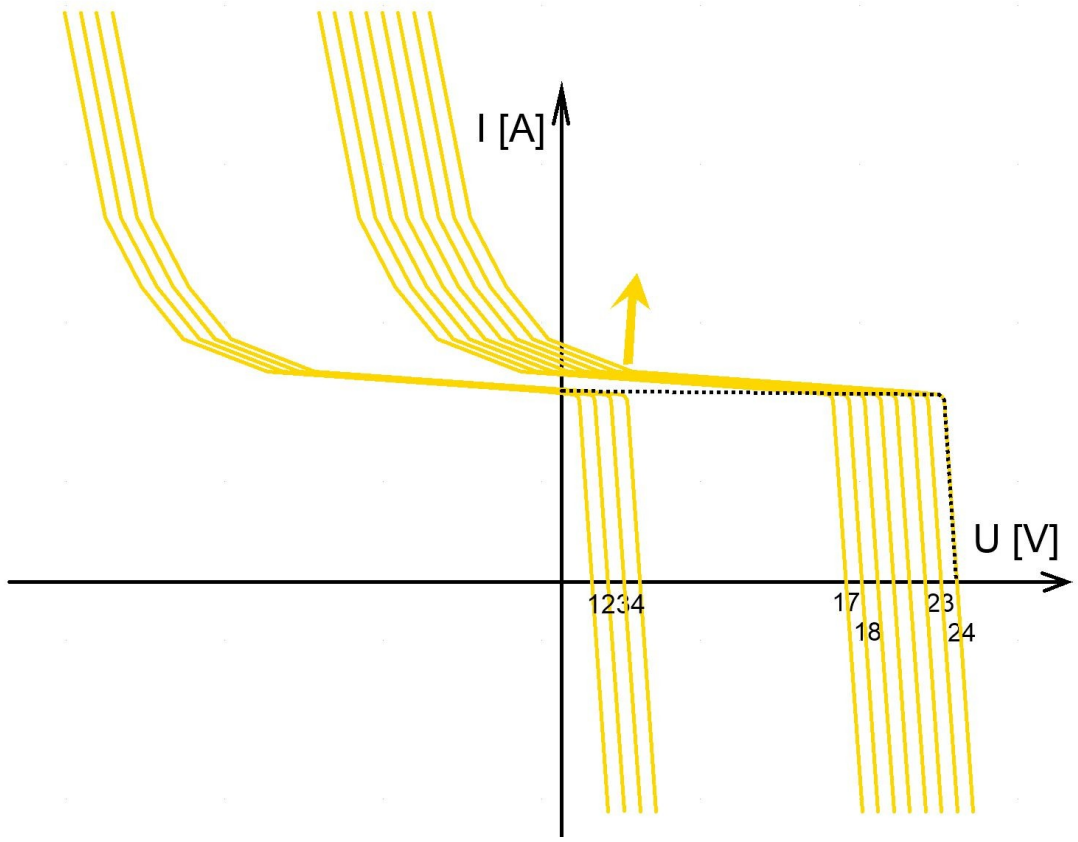
V-A charakteristiky: od diody k solárnímu modulu



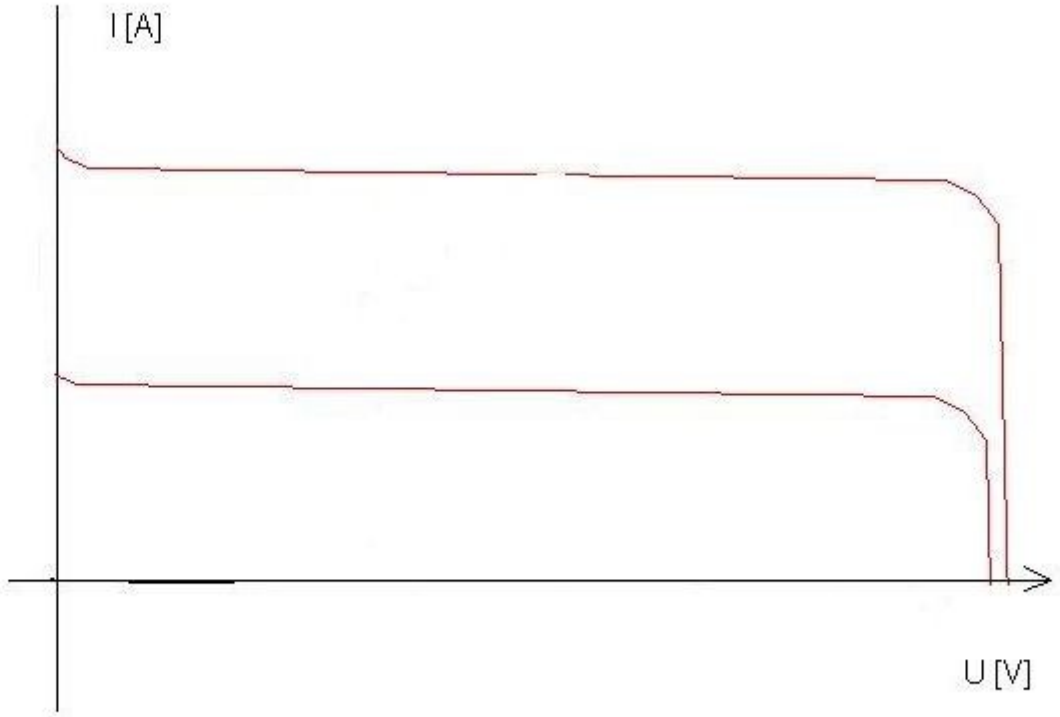


V-A charakteristiky: od diody k solárnímu modulu

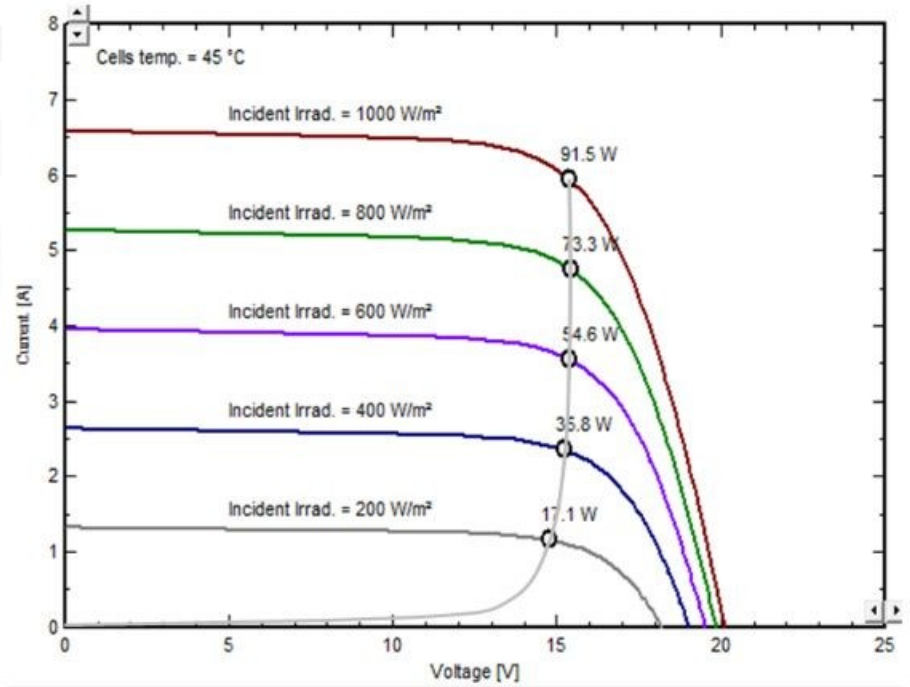


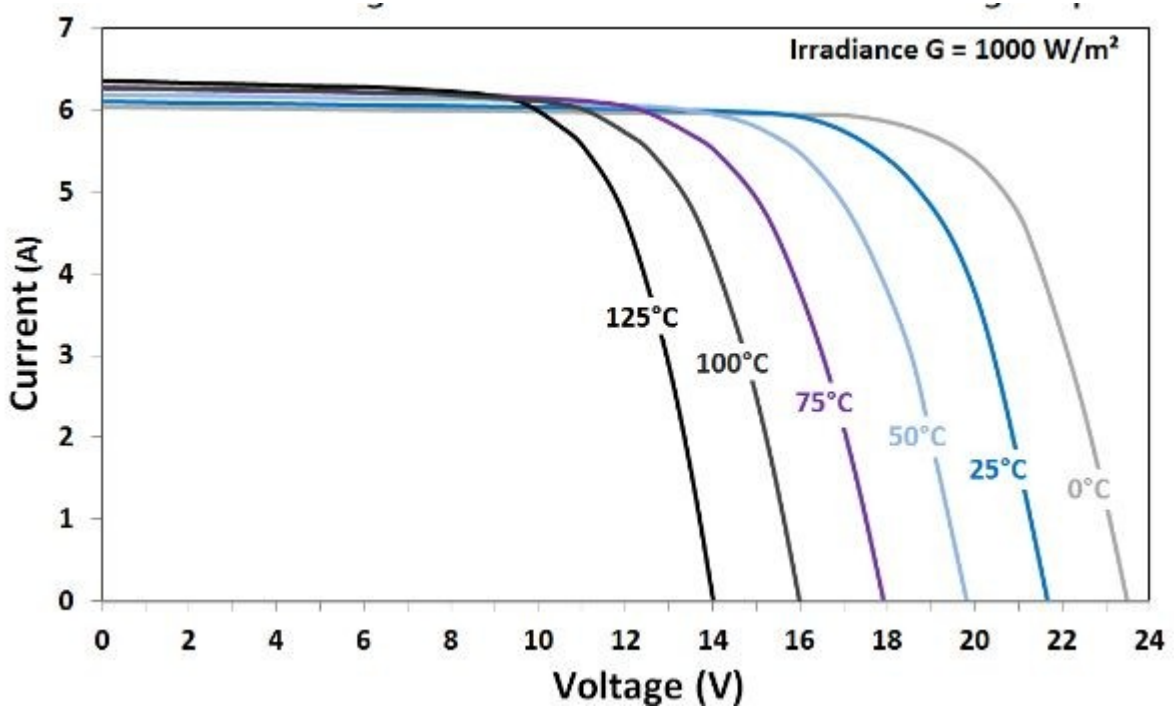


V-A charakteristika solárního modulu



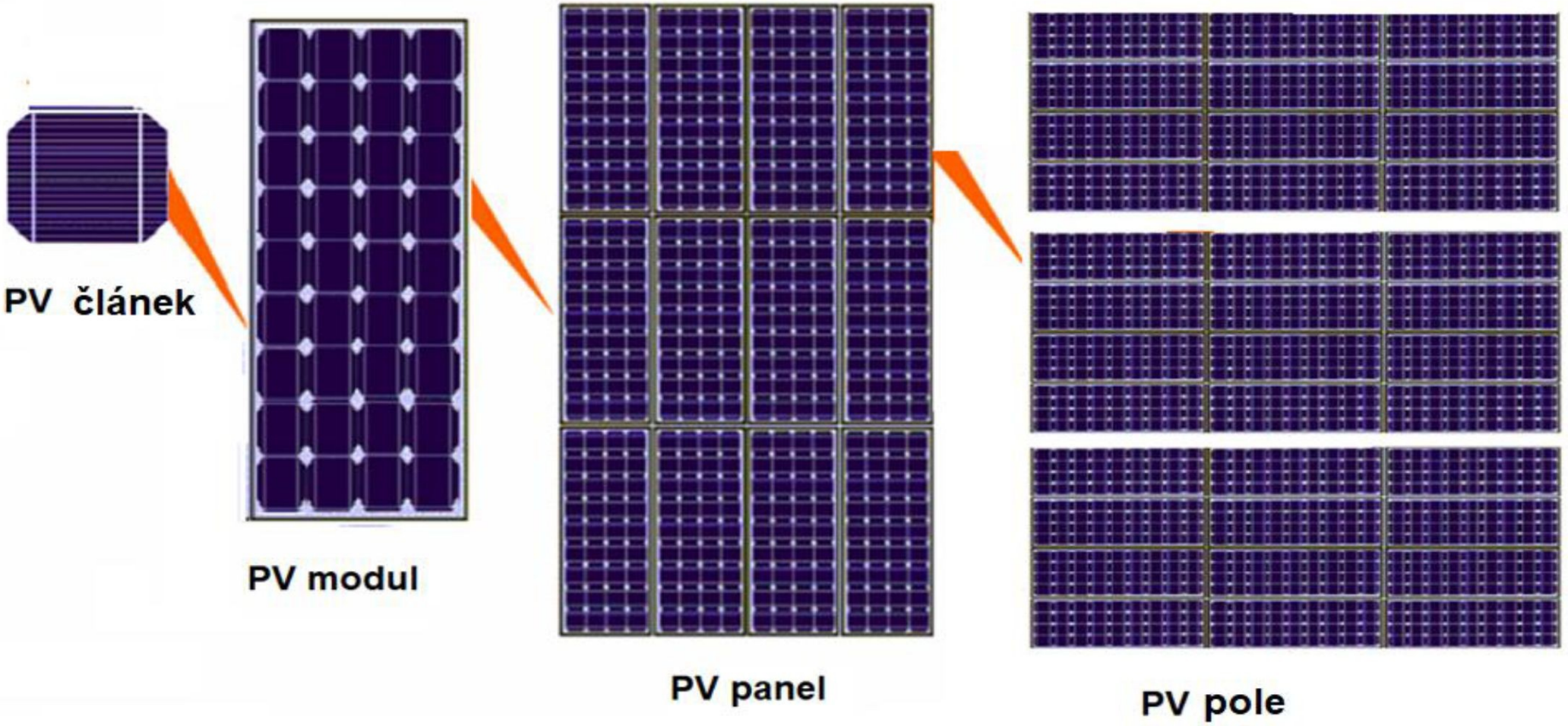
V-A charekteriastika a tím i MPP bod se mění s ozářením a s teplotou

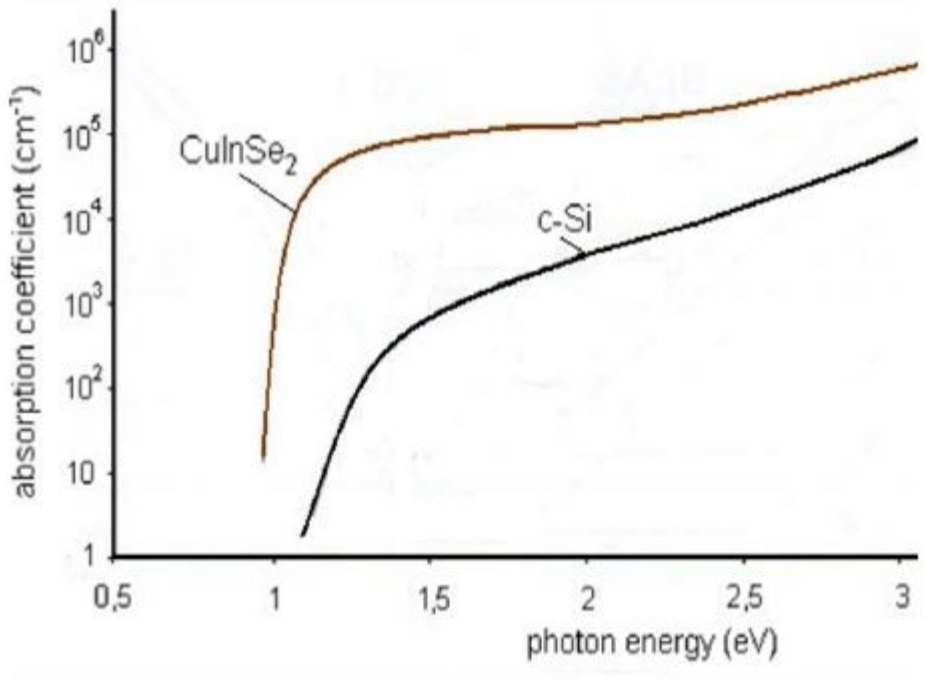




je více druhů:
polykrystalické, monokrystalické,
bifaciální, half cell (half cut), celočerné, barevné,

