

Provozní podmínky fotovoltaických systémů

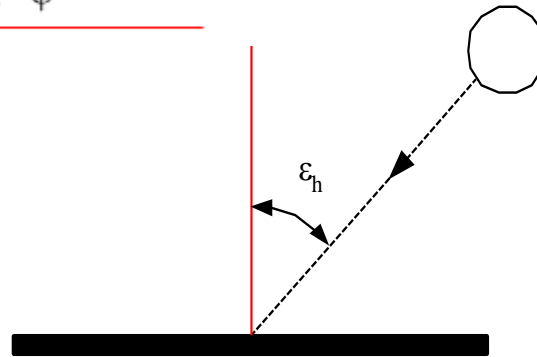
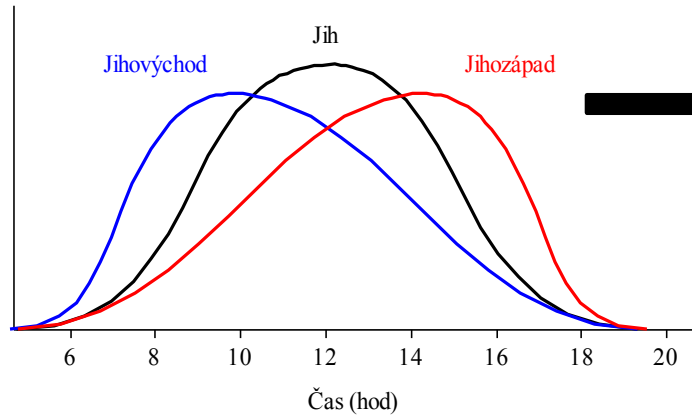
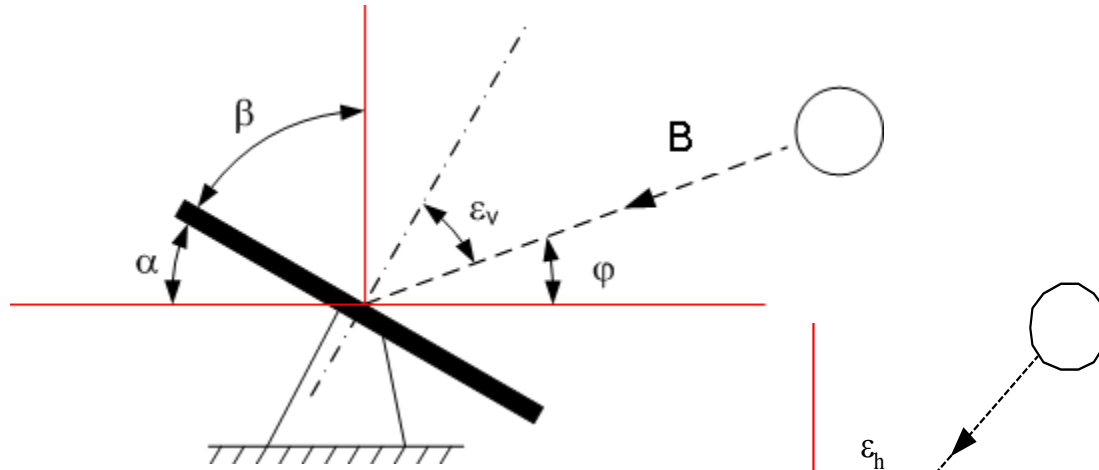
Pro provoz fotovoltaických systémů jsou důležité

Orientace fotovoltaického pole vůči Slunci

Lokální stínění

Teplota PV pole

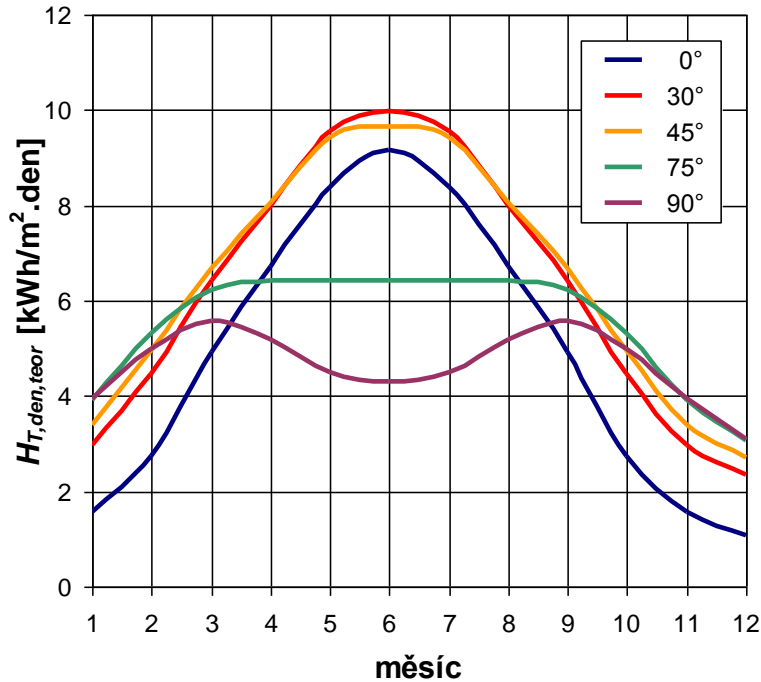
Pevná konstrukce (orientace, sklon)



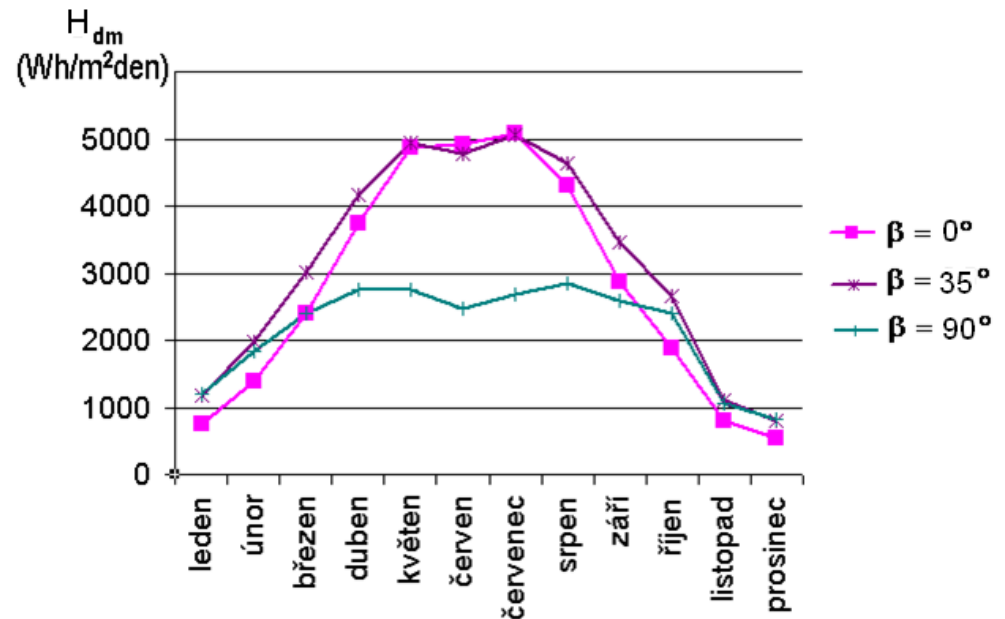
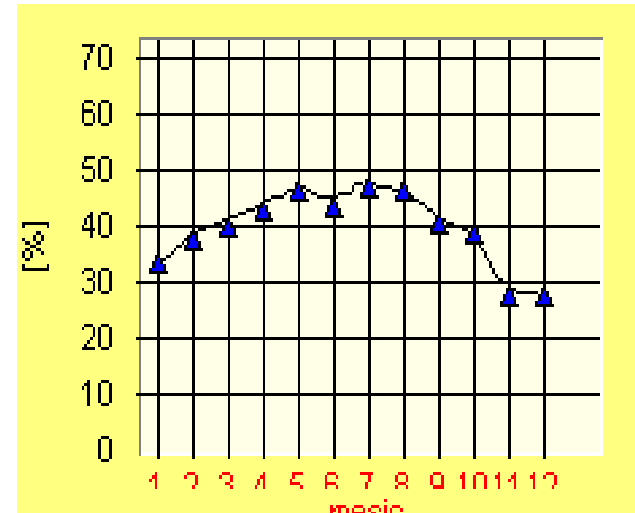
Za jasné oblohy

$$G_B(t) = 1367 \times 0.7 \frac{1}{\sin \varphi(t)} \cos \epsilon_v(t) \cos \epsilon_h(t)$$