Názvosloví dle ČSN CLC/TS 61836

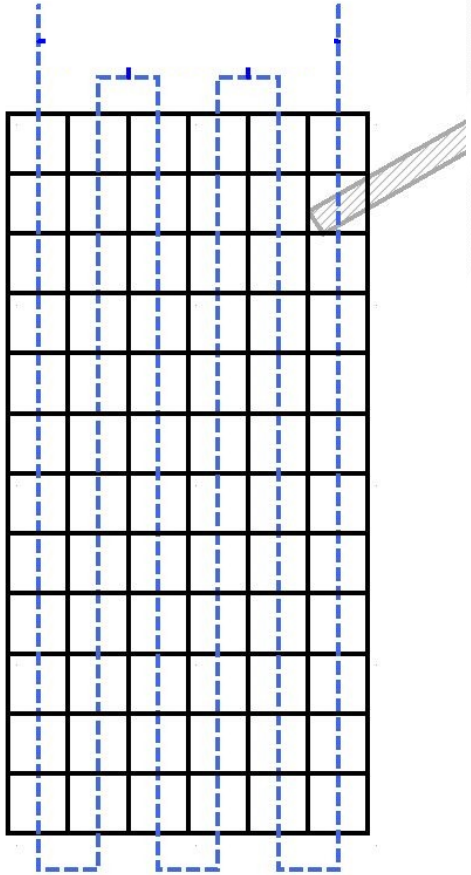


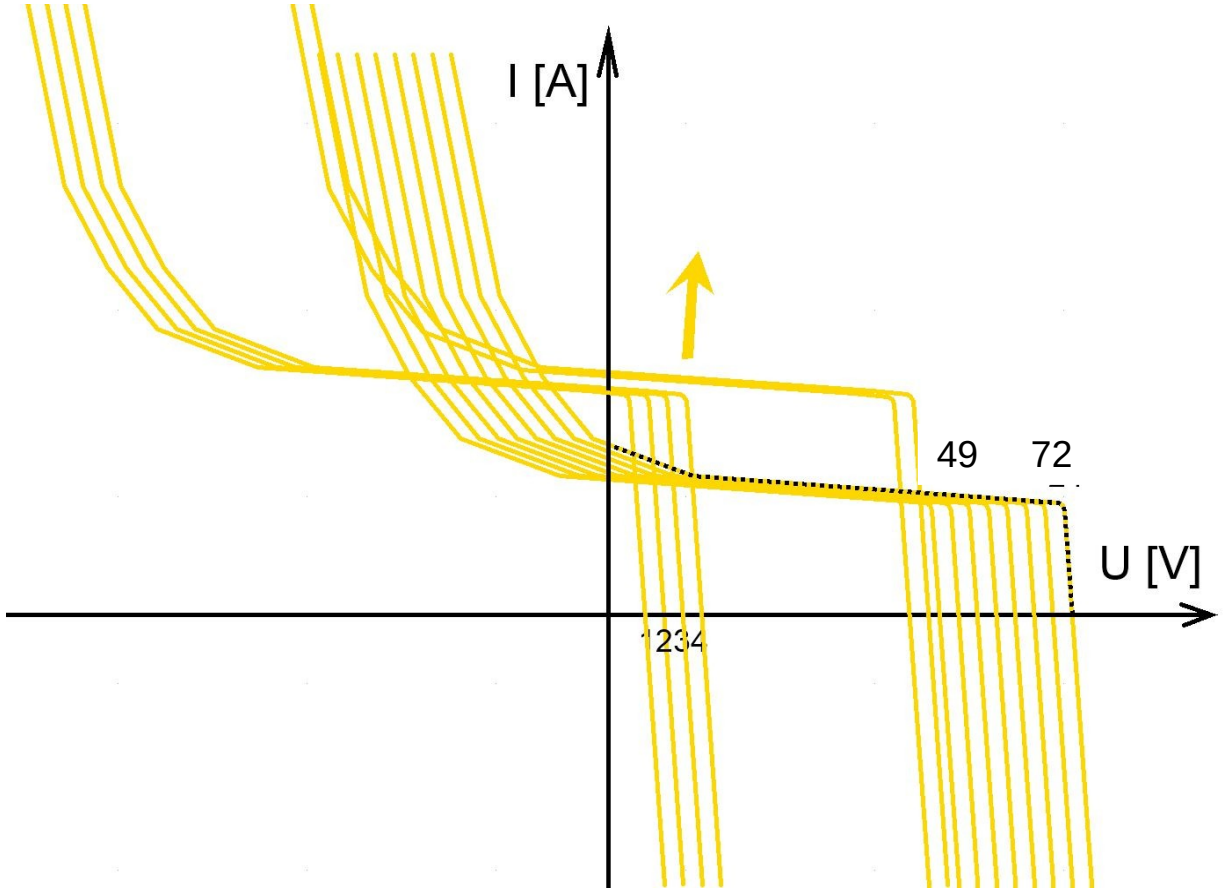


- Krystalickáý křemík (c-Si) má nízký absorpční koeficient [cm-1] , proto vyžaduje poměrně tlustou vrstvu 100-ky um, je to však velmi dostupný materiál a má výhodny Quassier-Shockleyův limit a dosaženou účinnost

- Ostatní polovodiče využívané pro fotovoltaiku mají vyšší absorbční koeficiet, proto k pohlcení fotonů s dostatečnou účinností postačí tenčí vrstvy (100-ky nm až jednotky um).
Tyto materály mají výhodnější spektrální citlivost i směrové vlastnosti pro difuznío záření.
Např: a-Si , a-SiGe , CdTe/CdS , ….

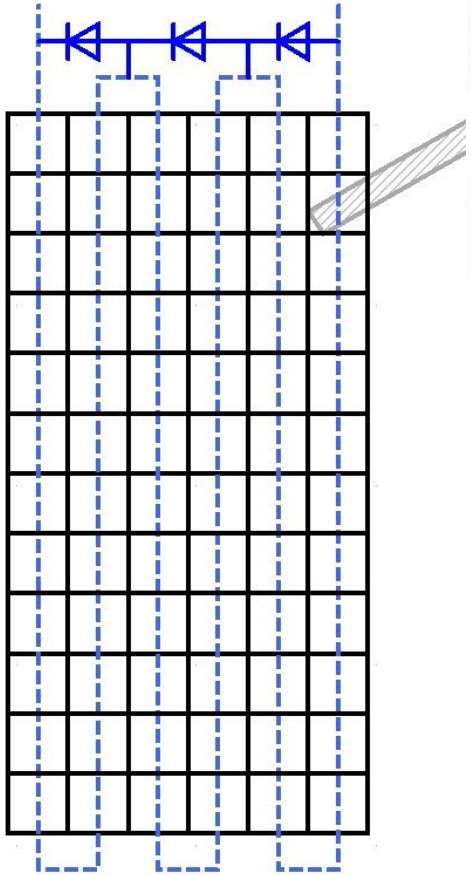
Vliv zastínění

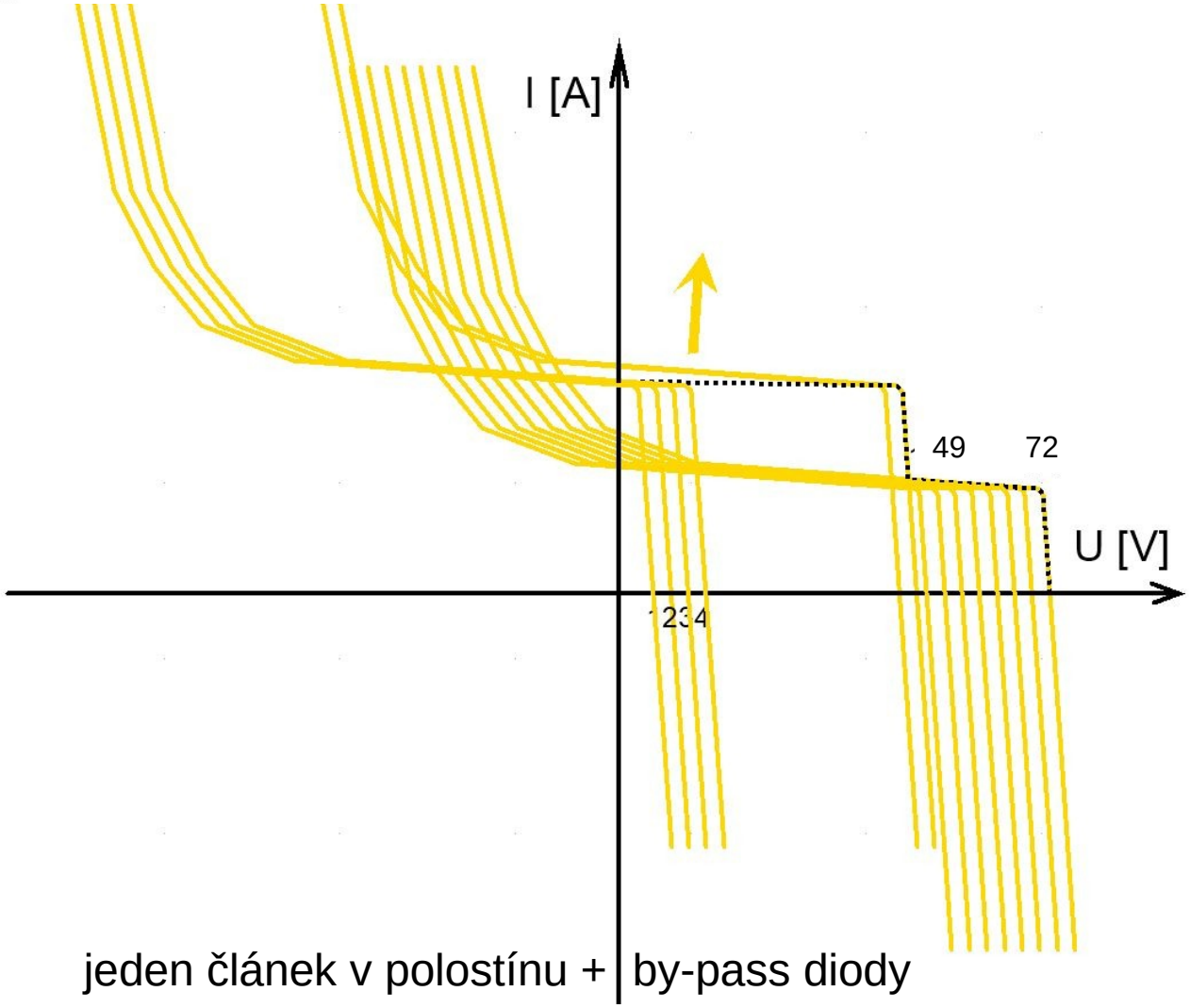




jeden článek v polostínu, modul bez by-pass diod

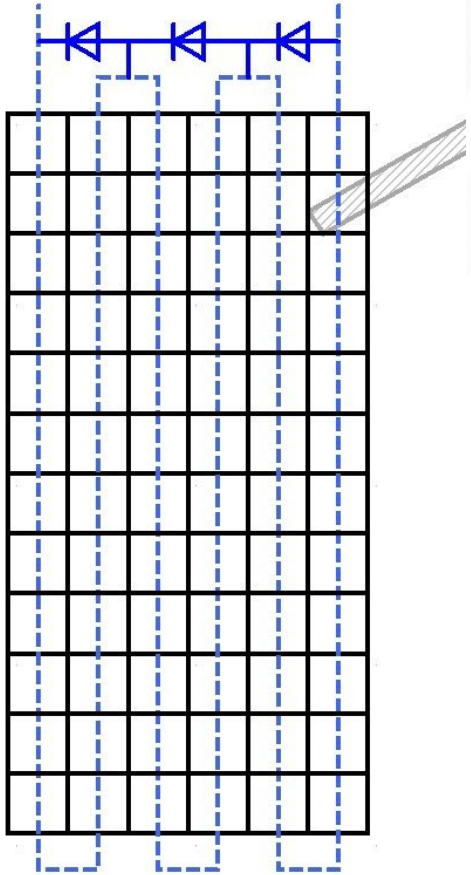
Vliv zastínění

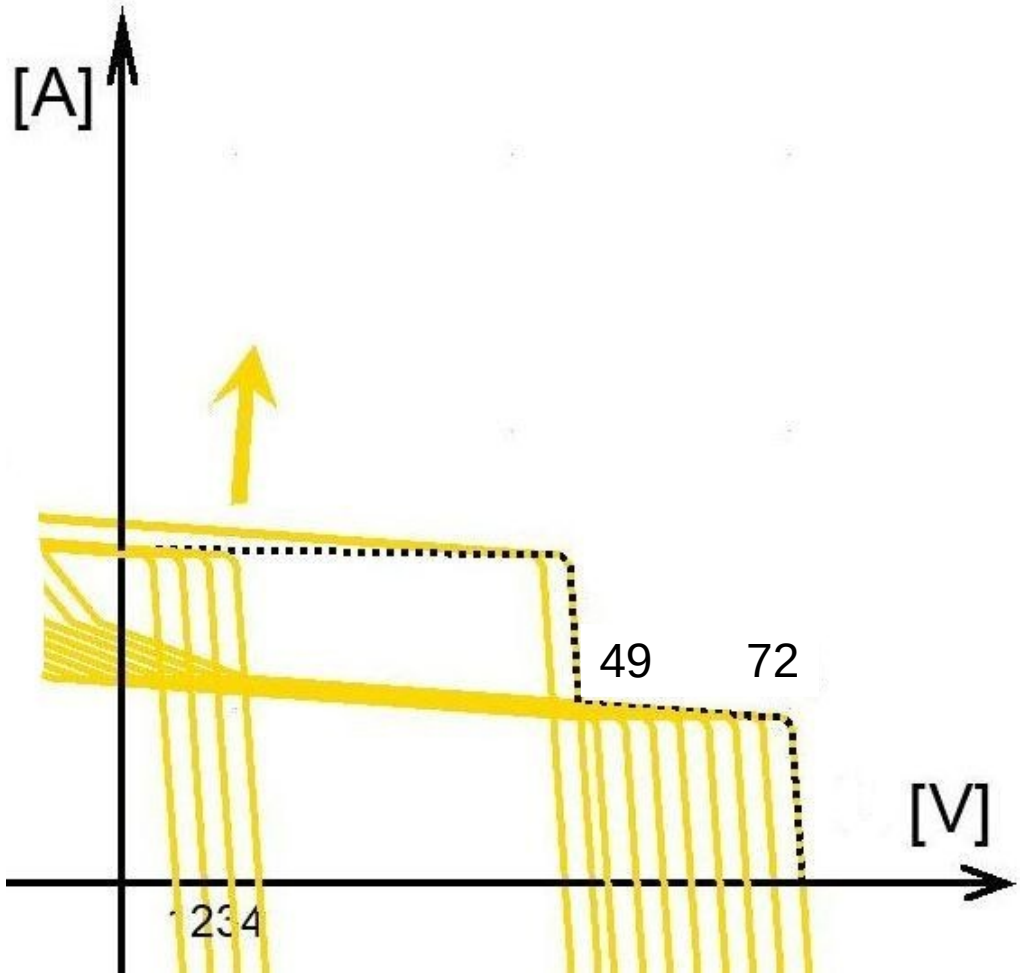


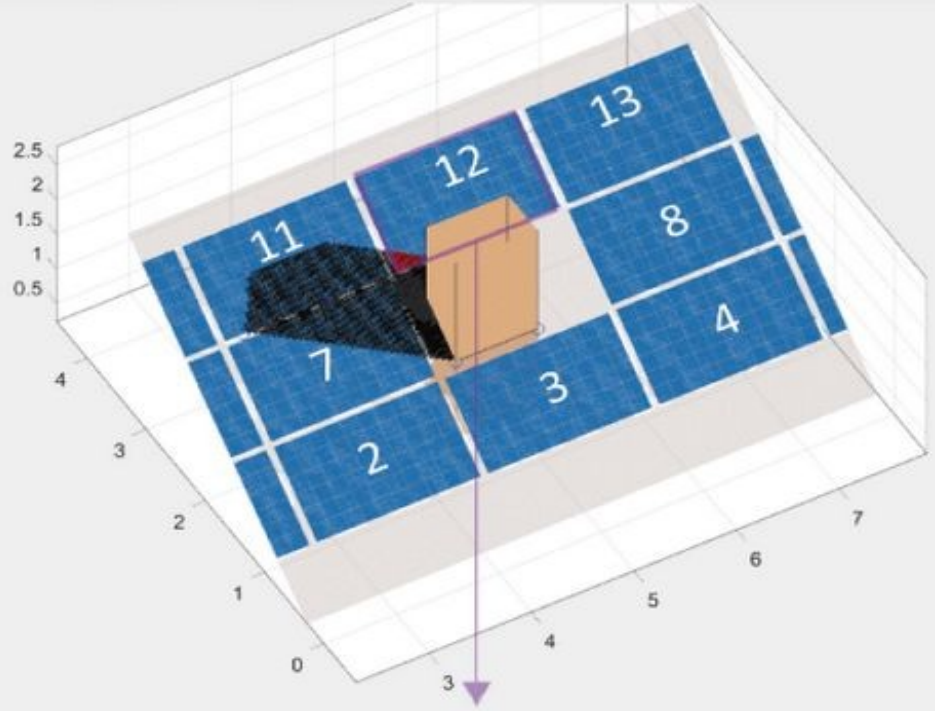


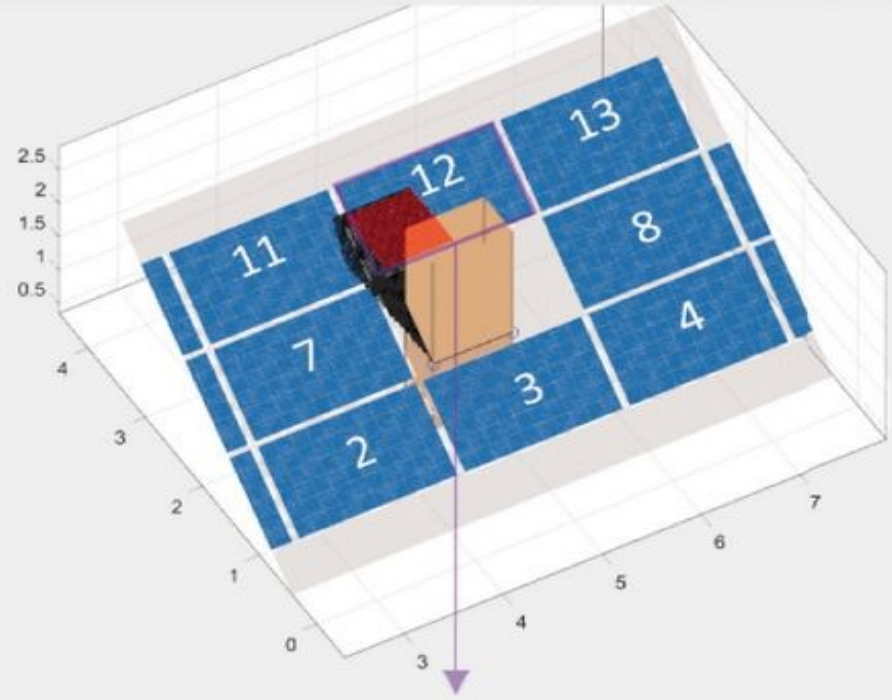
jeden článek v polostínu + by-pass diody

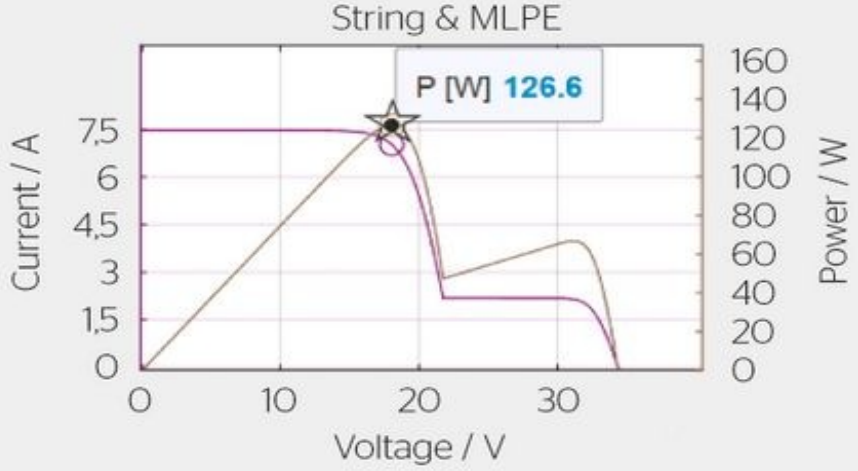
Vliv zastínění

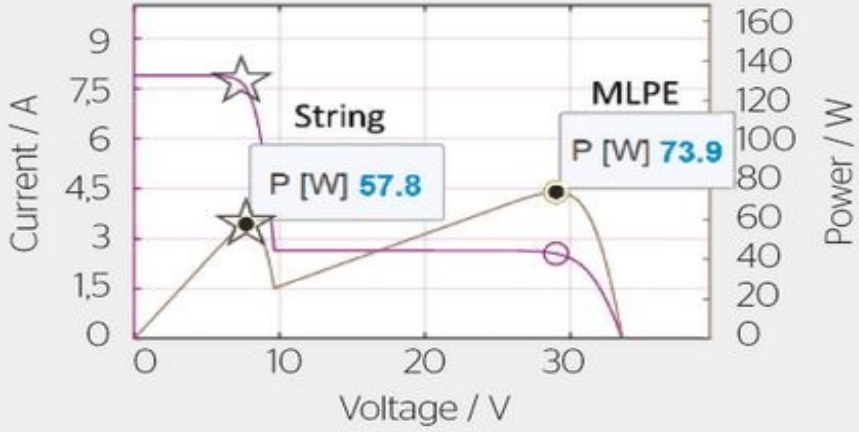


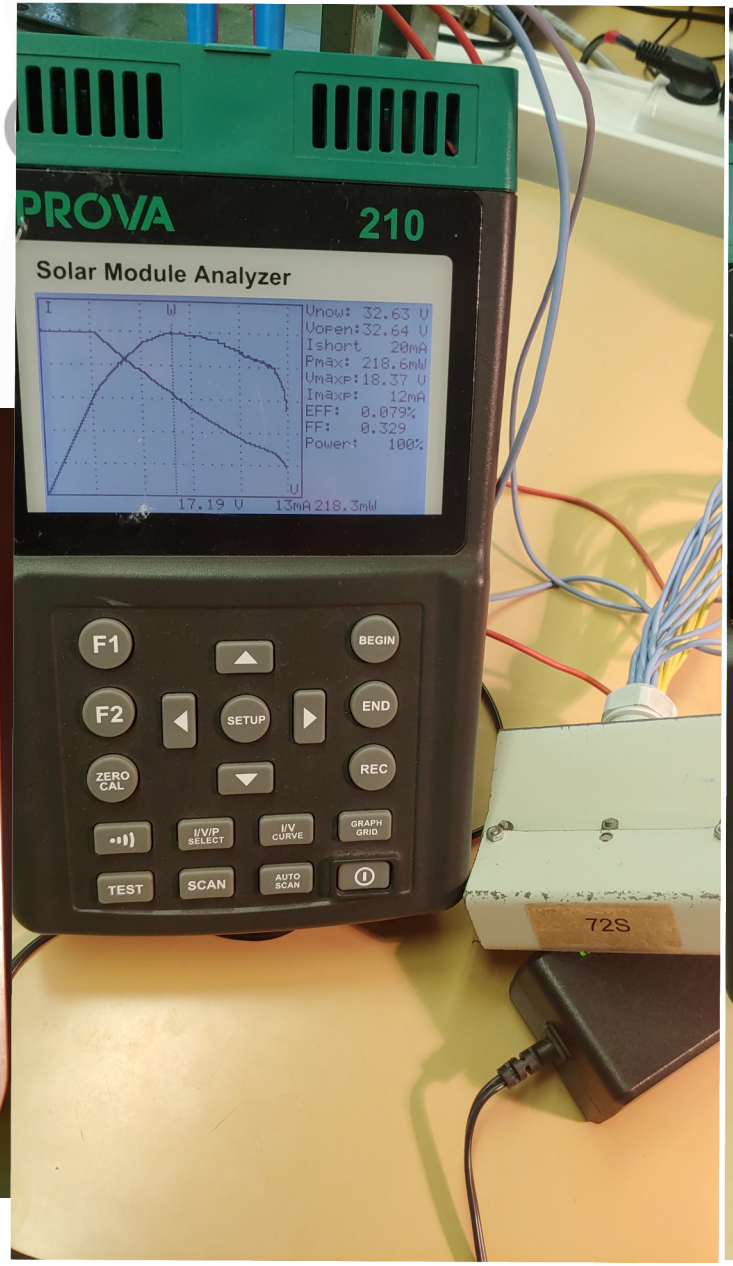


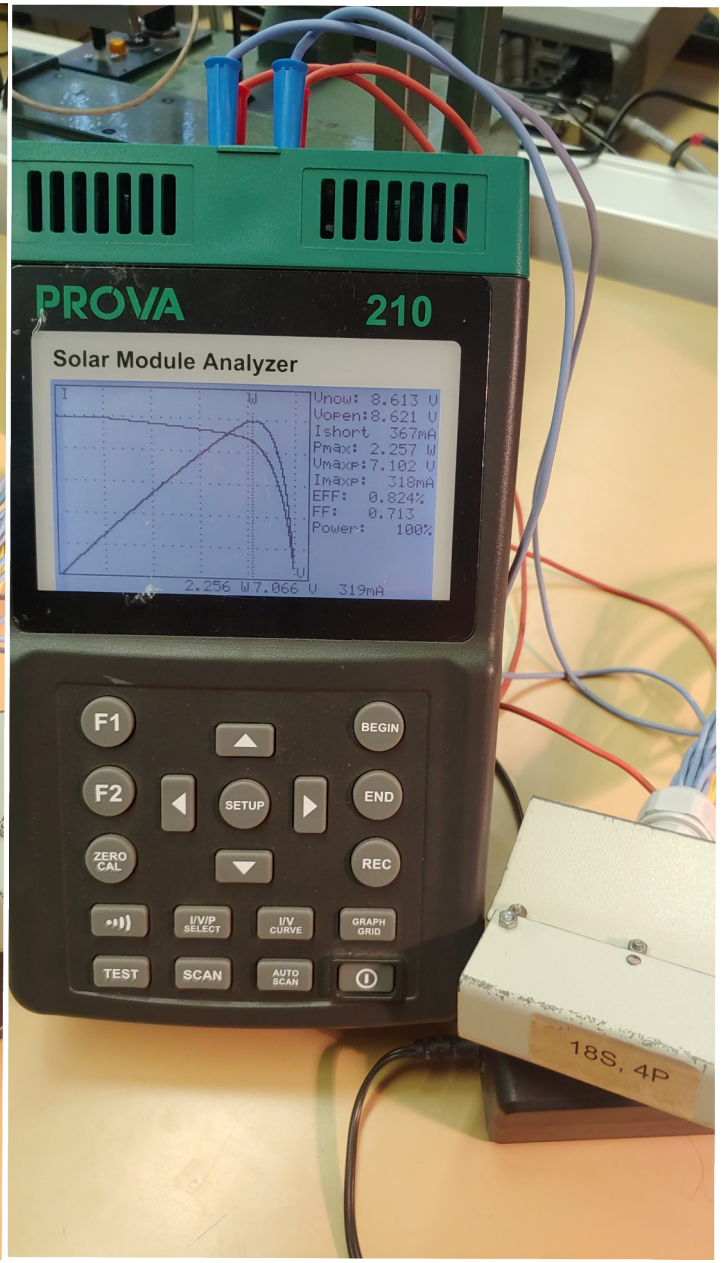

11
12
13
8
4
7
3
2

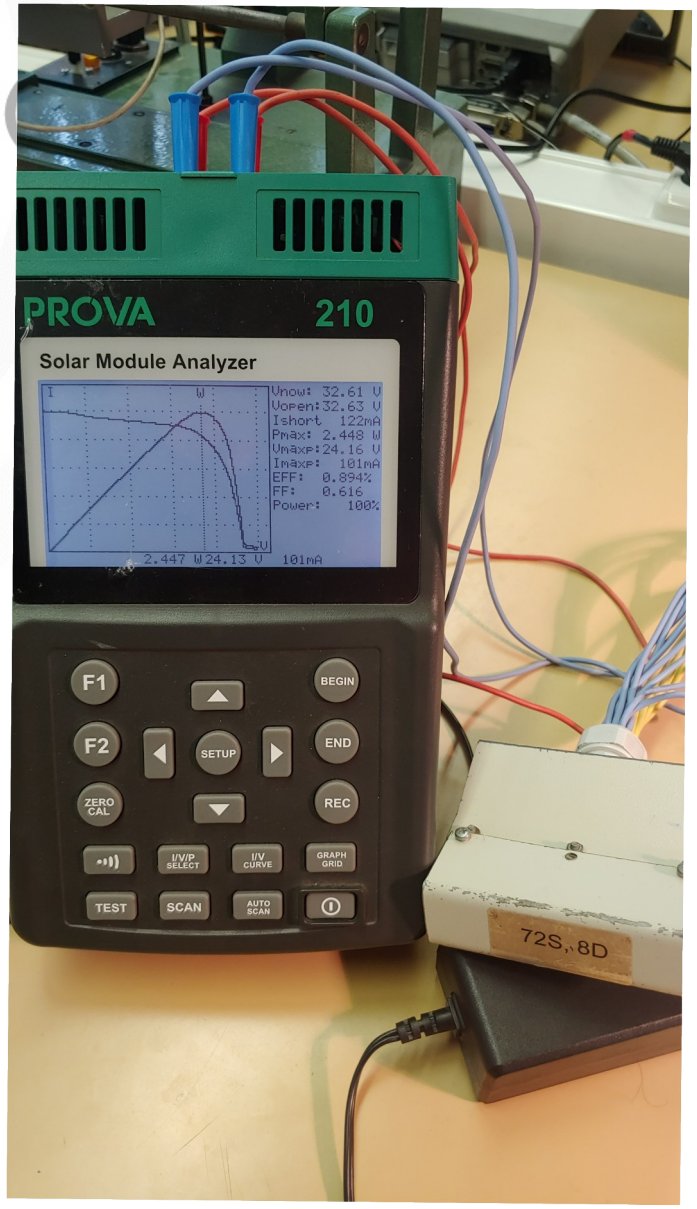

11
12
13
8
4
7
3
2

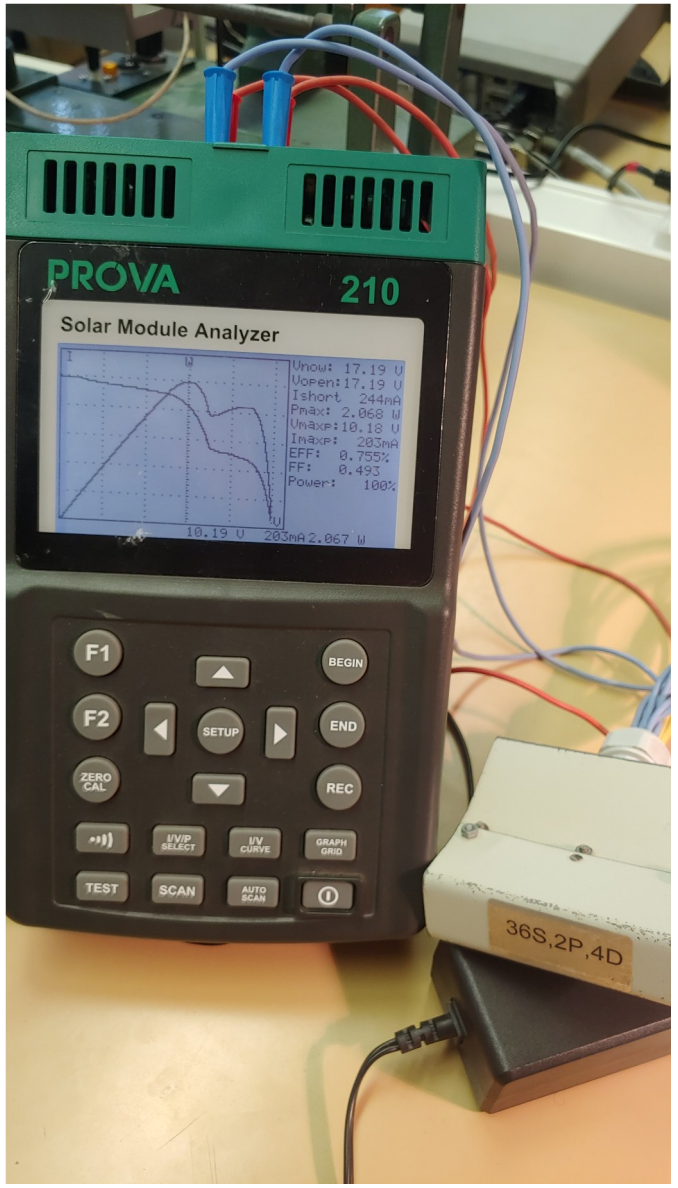

String & MLPE
P [W] 126.6
Current / A
Power / W
Voltage / V


String
P [W] 57.8
MLPE
P [W] 73.9
Current / A
Power / W
Voltage / V


PROVA
210
Solar Module Analyzer
Vnow: 32.63 V
Voper:32.64 V
Ishort 20mA
Pmax: 218.6mW
Vmaxp:18.37 V
Imaxp: 12mA
EFF: 0.079%
FF: 0.329
Power: 100%
17.19 V 13mA 218.3mW
F1
F2
SETUP
BEGIN
END
REC
ZERO CAL
I/V/P SELECT
I/V CURVE
GRAPH GRID
TEST
SCAN
AUTO SCAN
72S


PROVA
210
Solar Module Analyzer
Vnow: 8.613 V
Voper:8.621 V
Ishort 367mA
Pmax: 2.257 W
Vmaxp:7.102 V
Imaxp: 318mA
EFF: 0.824%
FF: 0.713
Power: 100%
2.256 W 7.066 V 319mA
F1
F2
SETUP
BEGIN
END
REC
ZERO CAL
I/V/P SELECT
I/V CURVE
GRAPH GRID
TEST
SCAN
AUTO SCAN
18S, 4P


PROVA
210
Solar Module Analyzer
Vnow: 32.61 V
Voren:32.63 V
Ishort 122mA
Pmax: 2.448 W
Vmaxp:24.16 V
Imaxp: 101mA
EFF: 0.894%
FF: 0.616
Power: 100%
2.447 W 24.13 V 101mA
F1
F2
BEGIN
END
SETUP
ZERO CAL
REC
I/V/P SELECT
I/V CURVE
GRAPH GRID
TEST
SCAN
AUTO SCAN
72S,·8D

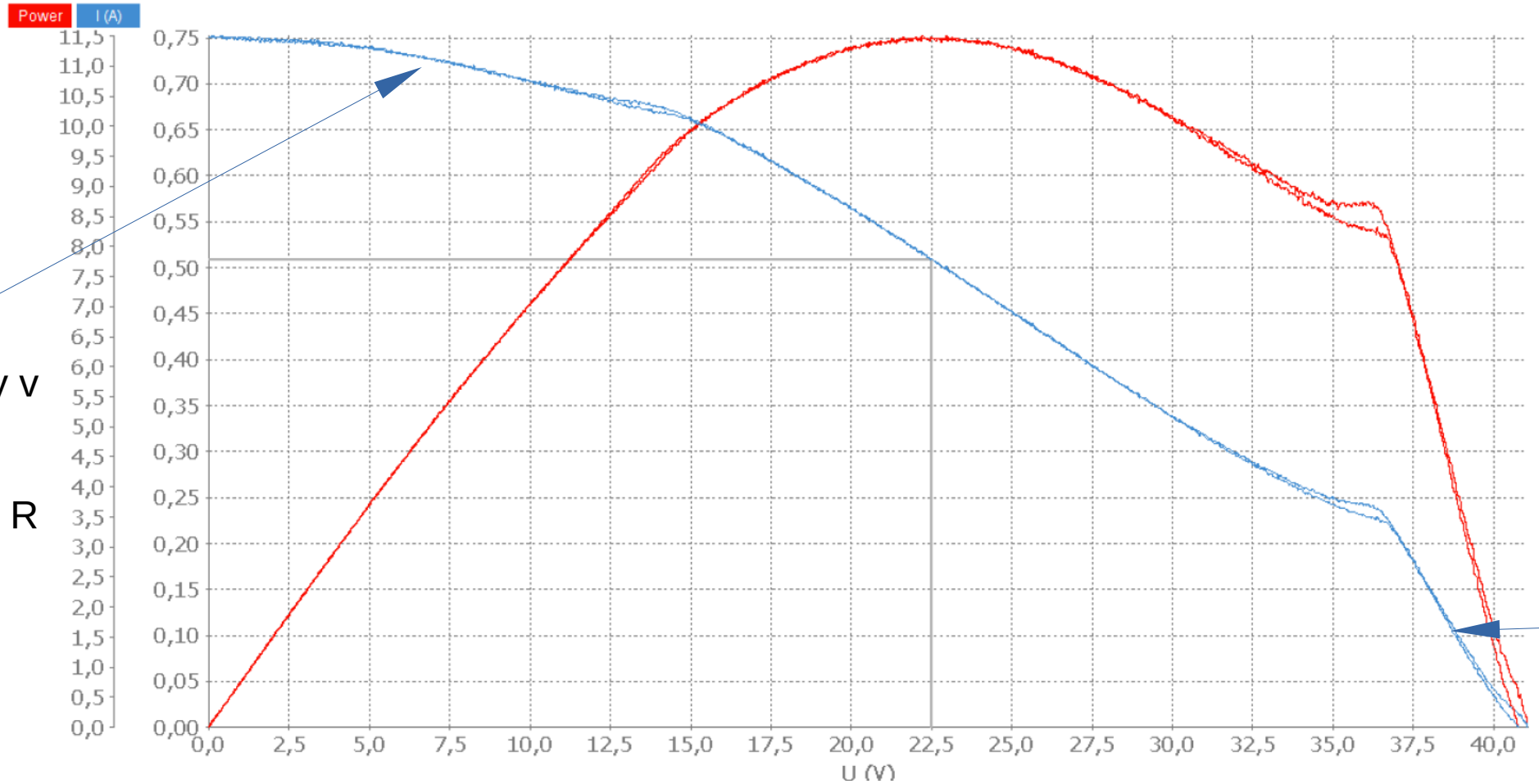

PROVA
210
Solar Module Analyzer
Vnow: 17.19 V
Voren:17.19 V
Ishort 244mA
Pmax: 2.068 W
Vmaxp:10.18 V
Imaxp: 203mA
EFF: 0.755%
FF: 0.493
Power: 100%
10.19 V 203mA 2.067 W
F1
F2
BEGIN
END
SETUP
ZERO CAL
REC
I/V/P SELECT
I/V CURVE
GRAPH GRID
TEST
SCAN
AUTO SCAN
36S,2P,4D