Energie dopadá na plochu skloněnou o úhel při jasné obloze

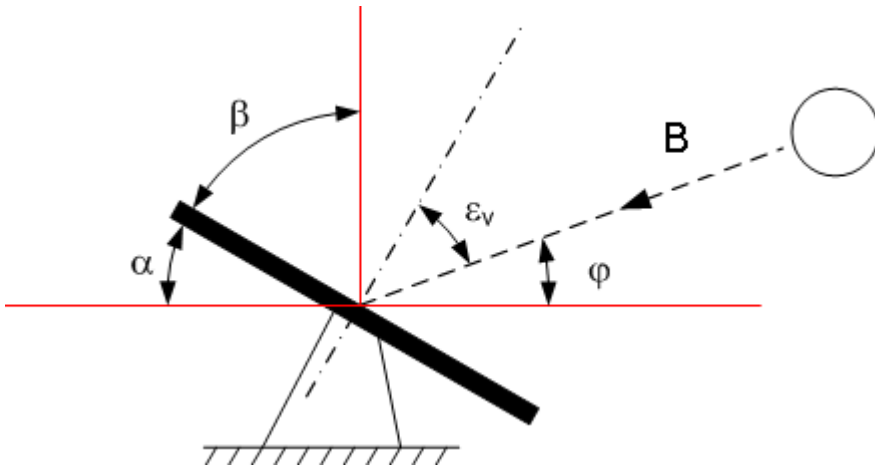


Vlivem oblačnosti se v zimních měsících zvyšuje podíl difúzního záření



System se sledovačem

Otáčení kolem jedné osy



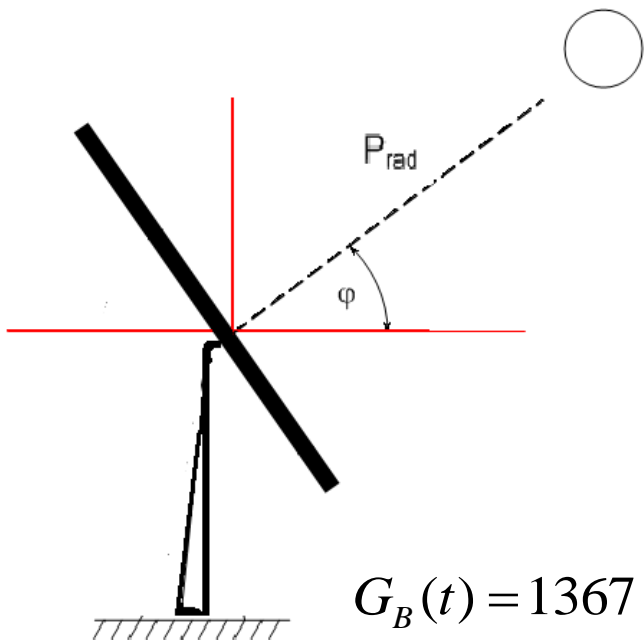
$$G_B(t) = 1367 \times 0.7 \frac{1}{\sin \varphi(t)} \cos \varepsilon_v(t)$$

$$G_B(t) = 1367 \times 0.7 \frac{1}{\sin \varphi(t)} \cos \varepsilon_h(t)$$



System se sledovačem

Dvouosé natáčení FV pole

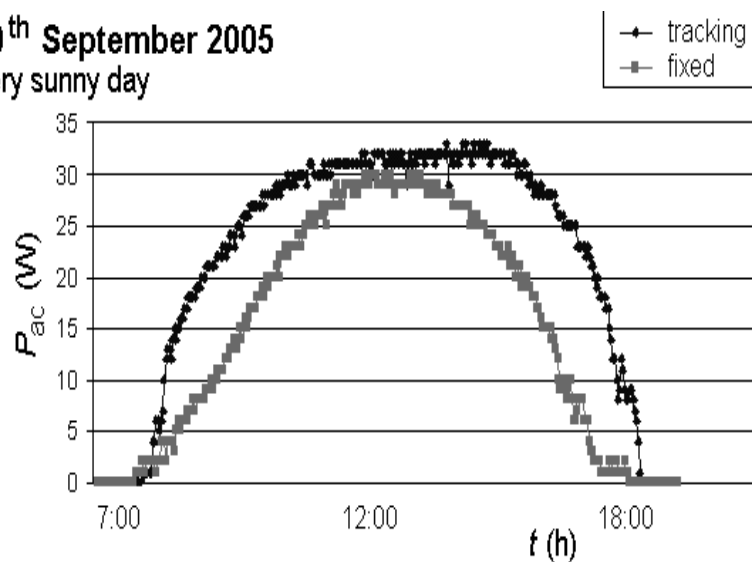


$$G_B(t) = 1367 \times 0.7 \frac{1}{\sin \varphi(t)}$$

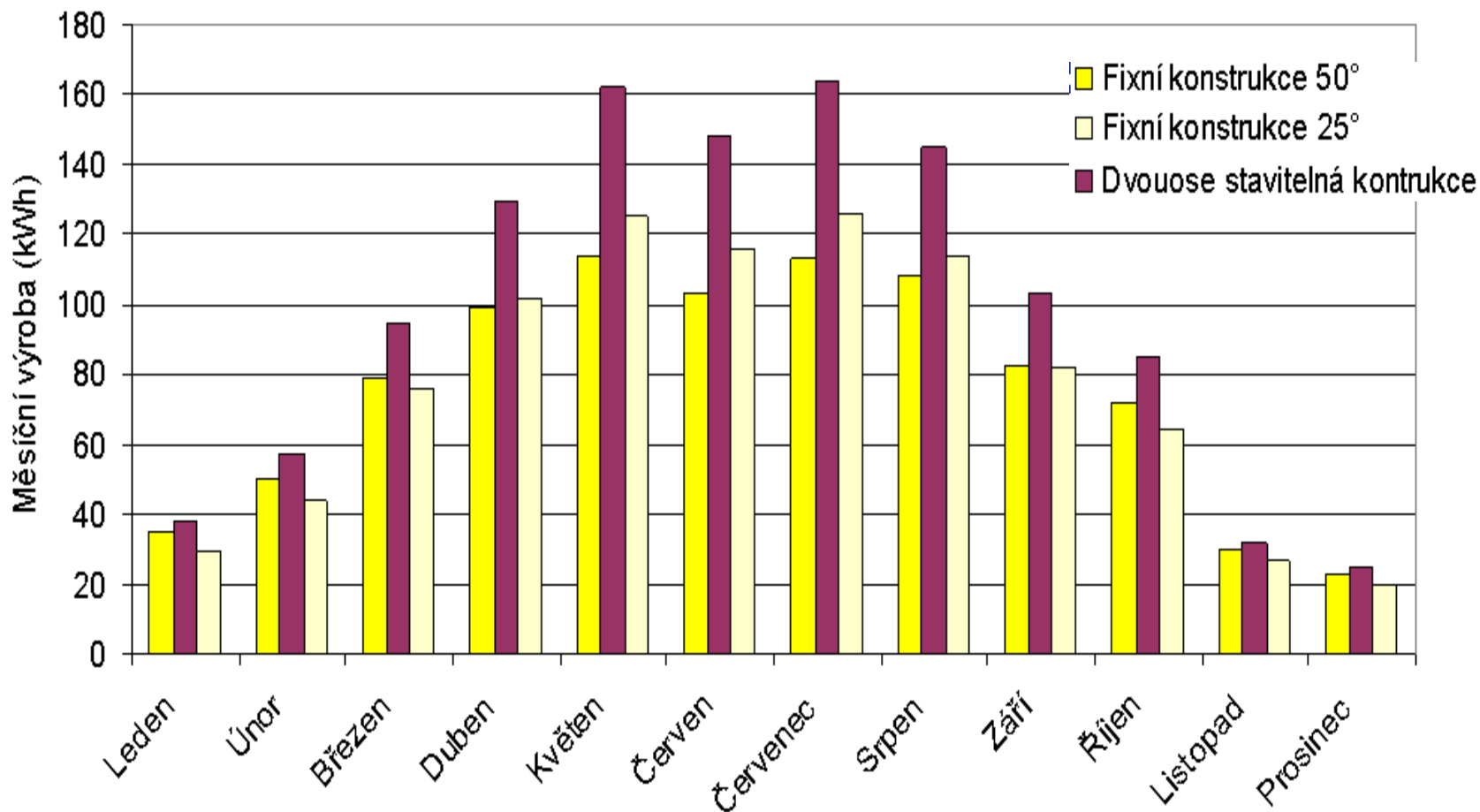
Systemy se sledovačem mohou získat až o 30% více energie oproti systémům s pevnou konstrukcí



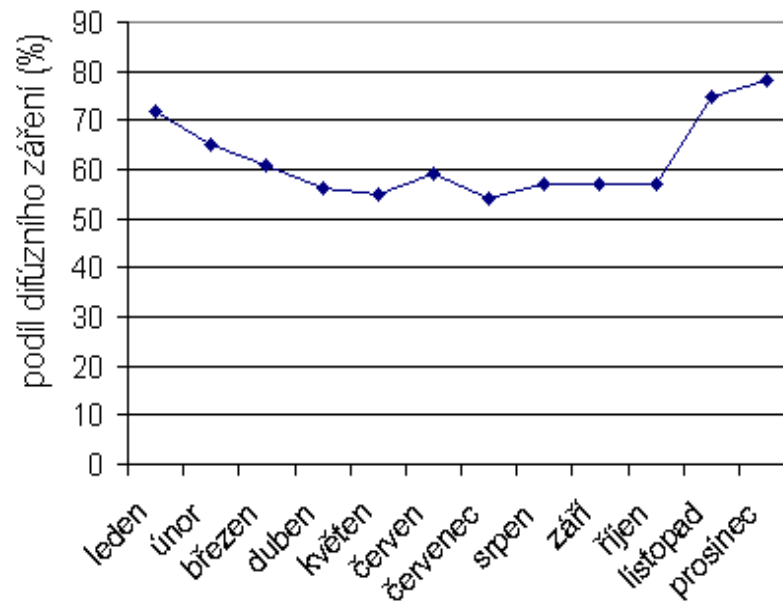
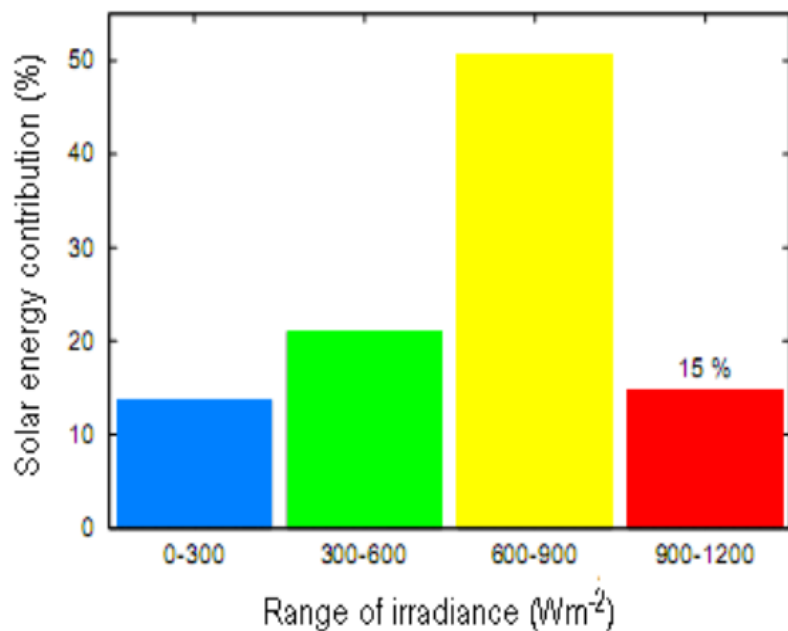
19th September 2005
very sunny day