Laboratorní měření modulu se jedním zatíněným článkem z celkem 72 článků

PASAN
MEASUREMENT SYSTEMS

Performance measurement
PASAN Tester

Operator	Tomas Finsterle	Measurement	2022/11/01 10.08.42
PASAN Tester version	R2.4.5 / 2018/03/21 17:32:34 2.4.5 (20882)		



sklon křivky v horní části: nárůst paralelního R

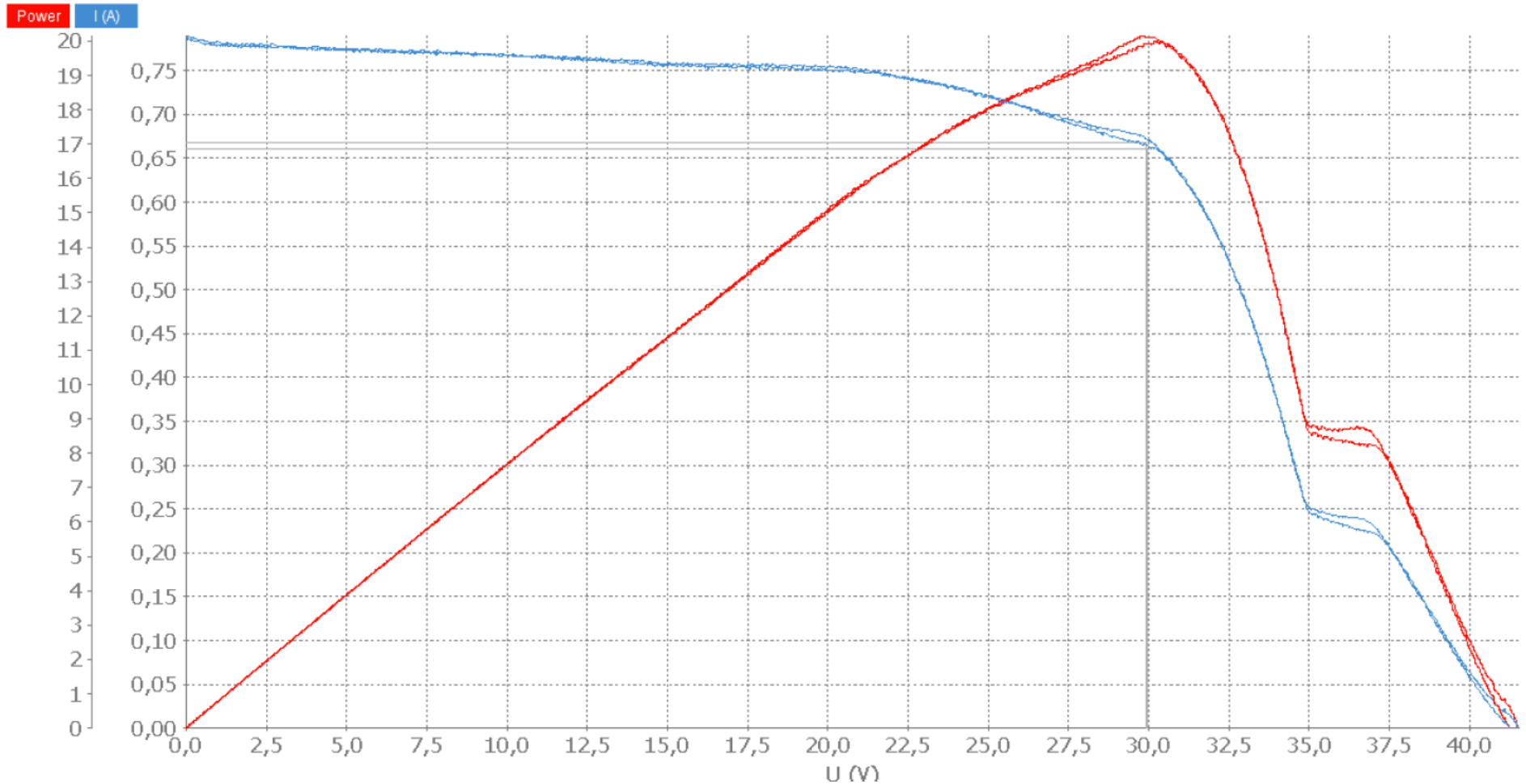
sklon křivky v pravé části: nárůst seriového R

dtto s bypass diodou

PASAN
MEASUREMENT SYSTEMS

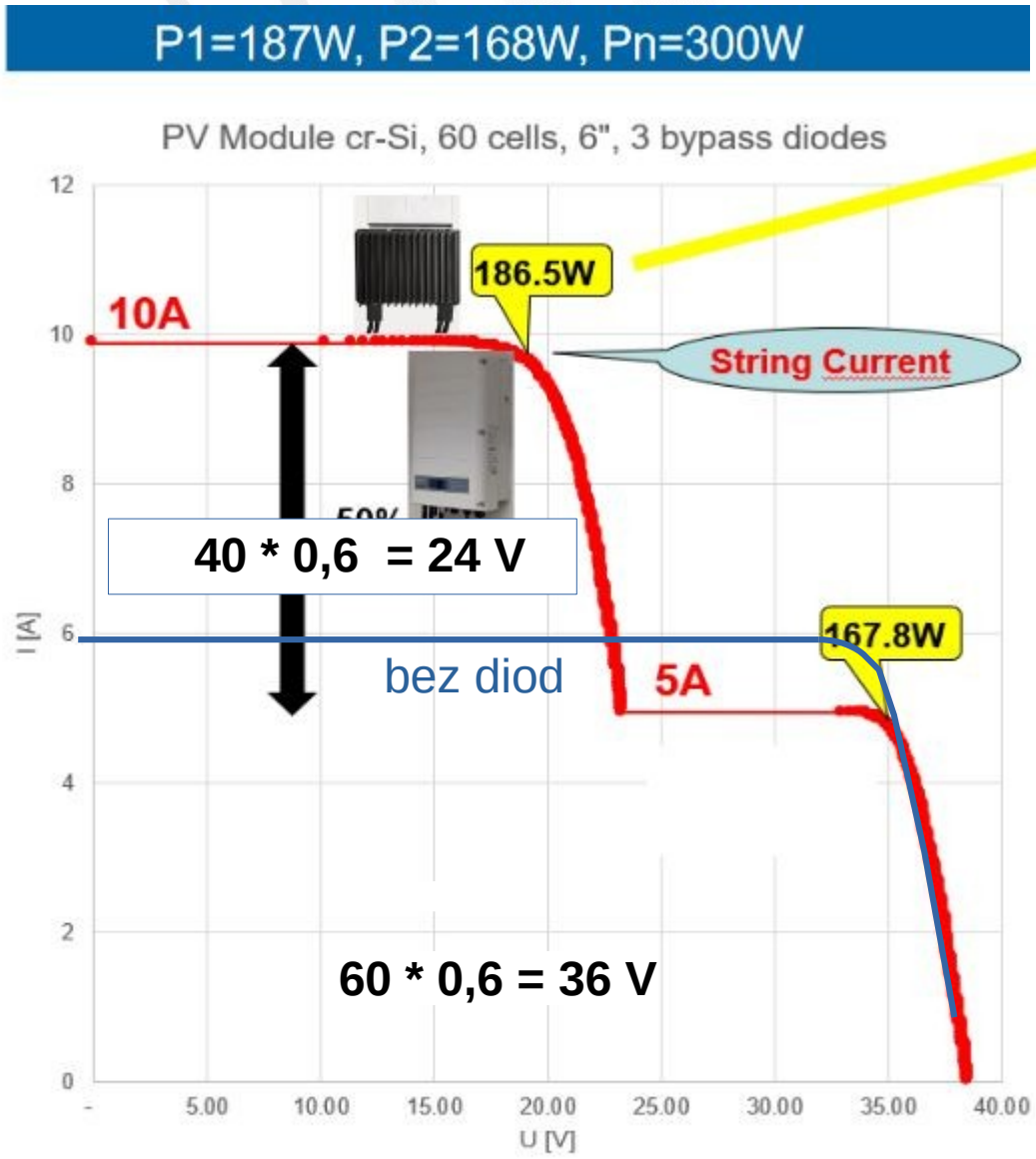
Performance measurement
PASAN Tester

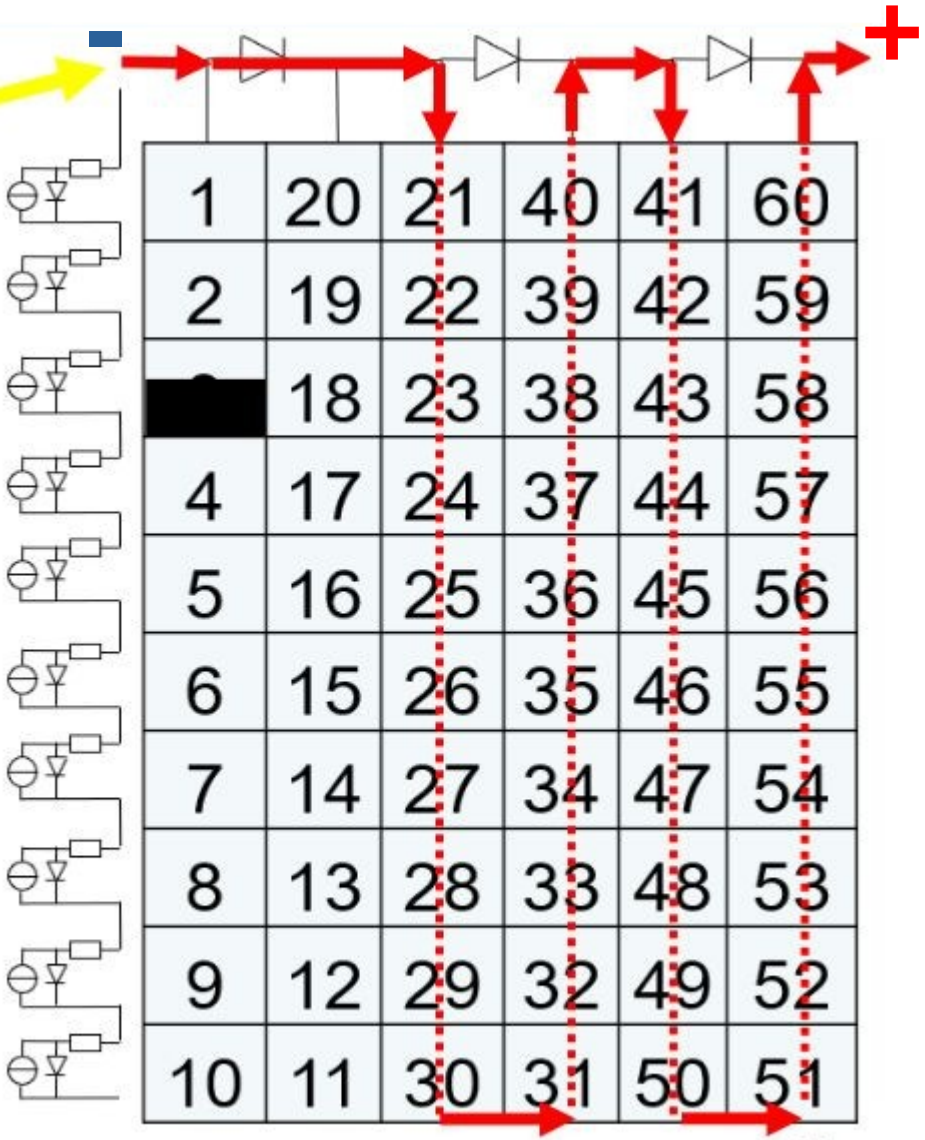
Operator	Tomas Finsterle	Measurement	2022/11/01 10.13.52
PASAN Tester version	R2.4.5 / 2018/03/21 17:32:34 2.4.5 (20882)		



vliv zastínění

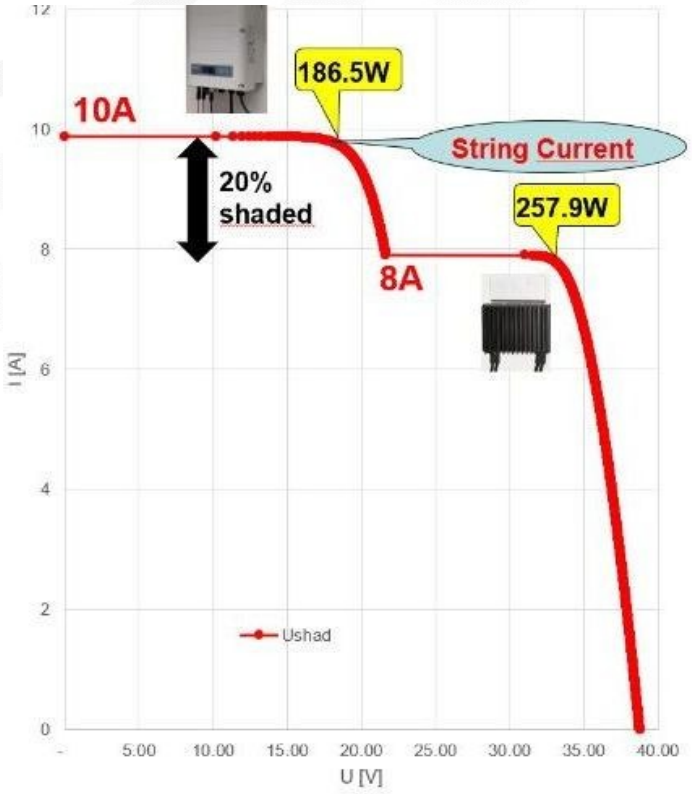
vliv zastínění



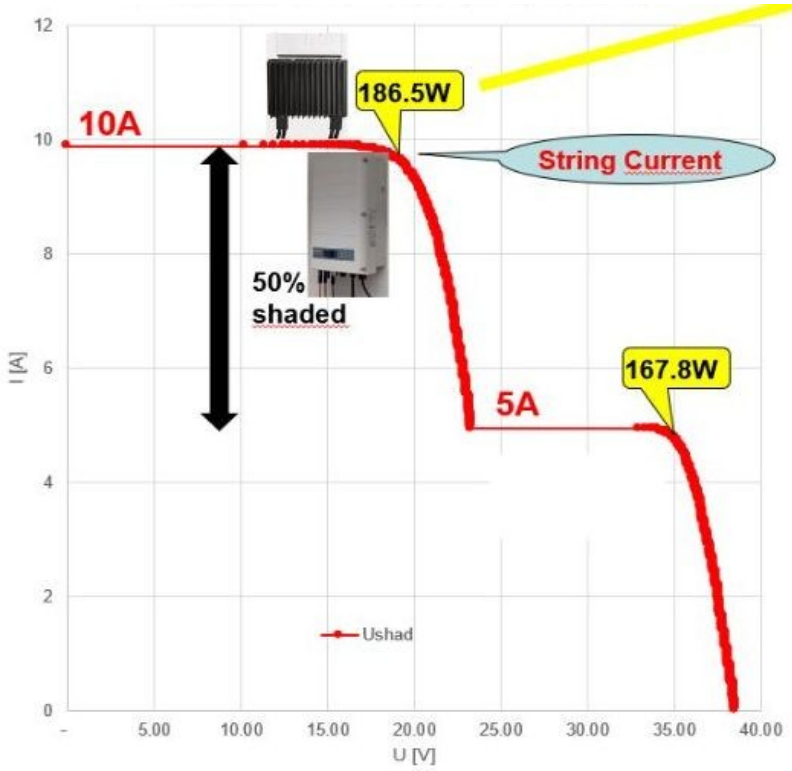


Najít optimum je úkol pro
sledovač bodu maximálního výkonu
(maximum power point tracker MPPT)

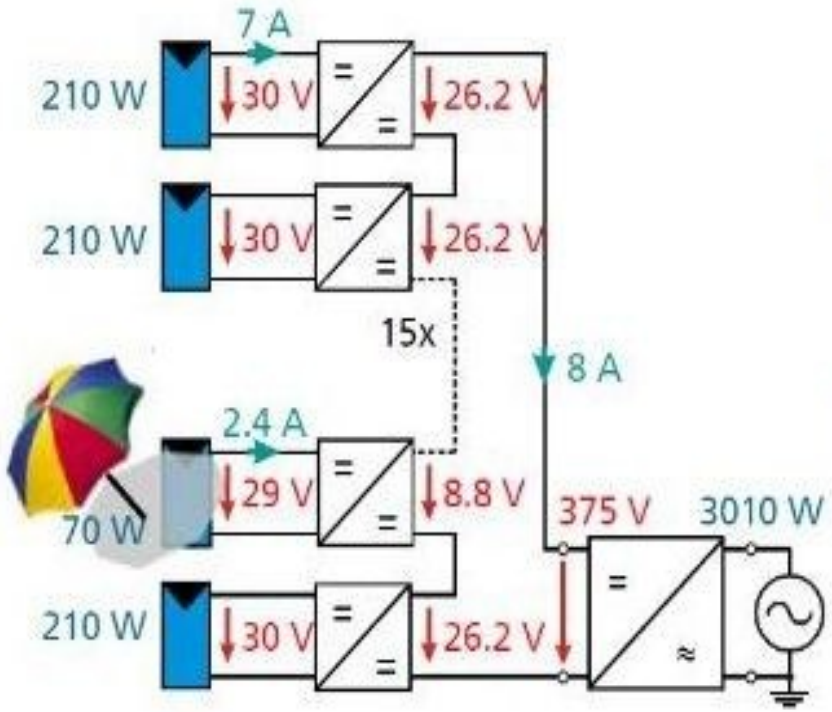
Zatínění 20%

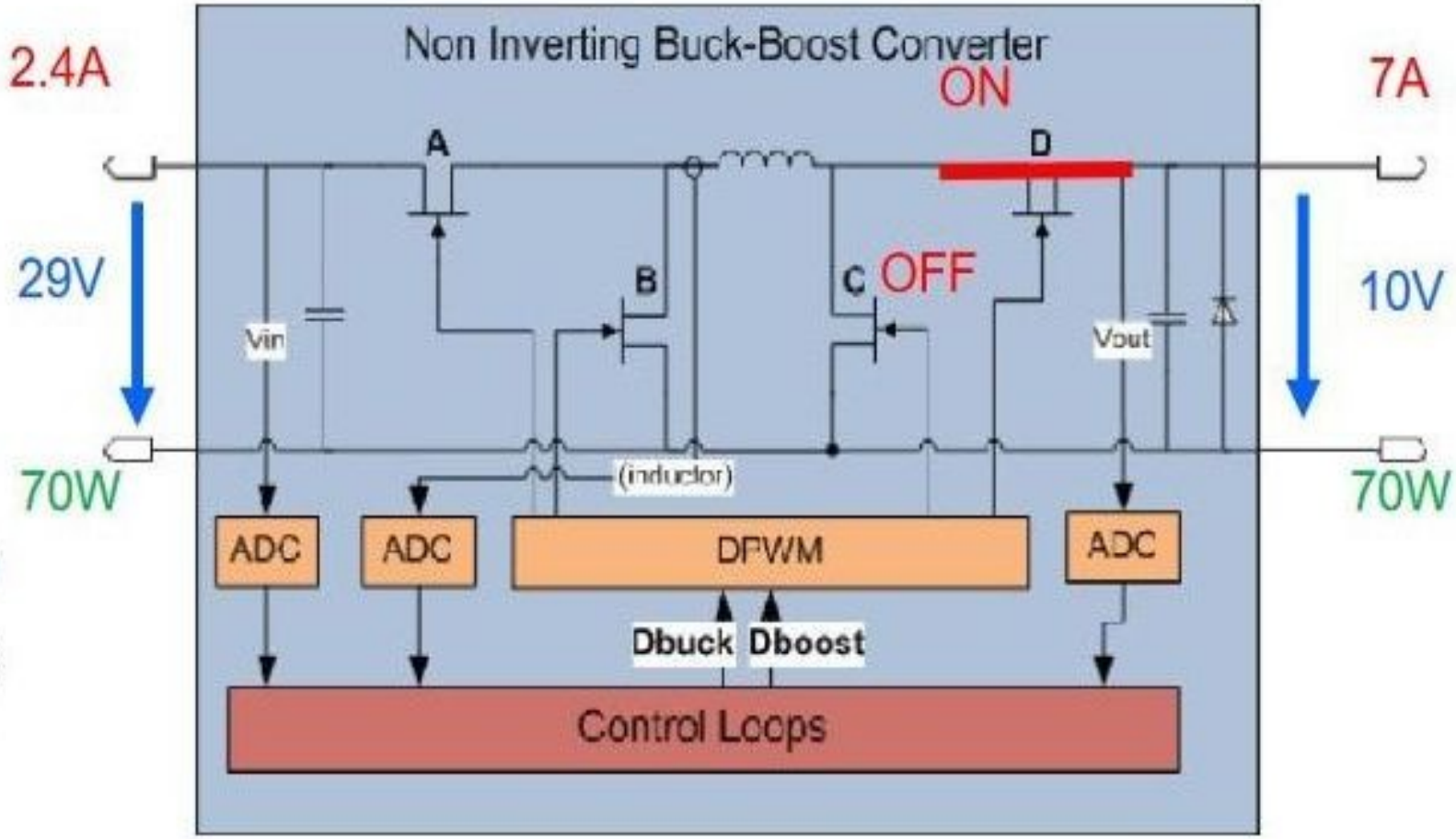


Zatínění 50%

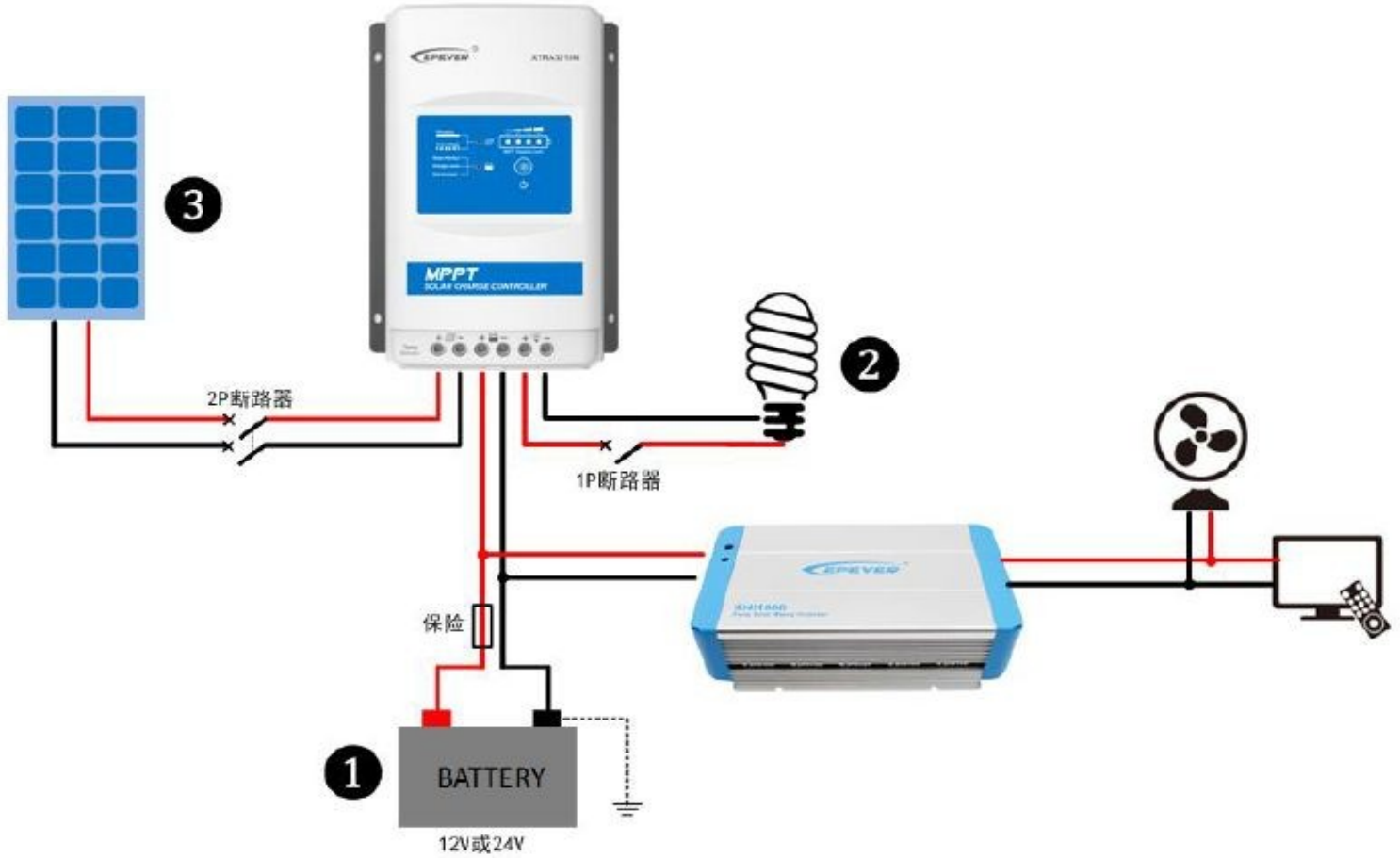


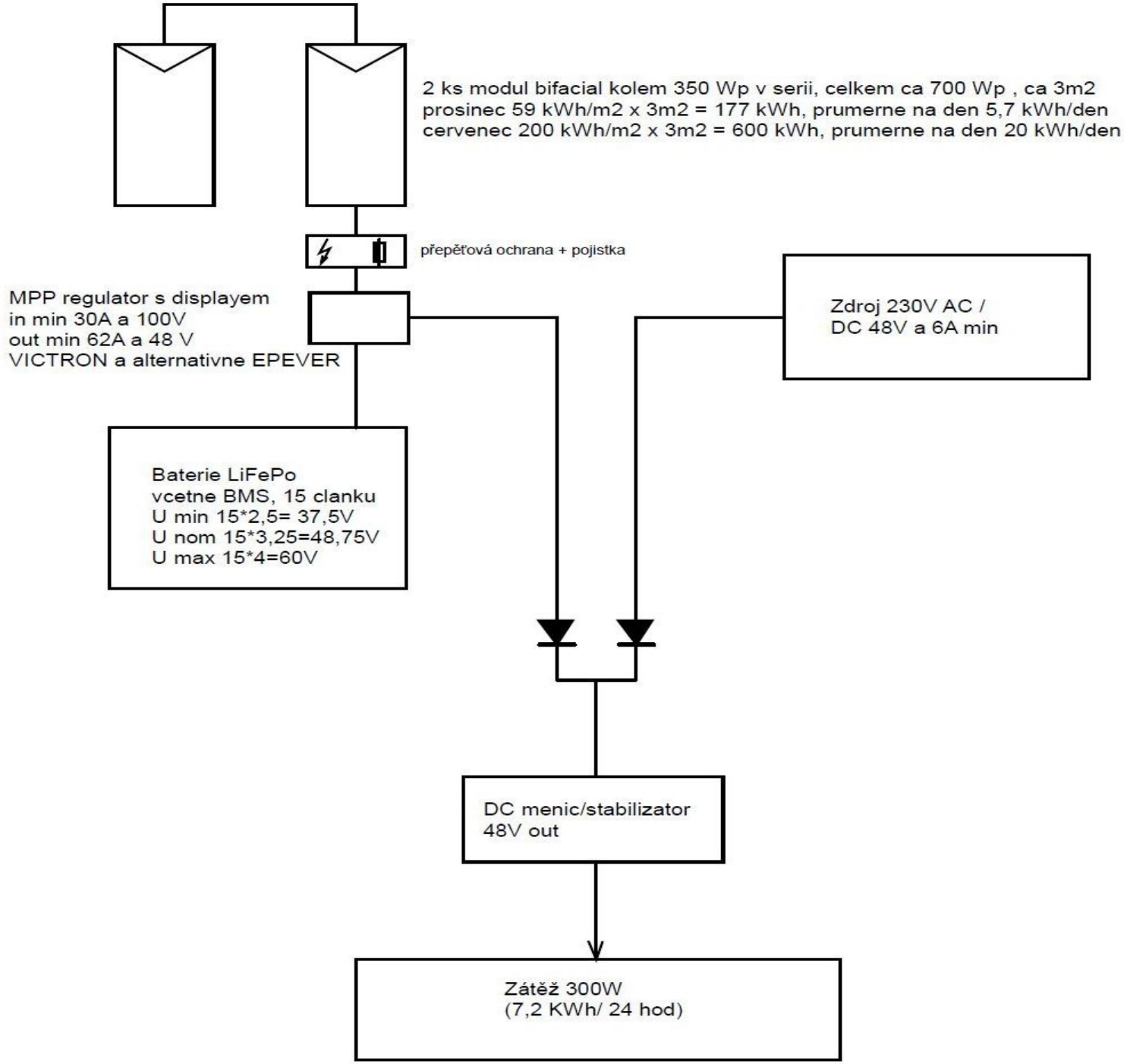
Optimizér


7 A
210 W
30 V
26.2 V
210 W
30 V
26.2 V
15x
8 A
2.4 A
29 V
8.8 V
70 W
375 V
3010 W
210 W
30 V
26.2 V

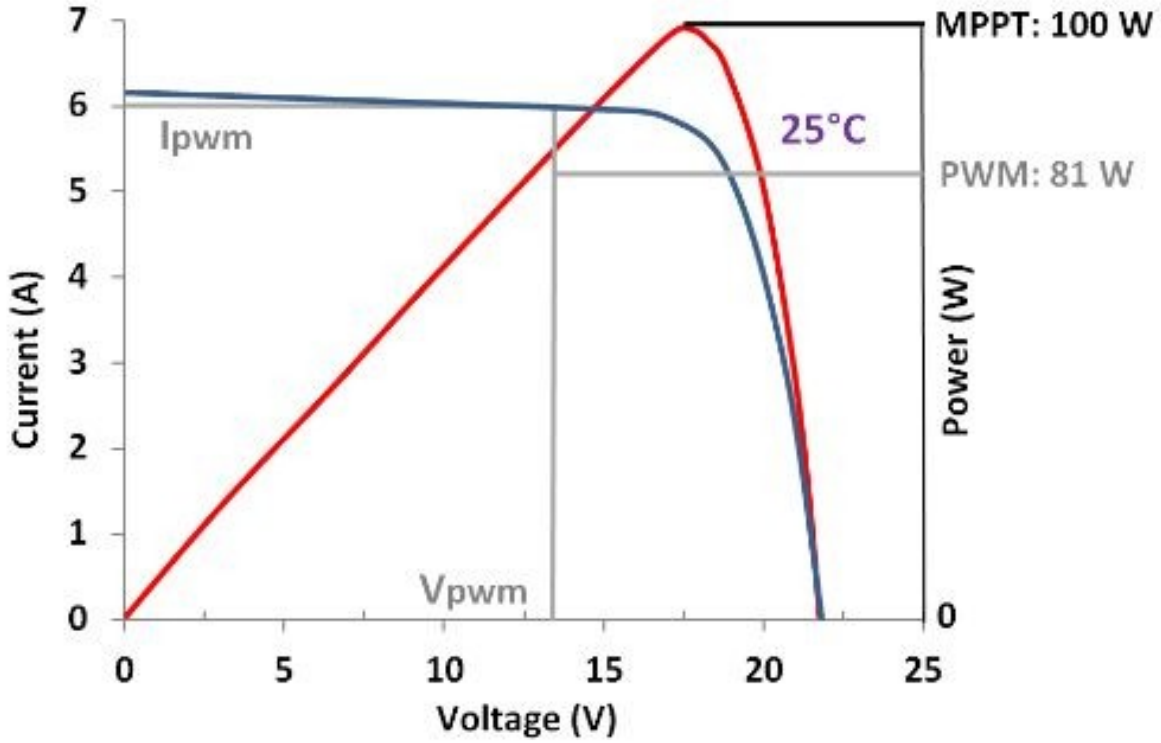

Non Inverting Buck-Boost Converter
2.4A
7A
ON
A
D
29V
10V
B
C OFF
Vin
Vout
70W
(inductor)
70W
ADC
ADC
DPWM
ADC
Dbuck
Dboost
Control Loops

Stejnosměrný (DC) MPPT regulátor

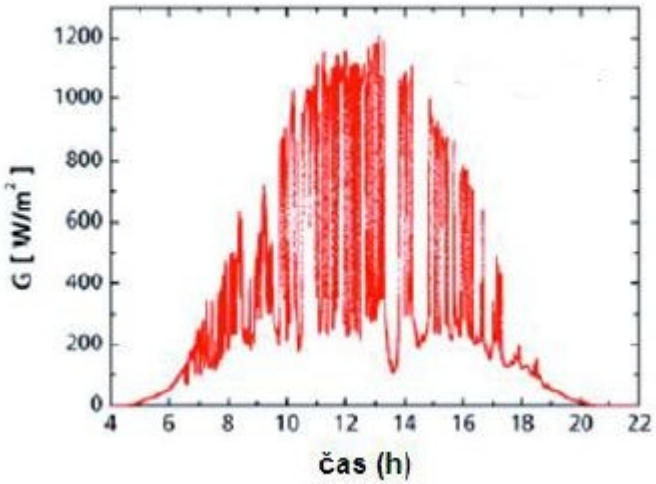



2 ks modul bifacial kolem 350 Wp v serii, celkem ca 700 Wp , ca 3m2
prosinec 59 kWh/m2 x 3m2 = 177 kWh, prumerne na den 5,7 kWh/den
cervenec 200 kWh/m2 x 3m2 = 600 kWh, prumerne na den 20 kWh/den
přepěťová ochrana + pojistka
MPP regulator s displayem
in min 30A a 100V
out min 62A a 48 V
VICTRON a alternativne EPEVER
Zdroj 230V AC /
DC 48V a 6A min
Baterie LiFePo
vcetne BMS, 15 clanku
U min 15*2,5= 37,5V
U nom 15*3,25=48,75V
U max 15*4=60V
DC menic/stabilizator
48V out
Zátěž 300W
(7,2 KWh/ 24 hod)

Ne každý regulátor je MPPT !!!



PWM regulátor (pulzně šířková modulace) nemění napětí a proud tak jako MPPT, ale pouze spíná , když napětí PV Modulu převýší ca o 0,5V napětí baterie. Jedná se o jednoduché a nikoli MPPT zařízení



výkon FV záleží na dopadajícím záření – je třeba budovat bateriová úložiště

1) olověné , zastaralé, malá cyklovatelnost i životnost, levné, nevyžaduje BMS jako LiIon technologie, nabíjení postačí CV
2) LiIon NMC – vysoká hustota energie, drahé, 3,6V na článek, vyšší cyklovatelnost i životnost než olověné, nabíjení CC-CV, použití původně v dopravních prostředcích, v poslední době pronikají i do úložišť pro FVE - Varta, Tesla SK (!)
3) LiFePO – z LiIon technologie nejbezpečnější a nejvíce cyklovatelné, 3,2V na článek levnější, menší hustota energie než LiIon NMC, nabíjení CC-CV

VanCo

Je LiFePO4 baterie drahá ?

Akumulátor GOOWEI ENERGY OTL75-12, 75Ah, 12V, 10 let

Gelový akumulátor značky GOOWEI ENERGY je vhodný pro využití ve staničních aplikacích, jako jsou záložní zdroje v režimu „stand-by“. Nejefektivněji funguje v místech, kde dochází k častým výpadkům v dodávkách energie nebo tam, kde se baterie hluboce vy... Další informace

Výrobce: **GOOWEI ENERGY** Part No.: **OTL75-12**
Kód: **00069829** Záruka: **24 Měsíce**

DO 3 DNÍ Dostupnost v prodejnách

3 480 Kč bez DPH
4 211 Kč s DPH
− 1 + Do košíku

Nastavit hlídacího psa

ELERIX 12V/100Ah, 1.2 kWh LiFePO4 Set With EX-L100 Cells

Manufacturer: ELERIX
Art.#: EX-12VL100AH-SET

Price without VAT:

Ca Kc 6.000,-

Stock status : More than 50 pcs.