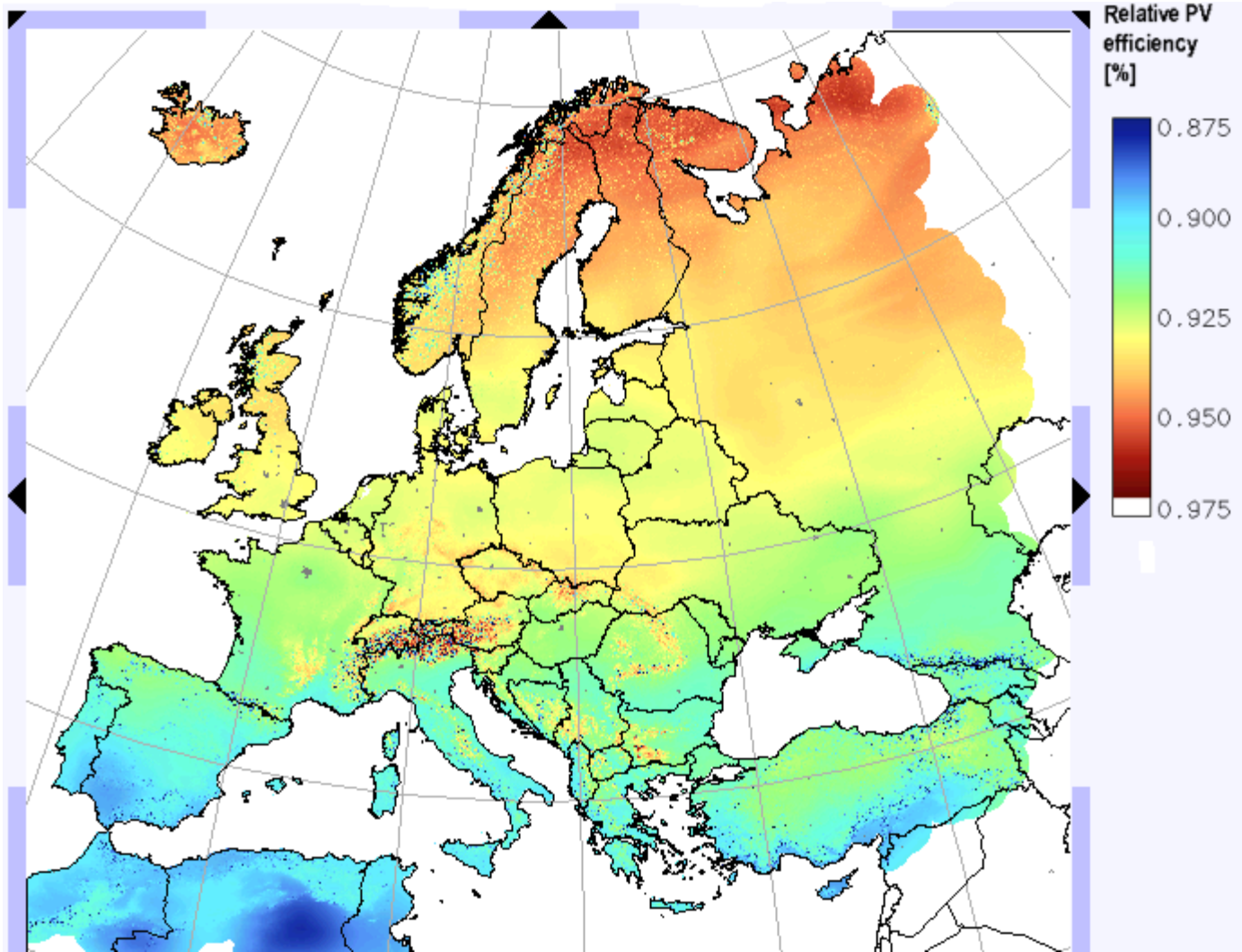


Porovnání různých konstrukcí (v podmínkách ČR)



Údaje o intenzitě dopadajícího záření

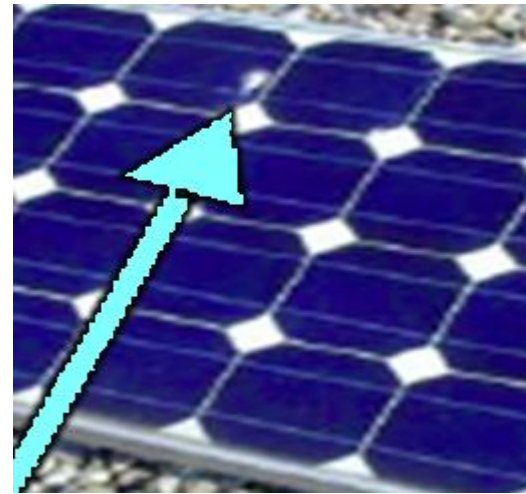




Lokální stínění

Může vzniknout:

- při znečištění modulu



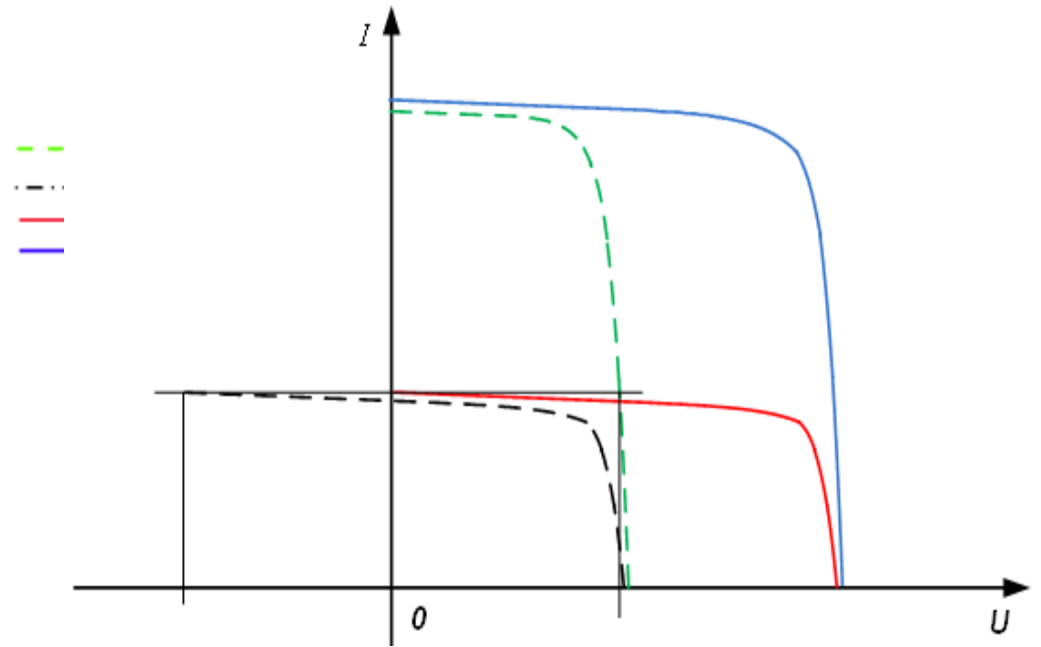
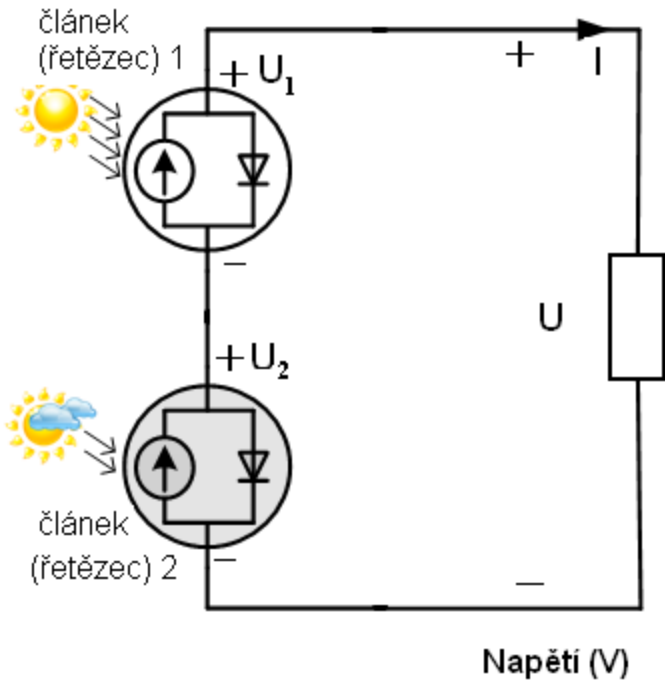
- stíny vržené různými předměty v okolí