Quantity: − 1 +

add to Cart

Voltium Energy LiFePO4 smart baterie VE-SPBT-1275, 12V, 75Ah E787

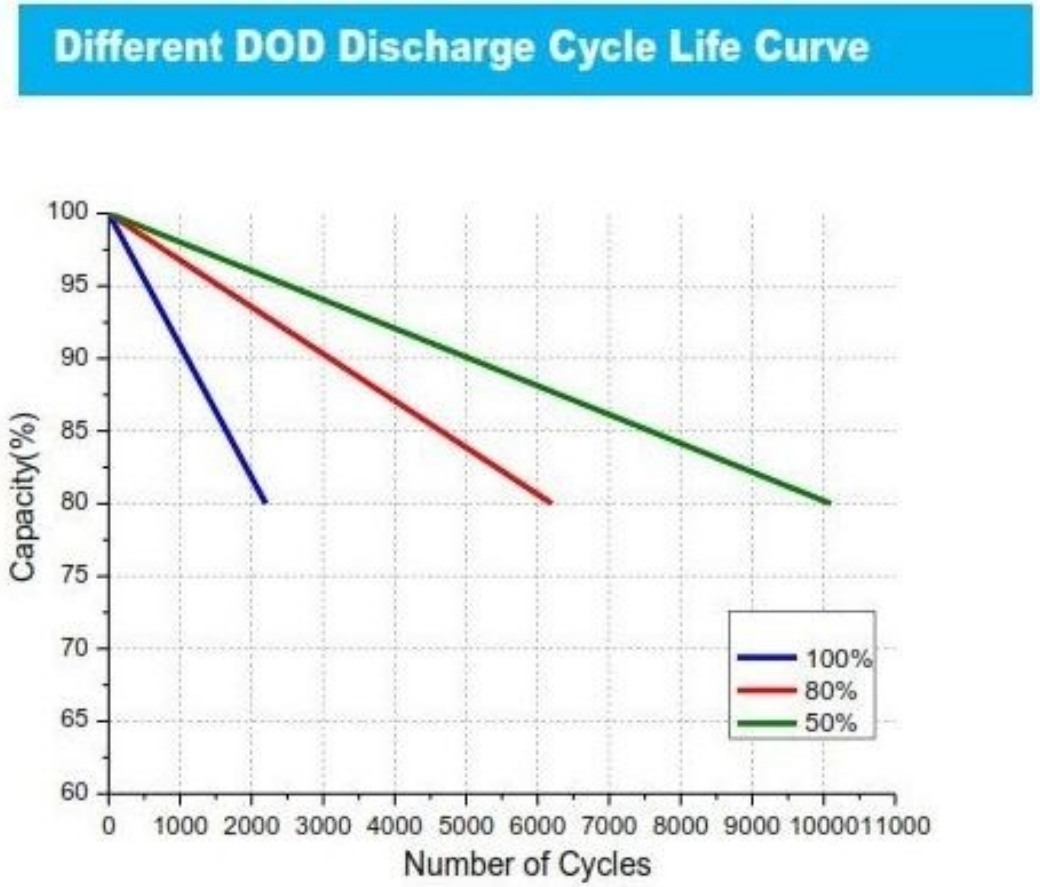
☆☆☆☆☆ Neohodnoceno | Značka: Voltium Energy

15 450 Kč
12 768,60 Kč bez DPH

Prodejna PRAHA, Brožíkova ul.	Skladem v po
Prodejna BRNO, Pražákova ul.	Skladem v po
Prodejna NEHVIZDY, Pražská ul.	Skladem v po
Expediční sklad a prodejna	Skladem v po

Alternativně...0,9 kWh...LiFePO4...7.800,- bez DPH

Cena Li x Pb a vliv počtu cyklů



Lebensdauer vs. Entladungstiefe (in % von Nennkapazität)

Vyplatí se PV napájení ?

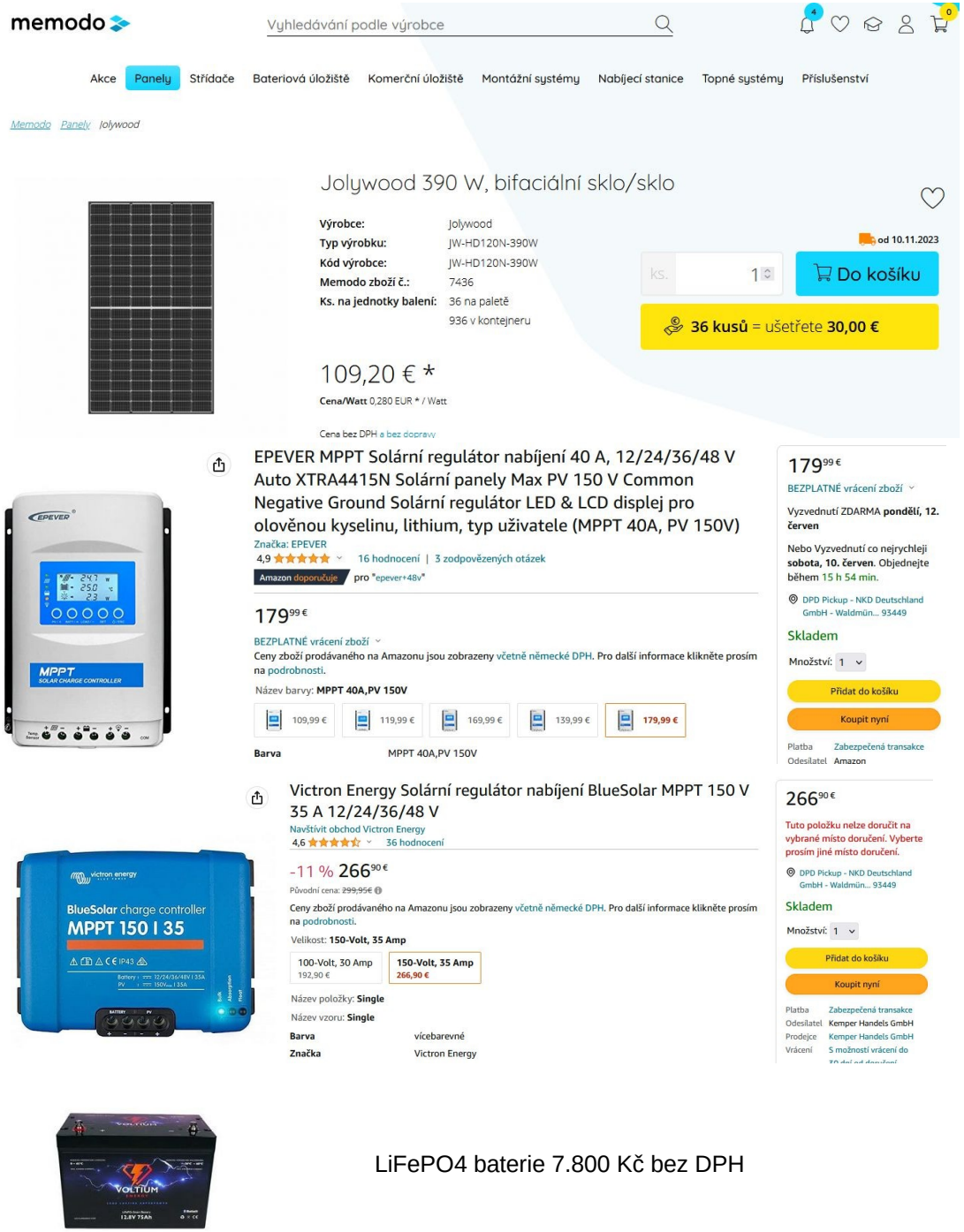
48V/1kWh/700Wp/300W

109,20 x 2 * 24 + 180 / 1,19 * 24 + 7800 =
5.241 + 3.630 + 7.800,- = 16.671,- Kč

Odečti UPS:
10.000Kč : 7Kč/kWh = 1.428 kWh

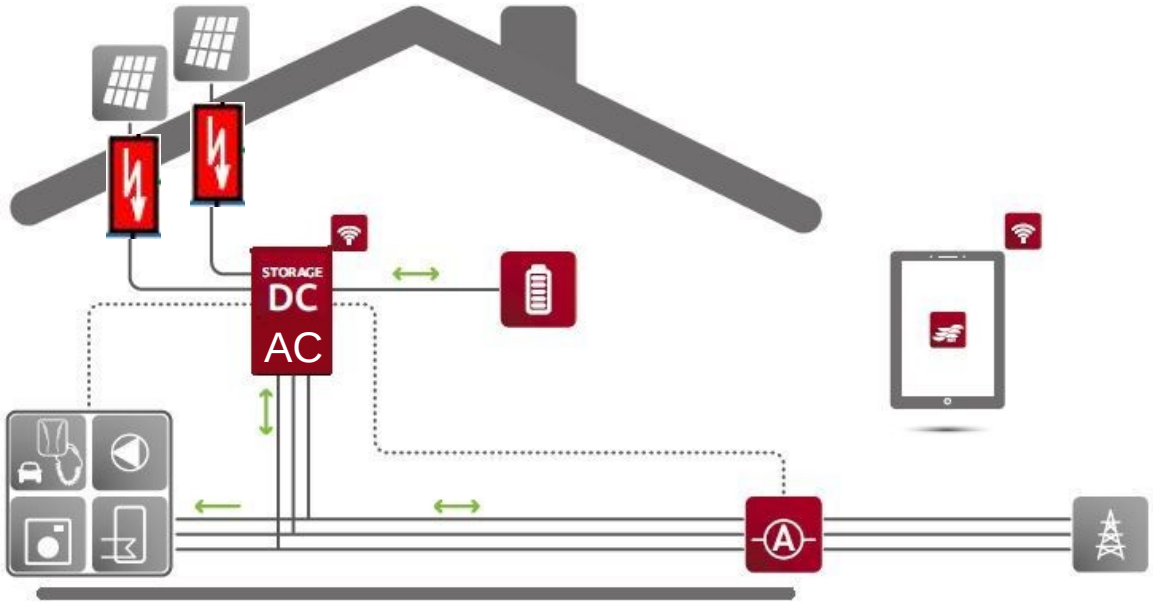
Spotřeba 300W …. 300 x 24 = 7,2 kWh/den

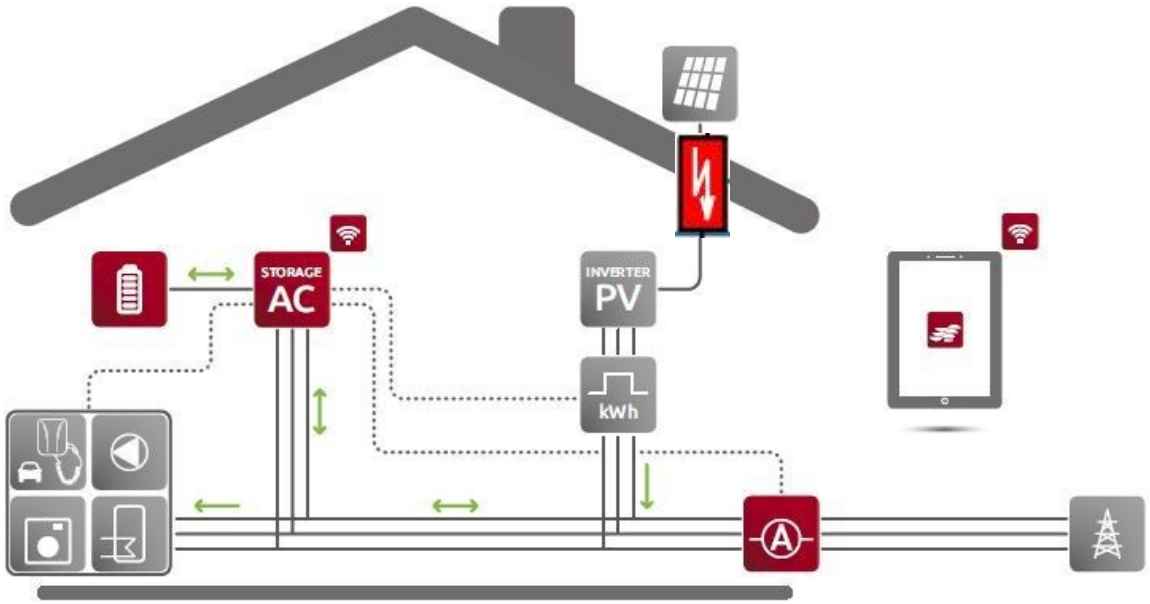
1.428 kWh : 7,2 = 198 dní !!!!



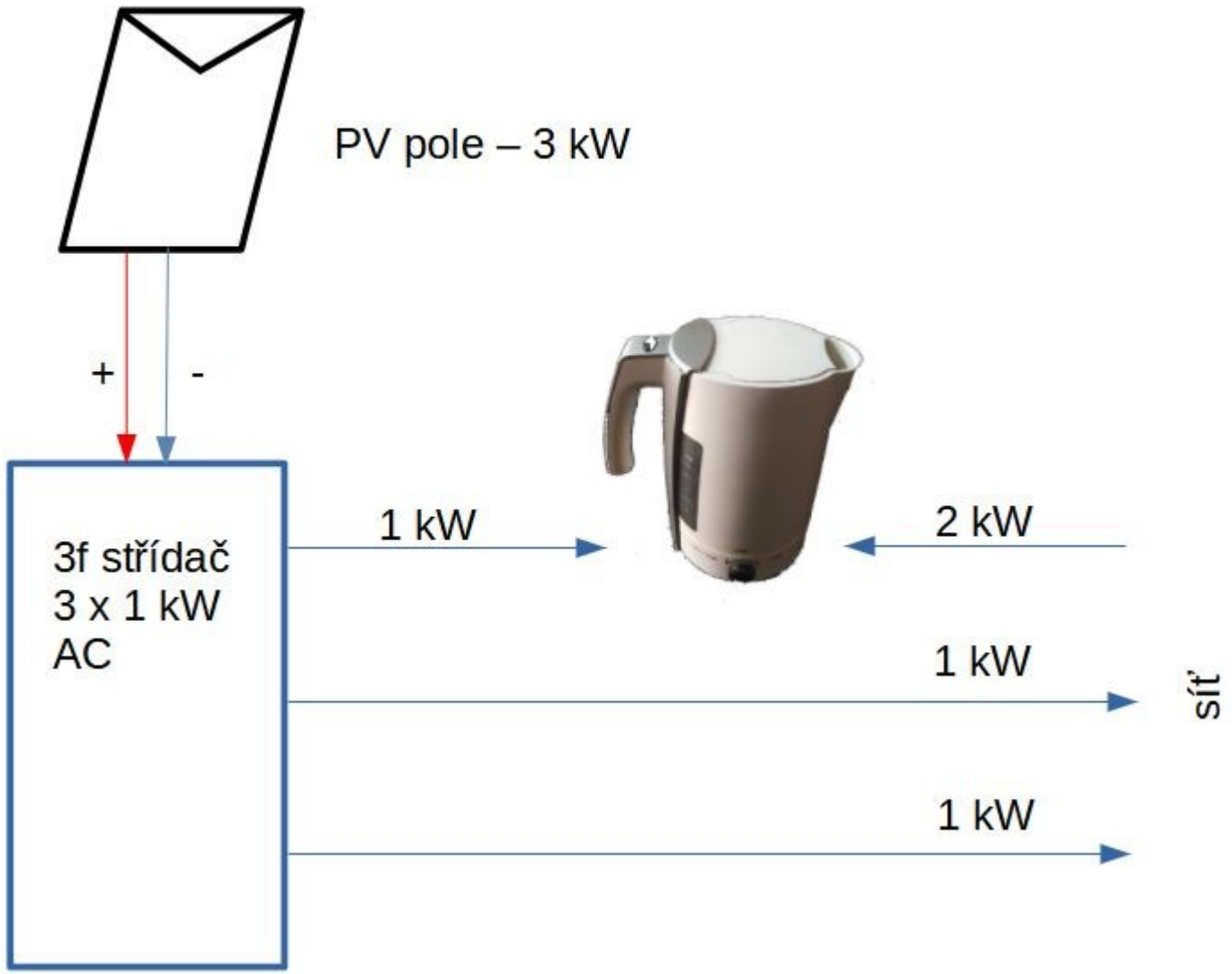
LiFePO4 baterie 7.800 Kč bez DPH

Střídače - 230V AC výstup

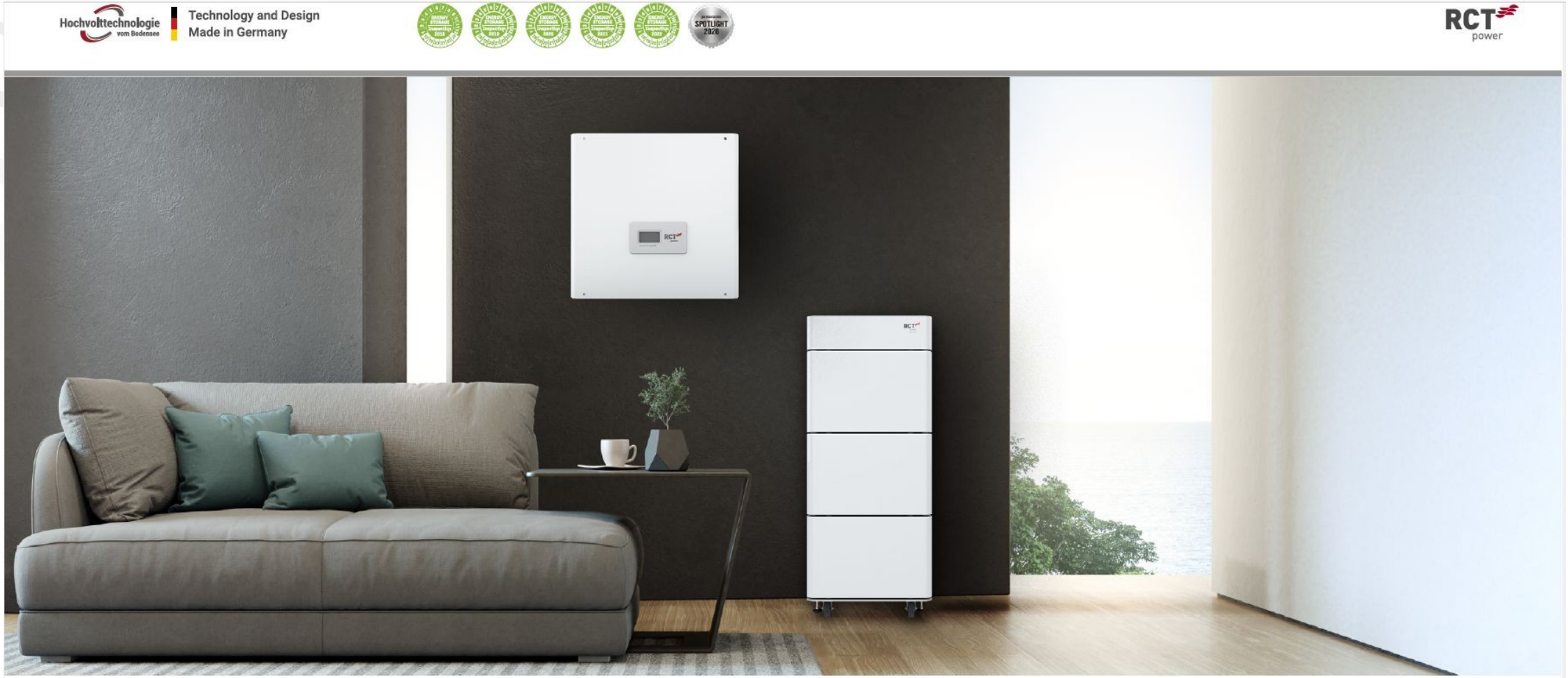




Měření po fázích



Řešení výrobce RCT



POWER STORAGE DC
8.0 | 10.0

ON-GRIDOVÉ HYBRIDNÍ BATERIOVÉ MĚNIČE PRO REZIDENČNÍ A KOMERČNÍ INSTALACE

VYSOKÁ ÚČINNOST

- Dva nezávislé MPP-trackery, přepínatelné do paralelního režimu
- Evropská účinnost > 98 %
- Dynamické nastavení výkonu - vhodné i pro pro systémy s nulovým přívodem
- Inteligentní řízení ukládání energie
- Nastavitelný proces nabíjení

JEDINEČNÁ FLEXIBILITA

- 3-fázový vstup
- Široký rozsah MPP pro flexibilní plánování stringů a snadné napájení
- Max-Power Control - chytrá správa zastínění
- Rozšiřitelné a kombinovatelné se stávajícími FVE systémy
- Hybridní nabíjení baterie i externími zdroji střídavého proudu
- Nouzové napájení ve spojení s vypínačem RCT Switch (záložní zdroj)
- Jednoduchý design s RCT Power Designer - návrhový nástroj

JEDNODUCHÁ INSTALACE

- DC a AC plug & play připojení
- Integrovaná mobilní aplikace RCT Power APP
- Bez nutnosti internetového připojení k úspěšnému spuštění

Hochvolttechnologie | Technology and Design Made in Germany

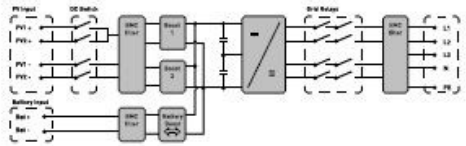
UŽIVATELSKY PŘÍVĚTIVÉ ROZHRANÍ

- Multifunkční LCD-display
- LAN a WLAN
- RCT Power Portal pro uživatelský přívětivé online monitorování výroby FVE
- Multifunkční komunikační deska pro připojení různých zařízení
- Vhodné pro wallbox nabíjecí stanice, topné spirály, tepelná čerpadla

INOVATIVNÍ DESIGN

- Účinný pasivní chladič - bezúdržbový a bez hluku
- Kompaktní tělo z odolného hliníku Nejlehčí střídač ve své kategorii - 32 kg
- IP42 krytí: Vhodné pro vnitřní instalaci

SCHÉMA ZAPOJENÍ



POWER STORAGE DC	8.0	10.0
DC VSTUP		
Max. doporučený DC výkon (Jihovýchod-západ)[1]	10,8 kW / 12 kW	13,5 kW / 15 kW
MPPT	2 (paralelní zapojení možné)	
Vstup na MPPT	1	
Maximální DC proud na MPPT	12 A (28 A v paralelním režimu)	
Síťové DC napětí	700 V	
Zapínací DC napětí / výkon	150 V / 40 W	
Rozsah DC napětí	140 V ... 1000 V	
MPP rozsah napětí	380 V ... 800 V	
Maximální DC napětí	1000 V	
Typ konektoru	Weidmüller PV-Stick (MC4 kompatibilní)	
BATERIOVÝ VSTUP		
Rozsah DC napětí	120 V ... 600 V	
Maximální nabíjecí / vybíjecí proud	25 A / 25 A	
Maximální nabíjecí / vybíjecí výkon	9220 W / 4000 W	9220 W / 6000 W
Typ konektoru	Weidmüller PV-Stick (MC4 kompatibilní)	
AC-VÝSTUP (SÍŤOVÝ PROVOZ)		
Jmenovitý výkon AC	8000 W	9900 W
Maximální činný výkon	8000 W	9900 W
Maximální zdánlivý výkon	10500 VA	10500 VA
Jmenovitý proud AC na fázi	11,6 A	14,5 A
Maximální proud AC na fázi	15,2 A	15,2 A
Jmenovitá frekvence	50 Hz / 60 Hz	
Rozsah frekvence	45 Hz ... 65 Hz	
Max. zapínací proud	15,2 A, 0,1ms	
Max. poruch. proud (RMS)	285 mA	
Jmenovité AC napětí	230V / 400 V (L1, L2, L3, N, PE)	
Rozsah AC napětí	180 V ... 290 V	
Faktor zkreslení (THD)	< 2% při jmenovitém výkonu	
Faktor jalového výkonu (cos ff)	1 (rozsah nastavení 0,8 cap...0,8 ind)	
Ochrana před ostrovním provozem	ano	
Monitorování uzemnění	RCD	
Dodávka DC energie	< 0,5% In	
Potřebné fáze, síťové připojení	3 (L1, L2, L3, N, PE)	
Počet fází s dodávkou	3	
Připojení AC	Pružinové svorky	
VÝKONOVÉ PARAMETRY		
Spotřeba energie [3]	6,0 W	
Maximální účinnost (FVE-SÍŤ)	98,60%	98,60%
Evropská účinnost (FVE-SÍŤ)	98,33%	98,35%
Průměrná účinnost FVE-SÍŤ [2]	97,78%	97,89%
Průměrná účinnost FVE-BAT [2]	98,00%	98,00%
Průměrná účinnost SÍŤ-BAT [2]	97,33%	97,44%
Průměrná účinnost BAT-SÍŤ [2]	97,36%	97,48%
Průměrné zpoždění / doba ustálení	0,1s / 0,4s	
Topologie	beztransformátorová	
OSTATNÍ ÚDAJE		
Přepínač FV ~ DC	Integrovaný	
Přepěťová kategorie DC	II	
Přepěťová kategorie AC	III	
Komunikační rozhraní	WLAN, LAN, RS485, multifunkční relé, 4 x digitální vstup, 2 x digitální vstup/výstup	
Displej	LCD dot matrix 128 x 64 osvětlený	
Chlazení	konvekce	
IP krytí	IP 42	
Max. instalační výška	2000 m	
Max. relativní vlhkost vzduchu	5 - 85 % (nekondenzující)	
Typická hlučnost	< 35 dB	
Rozsah provozní teploty	-25°C ... 60°C (40°C při plném výkonu)	
Rozměry (výška x šířka x hloubka)	570 x 585 x 200 mm	
Váha	32 kg	
BEZPEČNOST / NORMY		
Třída ochrany	I	
Chování pro přetížení	Posun pracovního bodu	
Osvědčení	CE, VDE-AR-N 4105:2018-11, EN 50549	
EMV	EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3	
Bezpečnost	EN/IEC62109-1, EN/IEC62109-2	
Záruka	10 let	

[1] V závislosti na orientaci, sklonu a umístění instalace.
[2] Průměrná účinnost s kombinací s. a RCT Power Battery 11.5

RCT

POWER SWITCH FOR STORAGE DC

4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0

BEZPEČNÁ DODÁVKA ENERGIE DO DOMÁCNOSTI V PŘÍPADĚ VÝPADKU ENERGIE Z DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

POWER SWITCH	63/25	63/25-3
VÝKONOVÉ ÚDAJE		
Jmenovité napětí	230/400 VAC	
Jmenovitá frekvence	50 Hz	
Max. potenciální zkratový proud	10 kA	
Max. hodnota hlavního jističe	63 A	
Max. tepelný výkon (3AC) PNOM	30 kW (Ta = 25°) / 20 kW (Ta = 40°)	
Ztráty v pohotovostním režimu	app. 18 W	
Provozní ztráty při 25/50/100% of PNOM	app. 2/4/8 W	
Povolené střídače baterií	RCT Power Storage DC 4.0 /6.0 / 8.0 / 10.0	
Odpojení od sítě	4-polové	3-polové
Povolený typ sítě	TN-C-S/TN-S/TT	TN-C-S/ TN-S
Pojistkové připojení RCT Power Storage	MCCB-3C25	
Připojení měření/spotřeba/záloha zatížení	pružinové svorky až 16mm2	
OSTATNÍ		
Rozsah provozní teploty	-5°C ... +40 °C	
Relativní vlhkost vzduchu	5 ... 95 %	
Druh instalace	nástěnná montáž	
Rozměry (výška x šířka x hloubka)	446 x 622 x 161 mm	
Váha	15 kg	
BEZPEČNOST/ NORMY		
Třída ochrany	II	
IP krytí	65	
Normy	IEC/EN61439-1 (DE: VDE 0660-600-1)	
	IEC/EN61439-2 (DE: VDE 0660-600-2)	
	IEC/EN61439-3 (DE: VDE 0660-600-3)	
Záruka	2 roky	

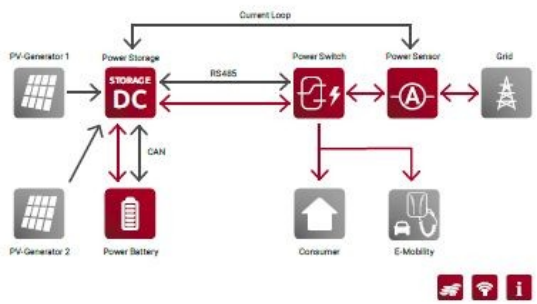
ZÁLOŽNÍ ZDROJ

- Vytvoření ostrovní sítě
- 3-fázová dodávka
- Oddělený výstup pro nezálohované okruhy

JEDNODUCHÁ INSTALACE

- Kompaktní a lehké pouzdro
- Power Sensor součástí balení
- Nástěnná montáž
- Možnost rozšíření

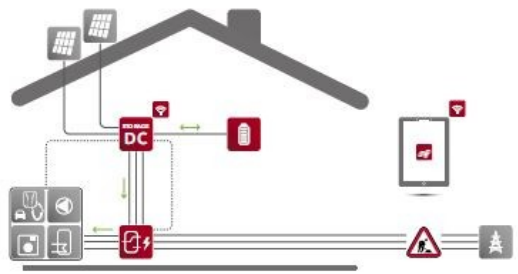
POPIS SYSTÉMU



CO JE RCT POWER BACK-UP POWER?

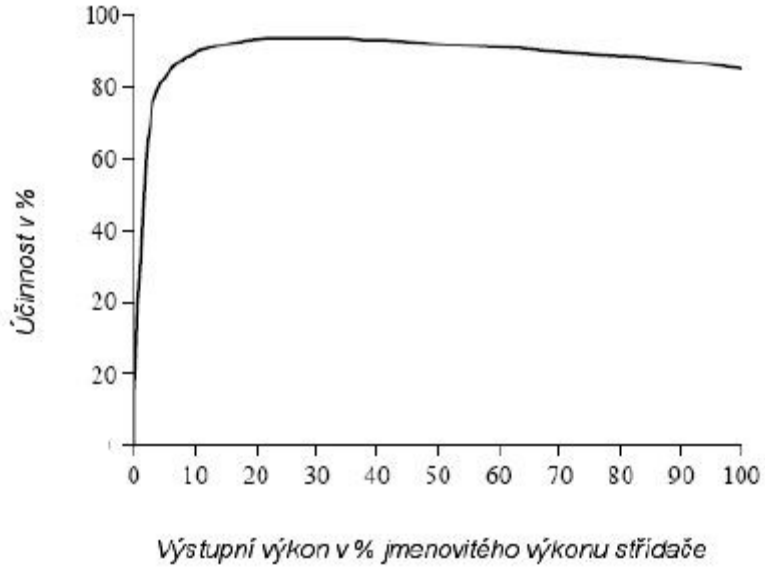
V případě výpadku proudu ze sítě, zajišťuje RCT Power Switch dodávku energie z RCT Power Baterry do zálohovaných zařízení. RCT Power Switch odpojí domácí síť od distribuční sítě (TN-C-S/TN-S or TT). Poté vytvoří samostatnou síť v kombinaci se systémem RCT Power připojeným k bateriovému úložišti RCT Power Baterry.

Zařízení je dodáváno se dvěma výstupy pro optimální zabezpečení napájení. Jeden je určen pro zařízení, která jsou nezbytná a která musí zůstat připojená během výpadku napájení. Druhý připojuje zařízení, která nebudou zálohovaná v případě výpadku proudu z distribuční soustavy.



- utomatické přepínání při výpadku proudu
- Prodleva přepínání 5-10 vteřin
- Baterie a FV systém můžou být použity jako zdroj energie při výpadku proudu z distribuční soustavy

důležitý parametr je účinnost střídače



EURO účinnost = vážená účinnost při různých % jmenovitého výkonu
(0,03 při 5% + 0,06 při 10% + 0,13 při 20% + 0,1 při 30% + 0,48 při 50% + 0,2 při 100%)

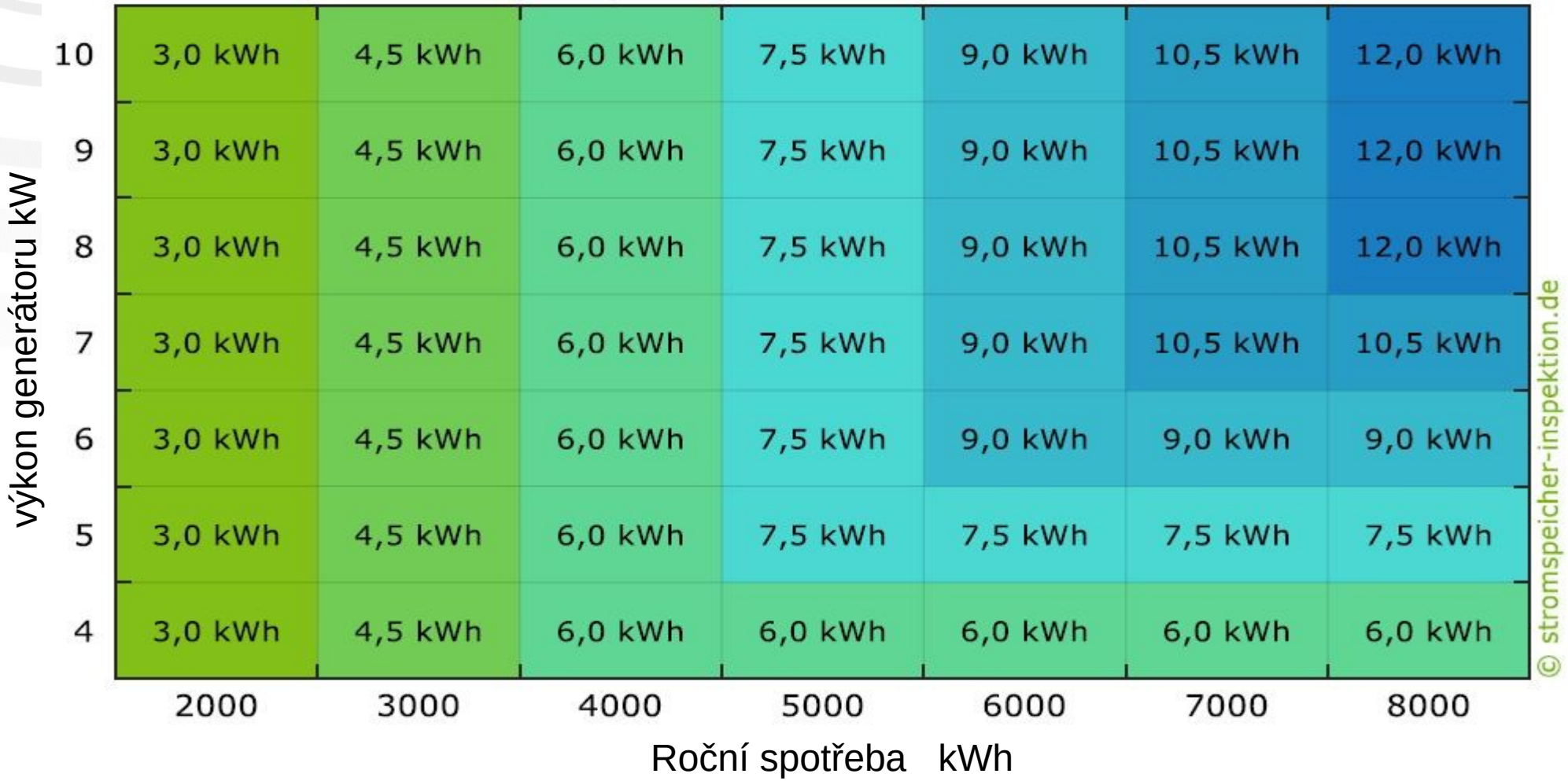
Vlivy snižující účinnost:
- transformátor ve střídači (ztráty v magnetickém poli a ohmické ztráty)
–opakované změny DC / AC , typicky při AC napojení bateriového úložiště
- překonávání větších napěťových rozdílů (např baterie 48V a síť 230V),