- stíny vržené jinými částmi instalace

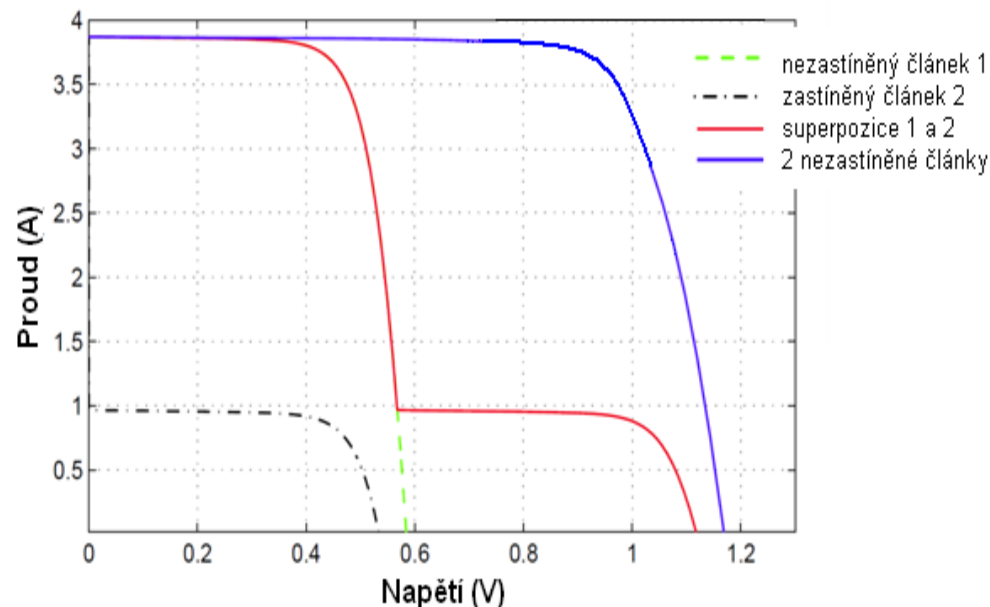
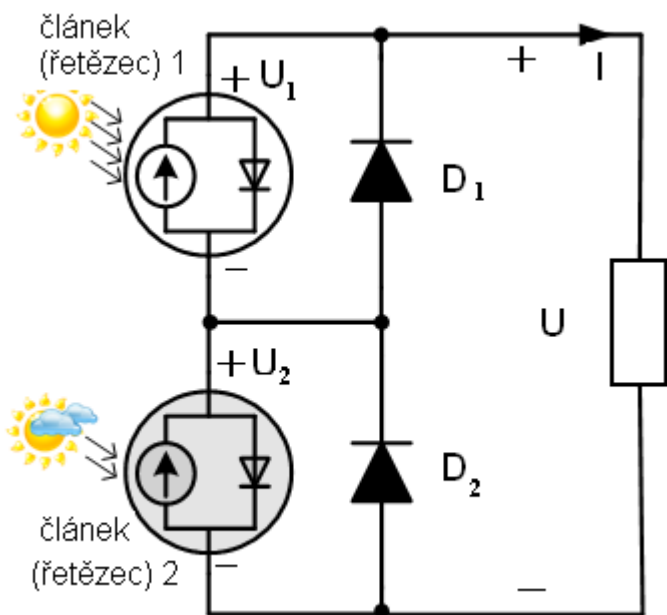


Nehomogenní ozáření sériově zapojených článků (řetězců) bez překlenovacích diod



Zastíněný článek omezuje proud

Nehomogenní ozáření při aplikaci překlenovacích diod

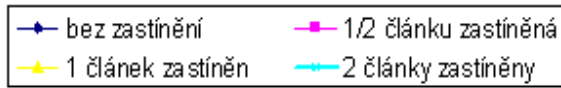
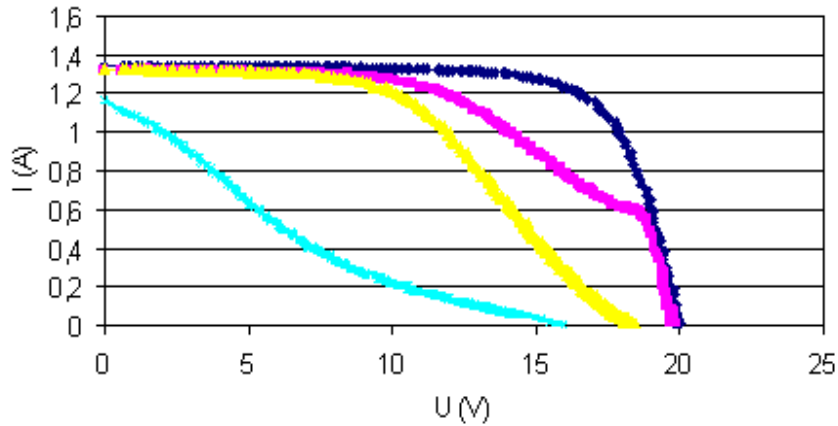


Jestliže celkový proud I je větší, než proud nakrátko článku 2, teče proud překlenovací diodou D_2

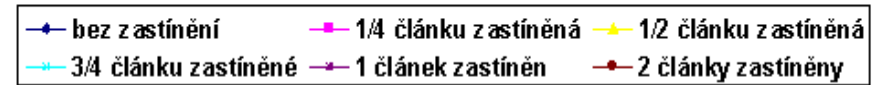
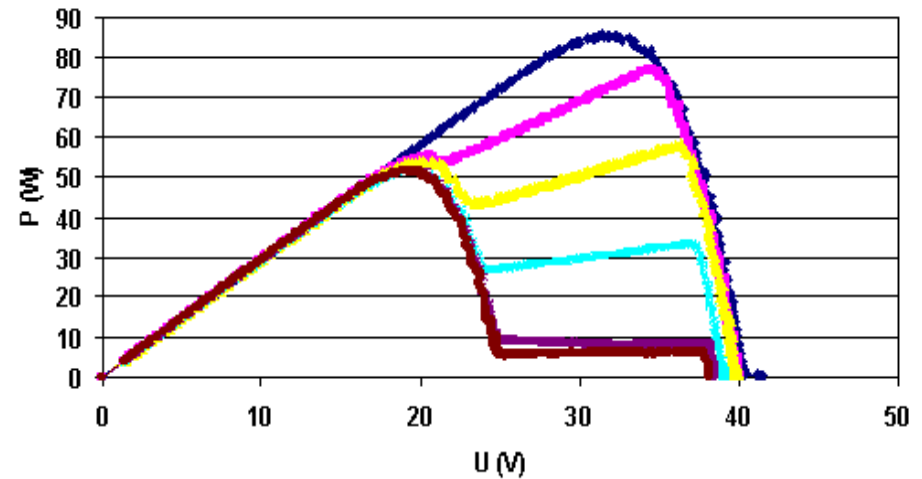
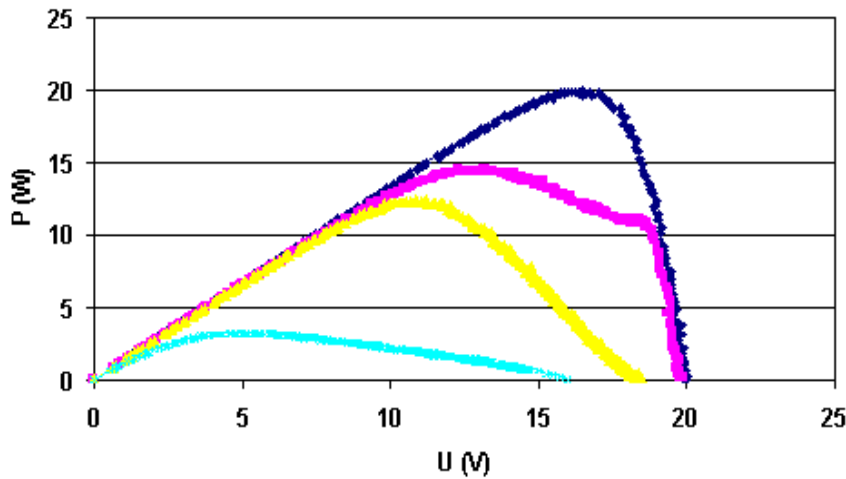
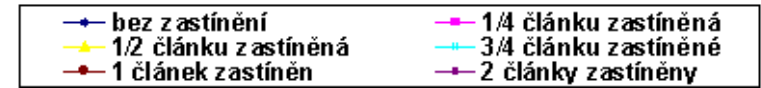
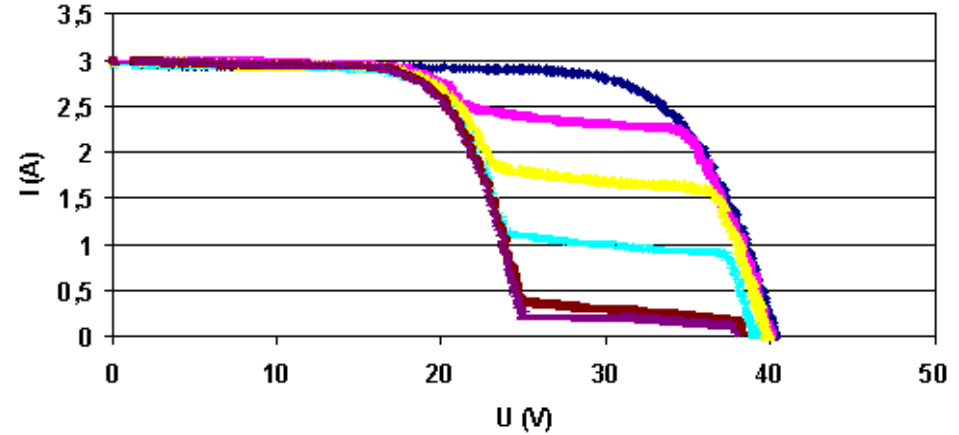