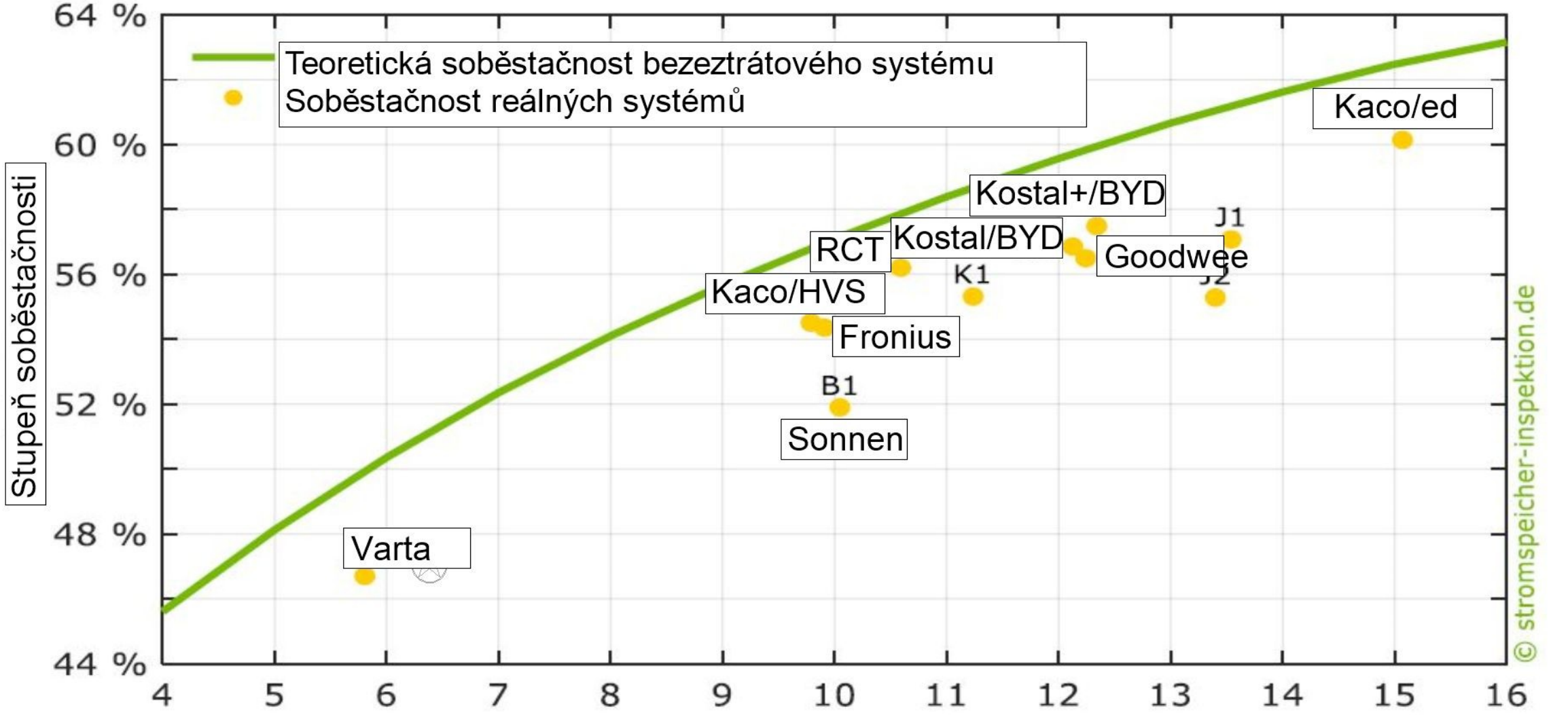
Naopak pro zvýšení účinnosti je výhodné, když je napětí stringu i baterie blízké 600 V (400V x √2) a když je baterie připojena právě na toto DC napětí.

průměrné účinnosti přeměny energie

	2018	2019	2020	2021	2022
PV2AC	94,5 %	95,5 %	96,1 %	96,0 %	96,2 %
PV2BAT	92,6 %	93,8 %	94,7 %	95,2 %	95,8 %
AC2BAT	92,3 %	93,8 %	94,1 %	95,0 %	95,3 %
BAT2AC	92,0 %	93,7 %	94,2 %	94,9 %	95,5 %
BAT	94,6 %	94,9 %	95,1 %	96,2 %	95,9 %
	8,1 s	4,7 s	4,3 s	4,5 s	4,2 s
	10,4 W	11,6 W	14,0 W	17,7 W	20,3 W

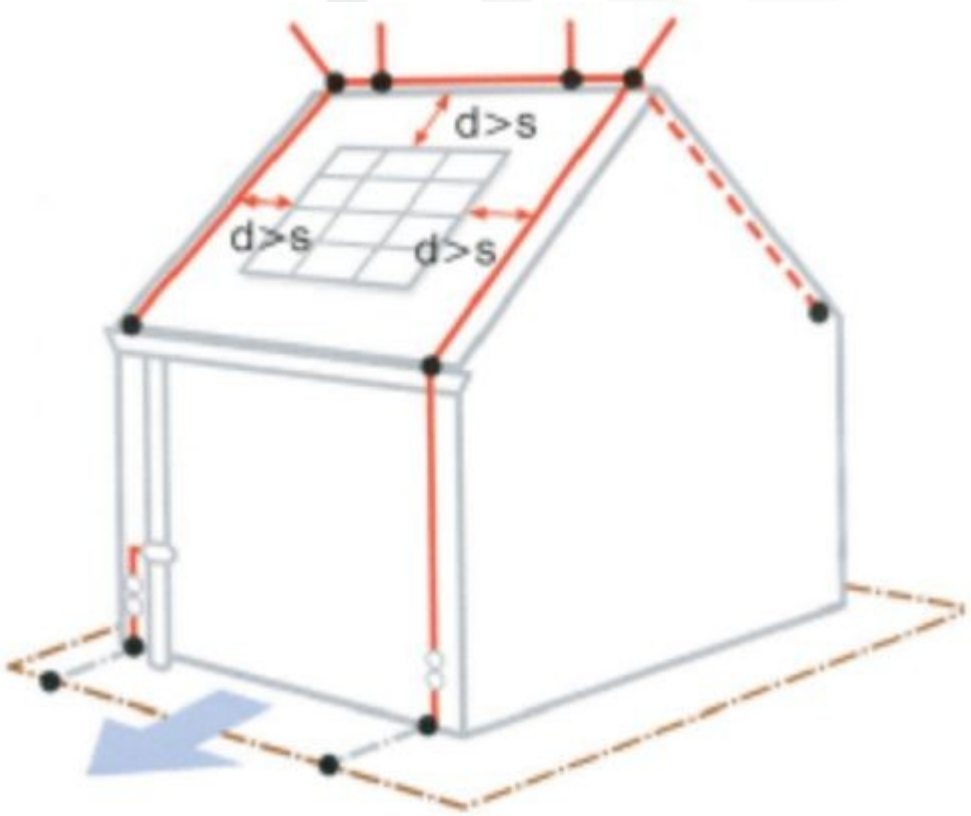
smysluplná velikost bateriového úložiště

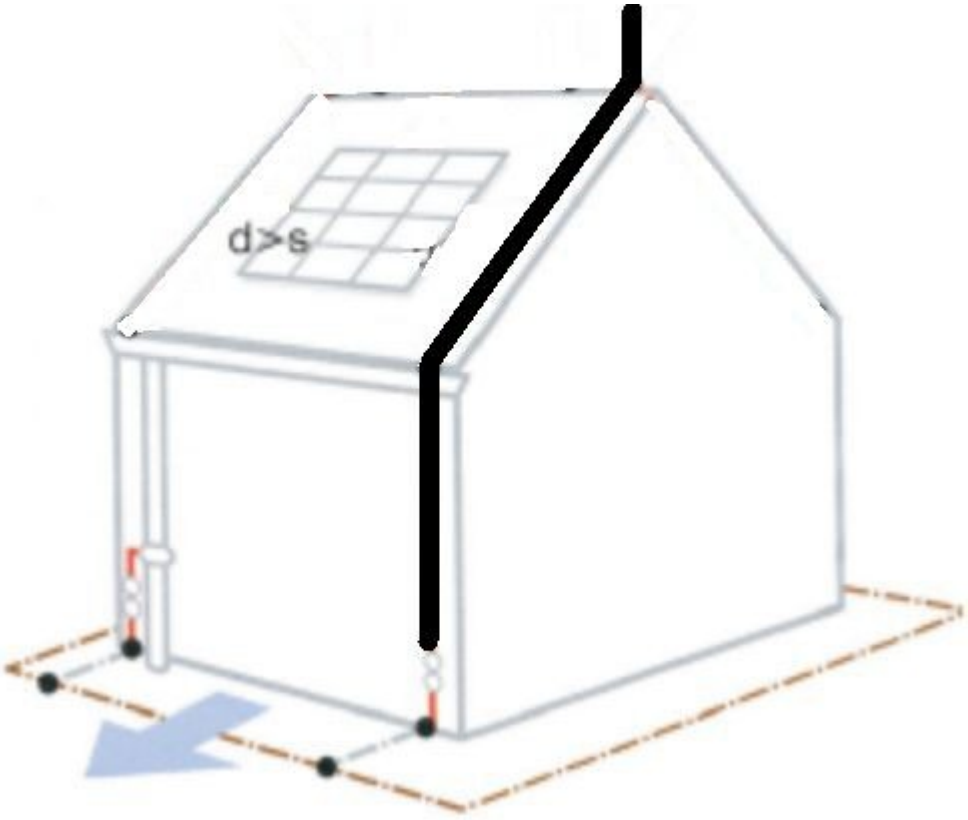


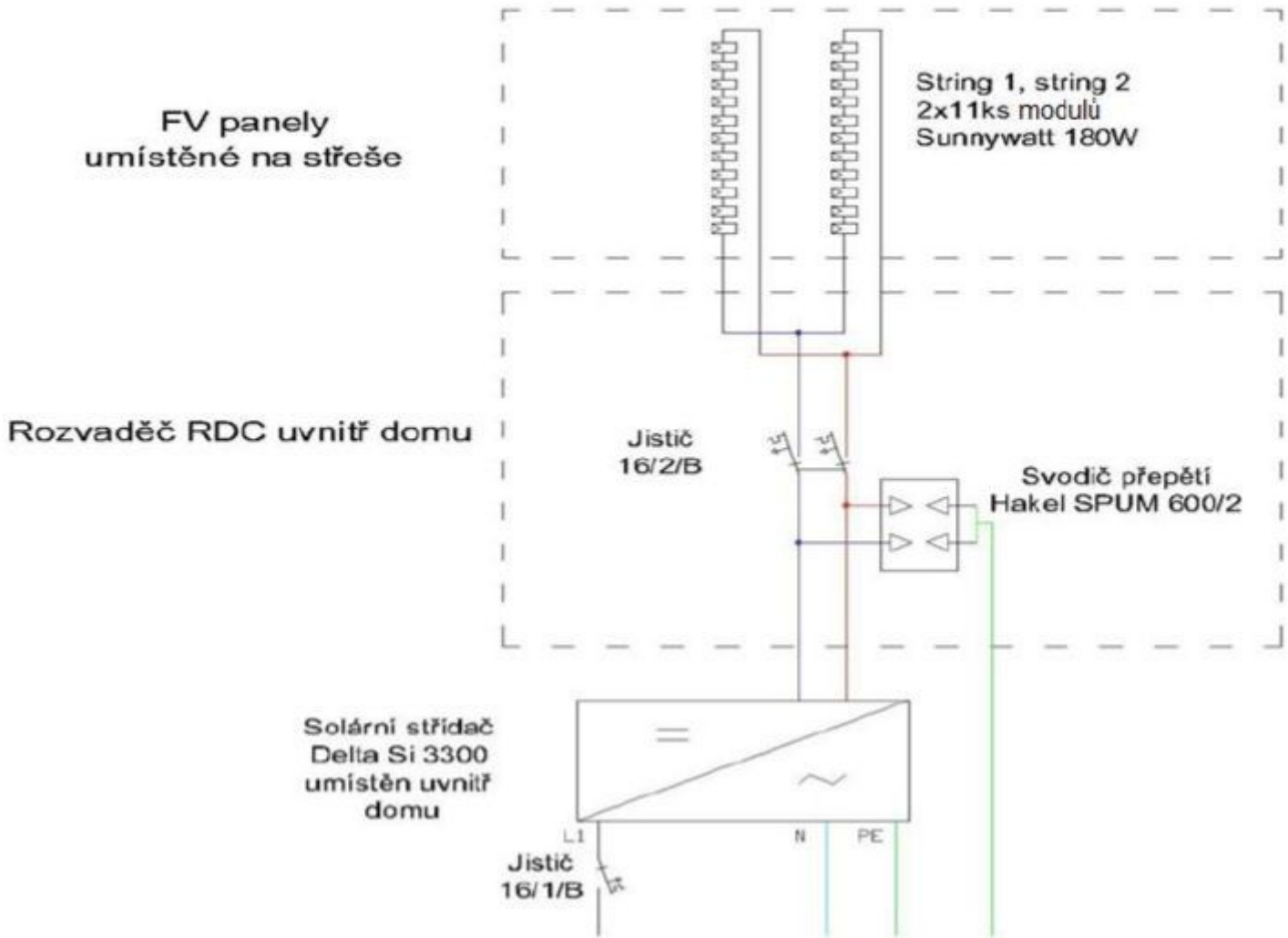


Vliv energetických ztrát systému na stupeň soběstačnosti
RD s tepelným čerpadlem a elektroautem, 10 kWp a 9,364 MWh/ rok

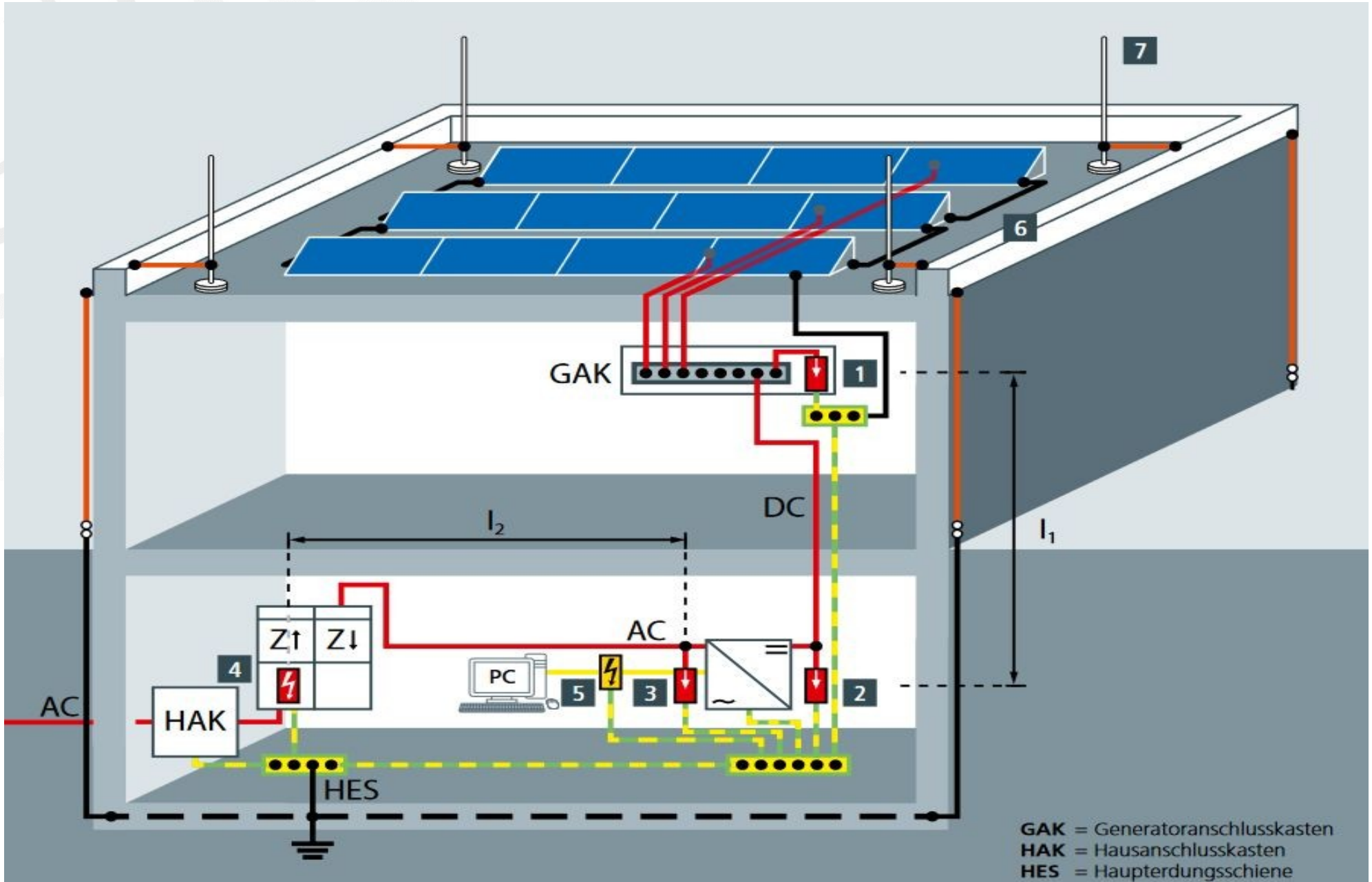
ochrana fotovoltaiky před
účinky atmosférické elektřiny a přepětím






FV panely
umístěné na střeše
String 1, string 2
2x11ks modulů
Sunnywatt 180W
Rozvaděč RDC uvnitř domu
Jistič
16/2/B
Svodič přepětí
Hakel SPUM 600/2
Solární střídač
Delta Si 3300
umístěn uvnitř
domu
L1
N
PE
Jistič
16/1/B

Řešení firmy DEHN



děkuji za pozornost

Zdroje a literatura:
Prof. Benda, přednášky, ČVUT FEL
Prof Quasching, prezentace, HTW Berlin
Stromspeicher-Inspektion.de, HTW Berlin
Prof.Baumgartner, přednášky ZHAW Zürich
Wikipedia, PVGIS,
Researchgate.net , semanticscholar.org,
Katalogy výrobců RCT, Victron, Epever, DEHN

Děkuji katedře elektrotechnologie ČVUT FEL, která mi umožnila načerpat vemi cenné odborné znalosti !

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo

VanCo