Vliv překlenovacích diod na V-A charakteristiku částečně zastíněných modulů

Bez diod

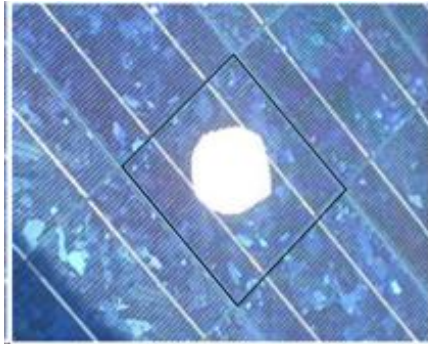


S diodami

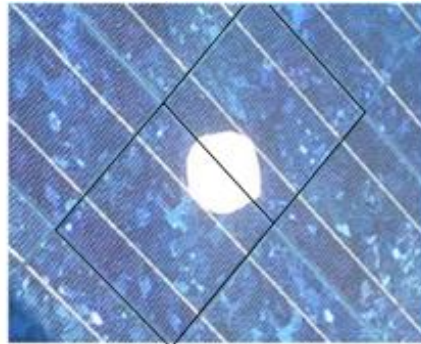


Znečištění PV modulů

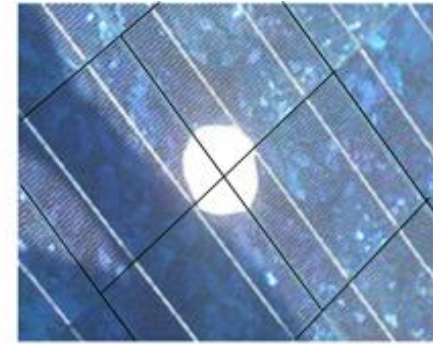
I relativně malé znečištění ovlivňuje V-A charakteristiku modulu



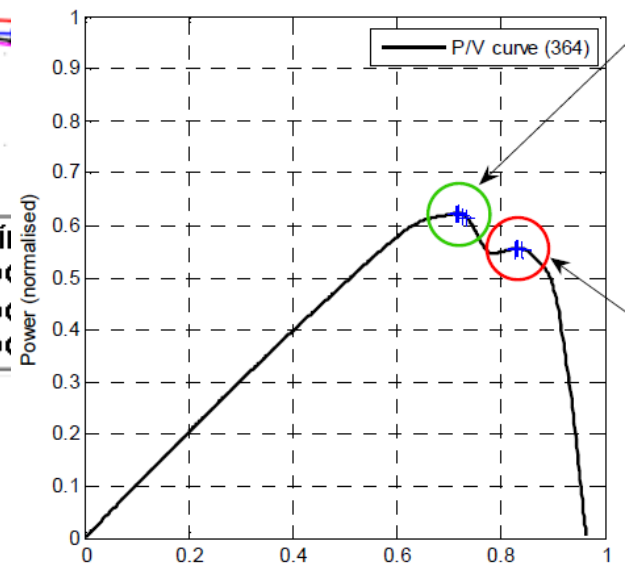
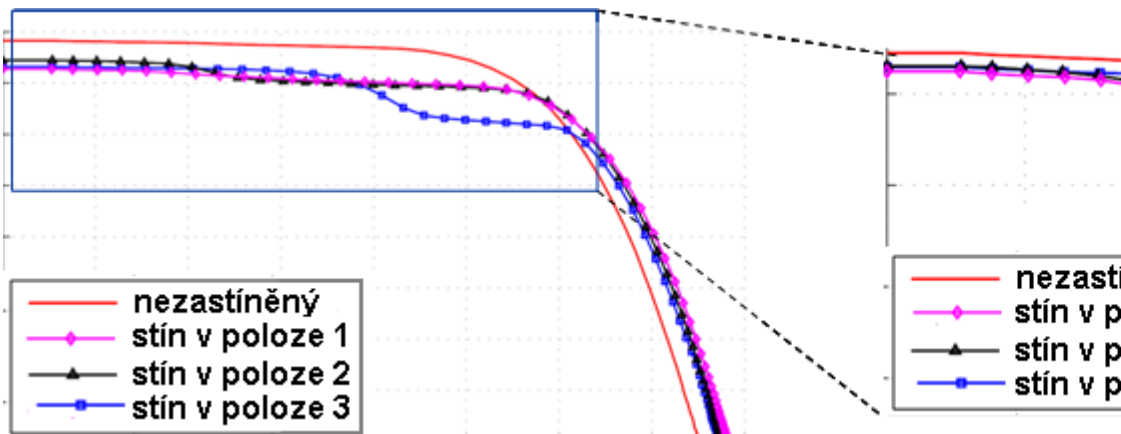
poloha 1



poloha 2



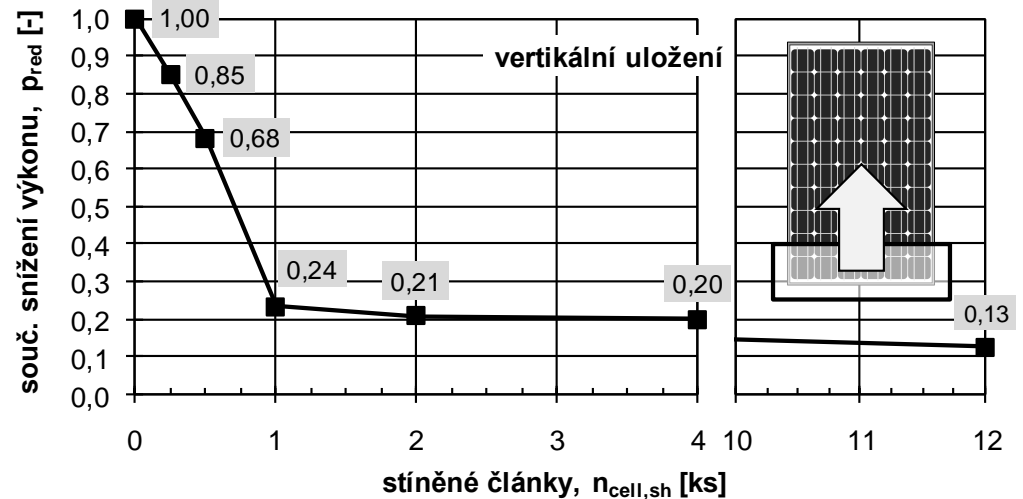
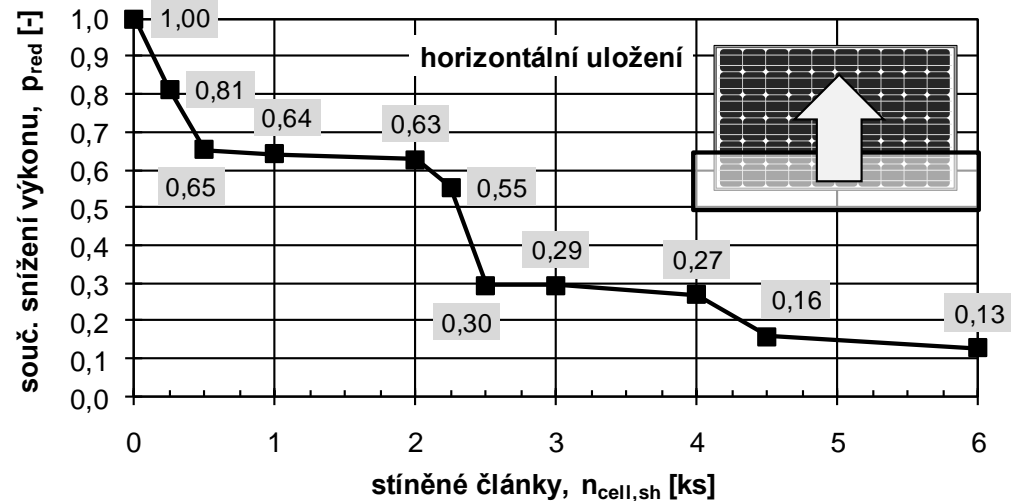
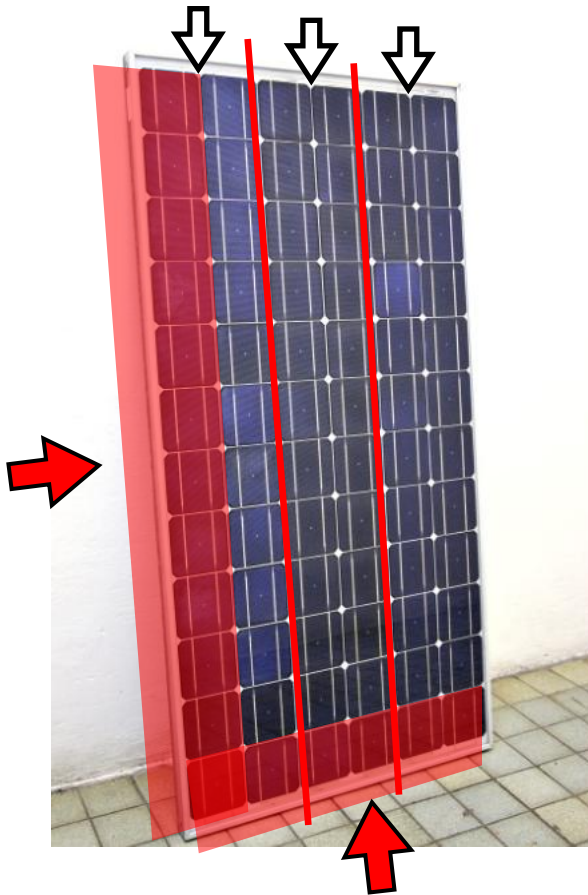
poloha 3



Pokles výkonu modulů při částečném zastínění

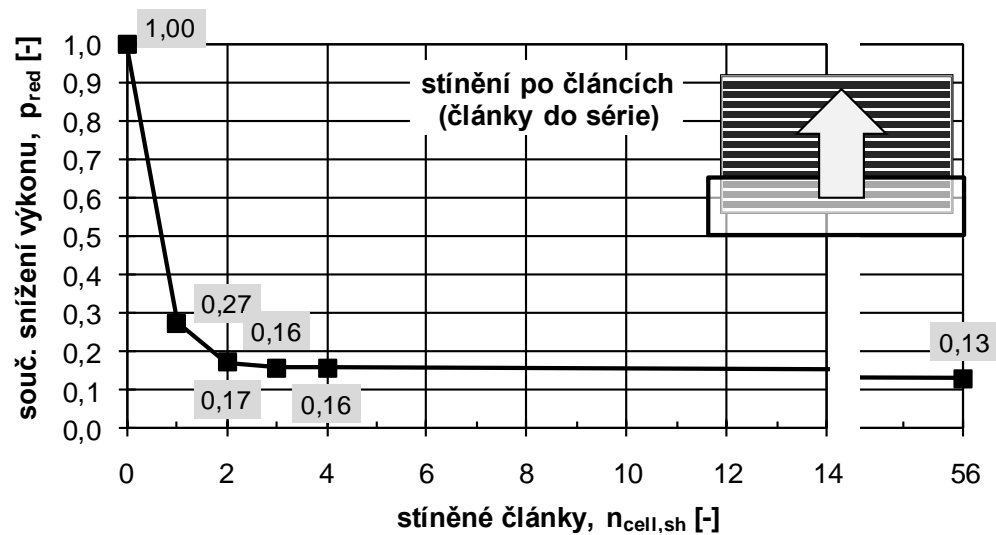
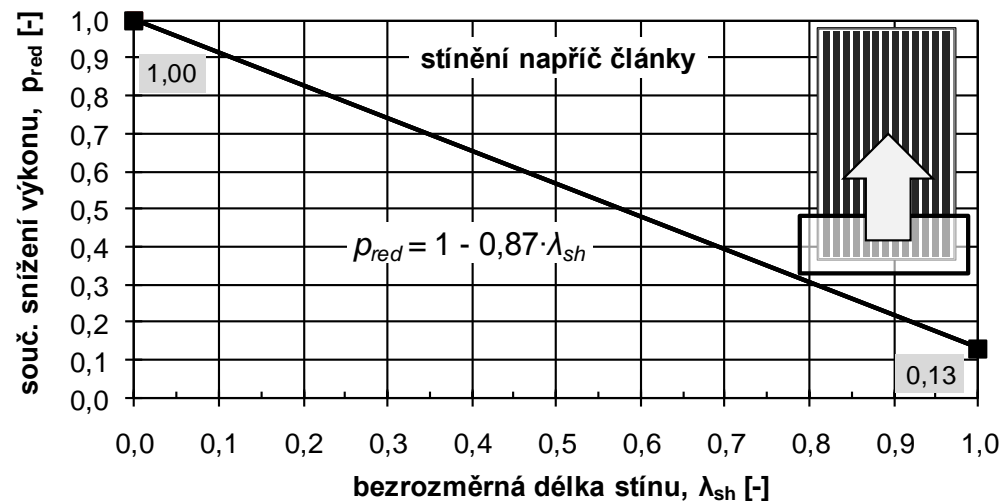
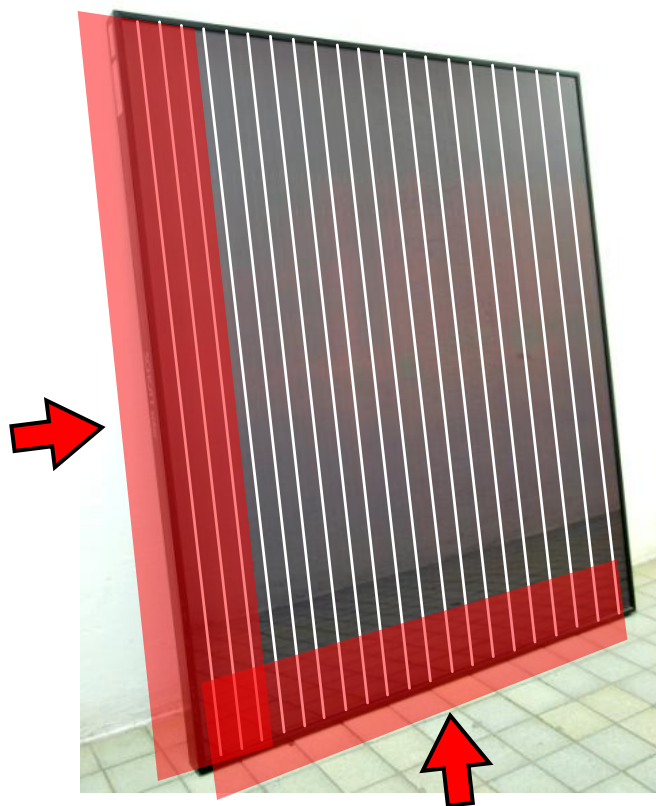
c-Si modul:

➤ 3 překlenovací diody



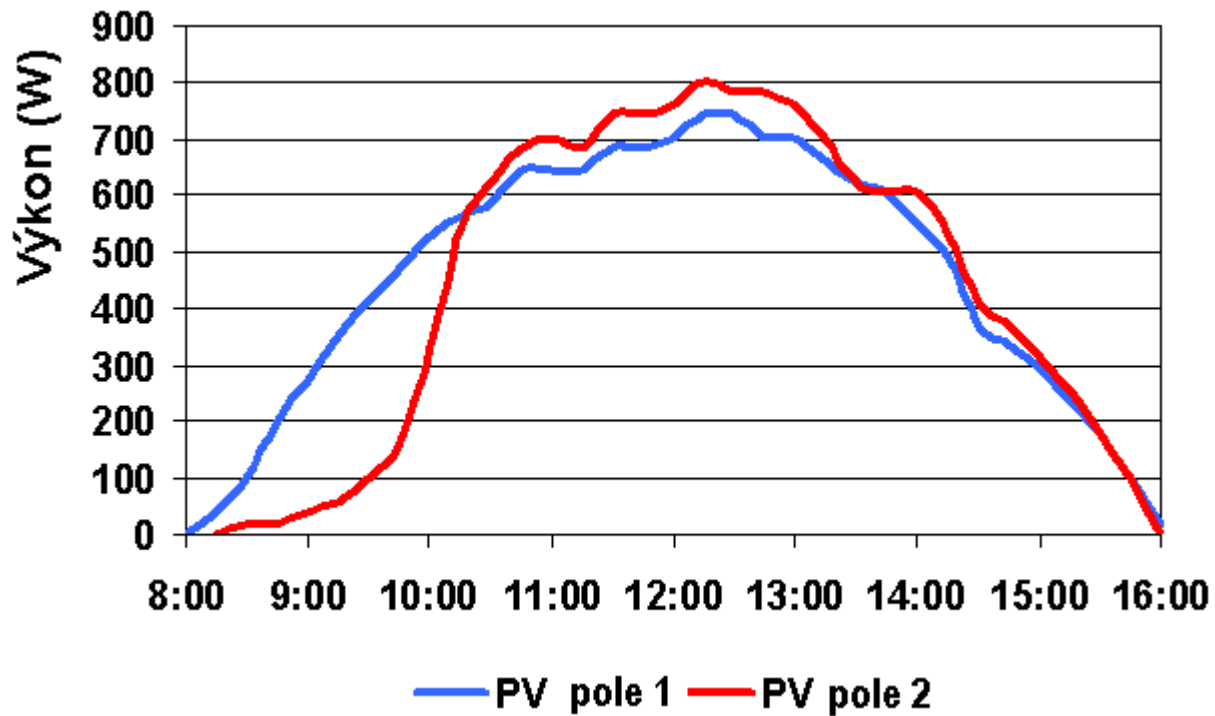
Tenkvrstvé moduly (a:Si, CdTe, CIGS)

Obvykle nemají
překlenovací diody



Lokální stínění

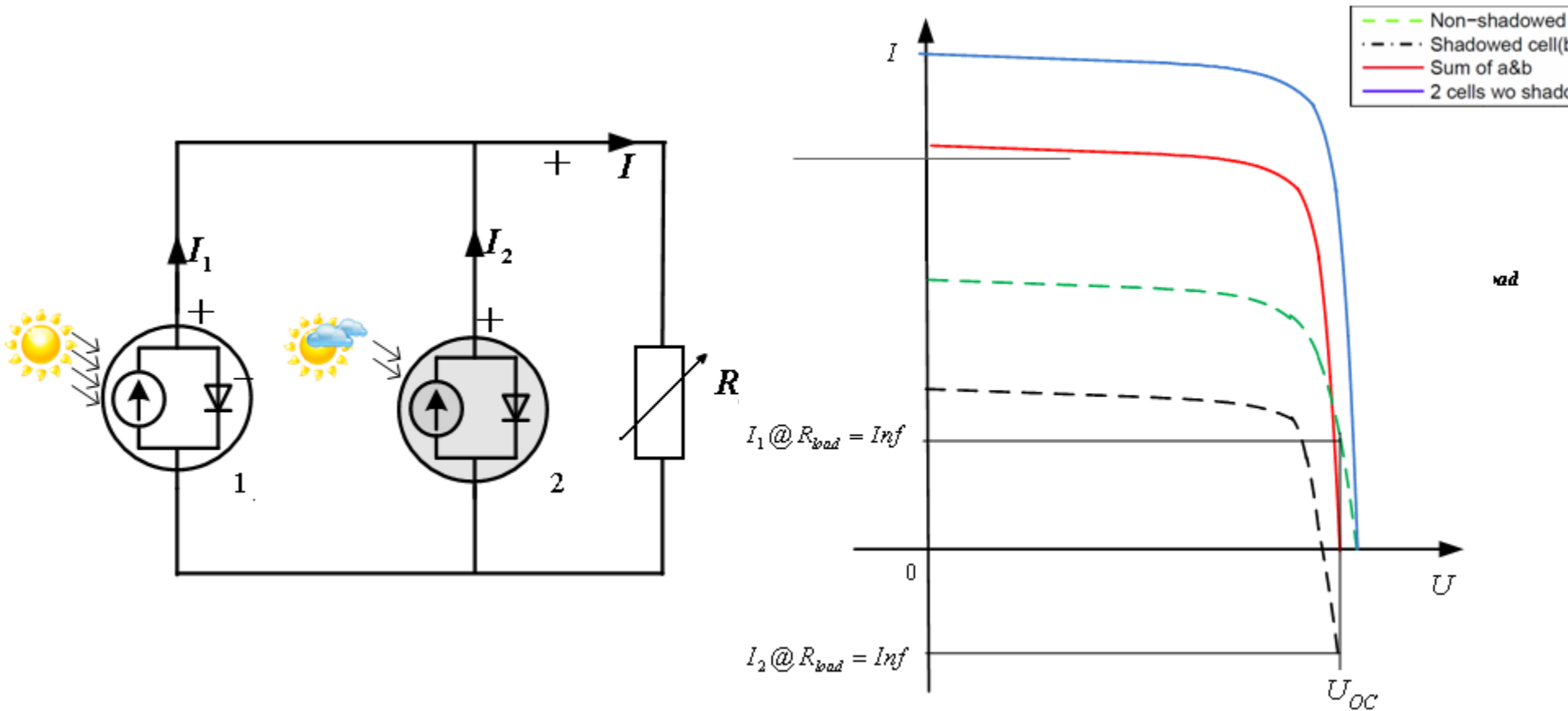
- může výrazně snížit účinnost FV systému



Problémy s částečným
stíněním mohou být spojeny
se zastiňováním sněhem



Při nehomogenním ozáření mohou být problémy s paralelně spojenými moduly



V případě malé zátěže může dojít k přepólování méně ozářeného modulu (řetězce). Jako prevence se proto často zařazují blokovací diody

Vliv teploty na VA charakteristiku

$$U_{oc} \approx \frac{kT}{e} \ln \frac{I_{PV}}{I_{01}}$$

$$I_{01} \sim n_i^2 = BT^3 \exp\left(\frac{-W_g}{kT}\right)$$

Je proto $\frac{\partial U_{oc}}{\partial T} < 0$

Pro c-Si fotovoltaické články pokles U_{oc} je okolo 0.4%/K

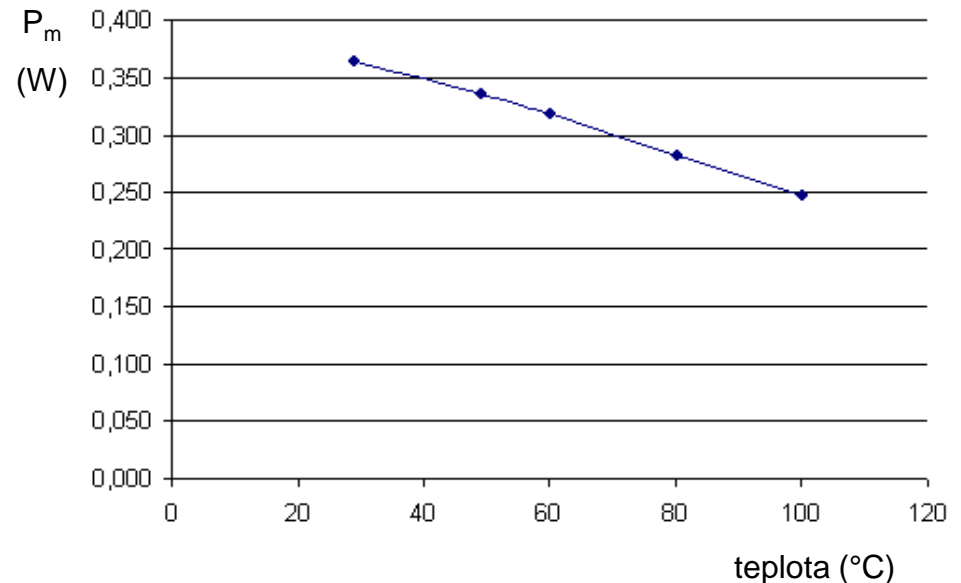
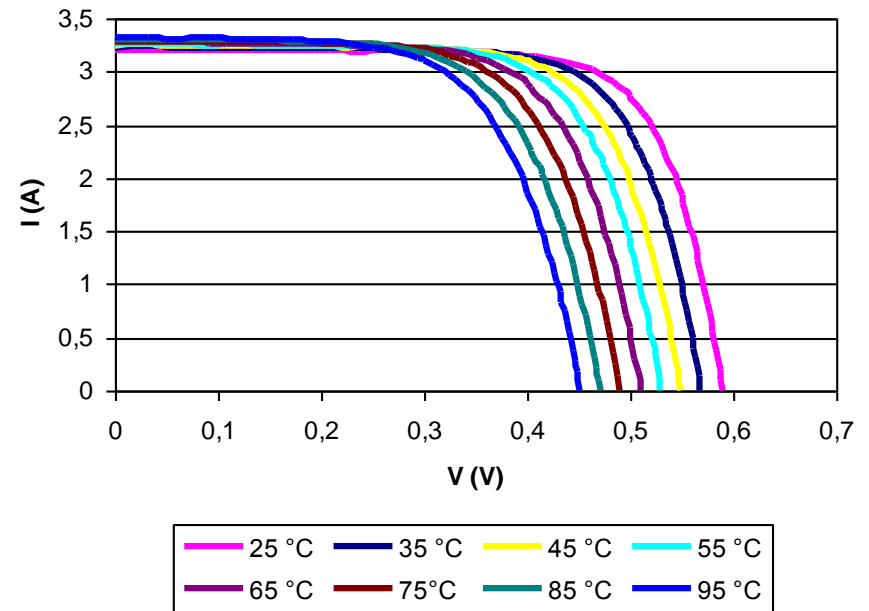
R_s roste s rostoucí teplotou

R_p klesá s rostoucí teplotou

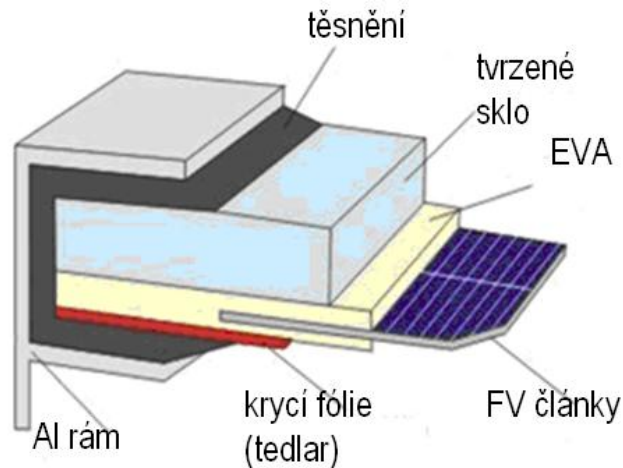
Činitel plnění FF a účinnost s rostoucí teplotou klesají

$$\frac{\partial FF}{\partial T} < 0 \quad \frac{\partial \eta}{\partial T} < 0$$

V případě c-Si $\frac{1}{\eta} \frac{\partial \eta}{\partial T} \approx 0.5\% K^{-1}$



Provozní teplota FV článků a modulů



Provozní teplota FV článků v modulu závisí na teplotě okolí. Intenzitě dopadajícího záření na konstrukci modulu

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) je definována jako teplota článků T_c při teplotě okolí $T_a' = 20^\circ\text{C}$, intenzitě slunečního záření $G = 0.8 \text{ kWm}^{-2}$ a rychlosti větru 1 ms^{-1} .

$$T_c = T_a + r_{thca} G_{ab}$$

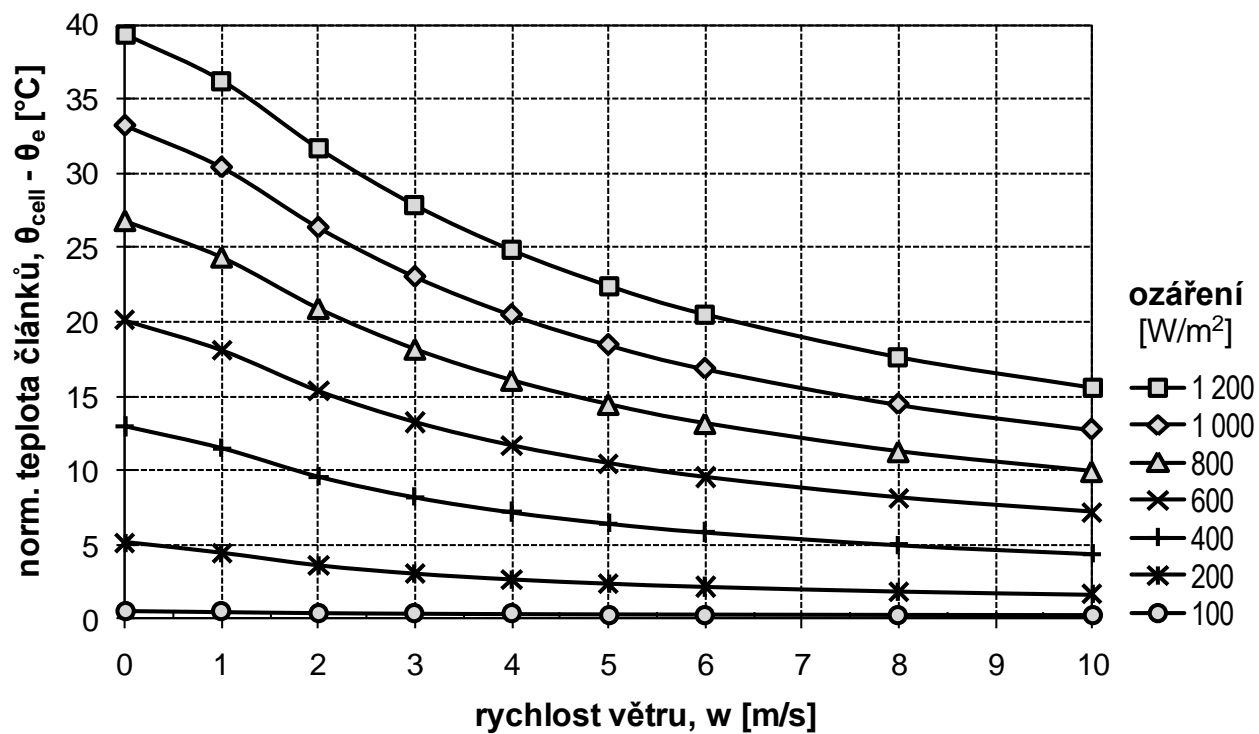
$$r_{thcab} = \frac{d_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_b} \quad r_{thcaf} = \frac{d_f}{\lambda_f} + \frac{1}{h_f}$$

$$r_{thca} = \frac{r_{thcaf} r_{thcab}}{r_{thcaf} + r_{thcab}}$$

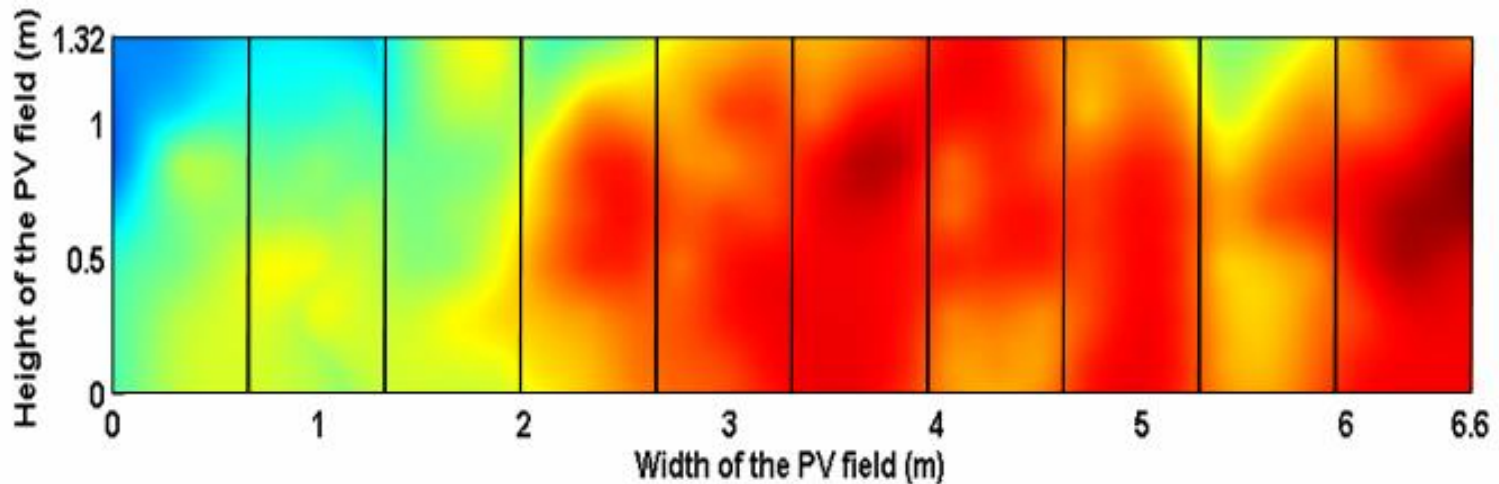
Na zadní straně modulu je možno měřit teplotu modulu T_{mod}

$$T_c = T_{mod} + \Delta T \frac{G}{G_{SCT}}$$

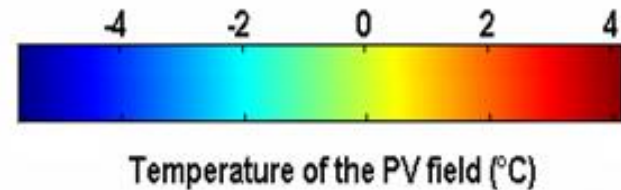
Nárůst teploty c-Si FV článků nad teplotu venkovního vzduchu v závislosti na ozáření a rychlosti větru.

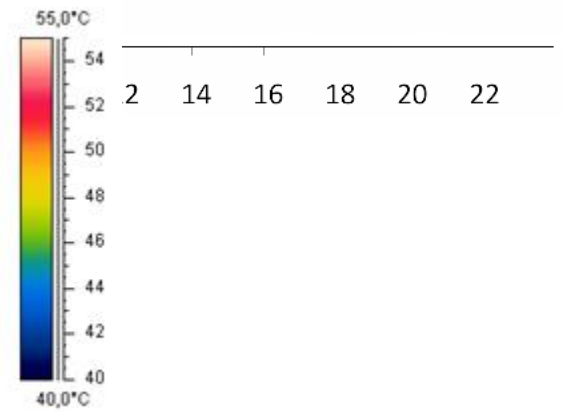
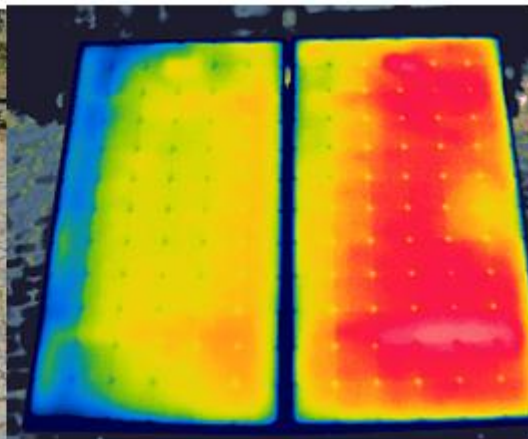
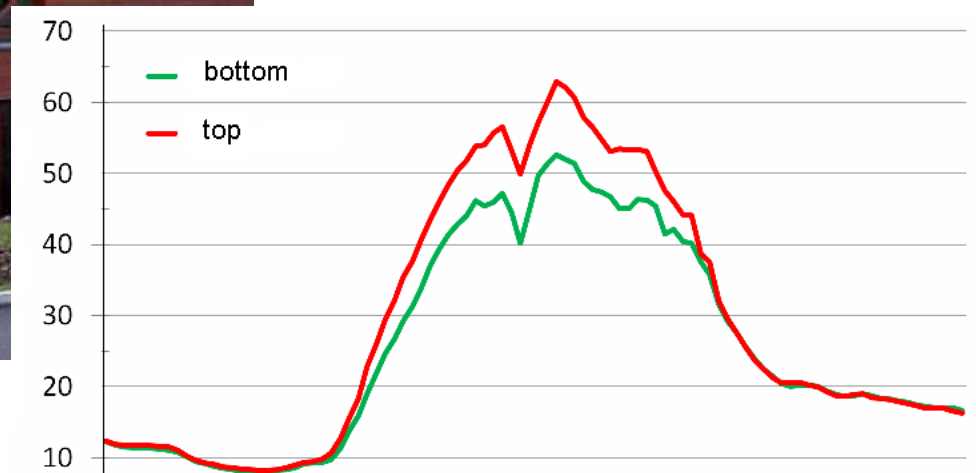
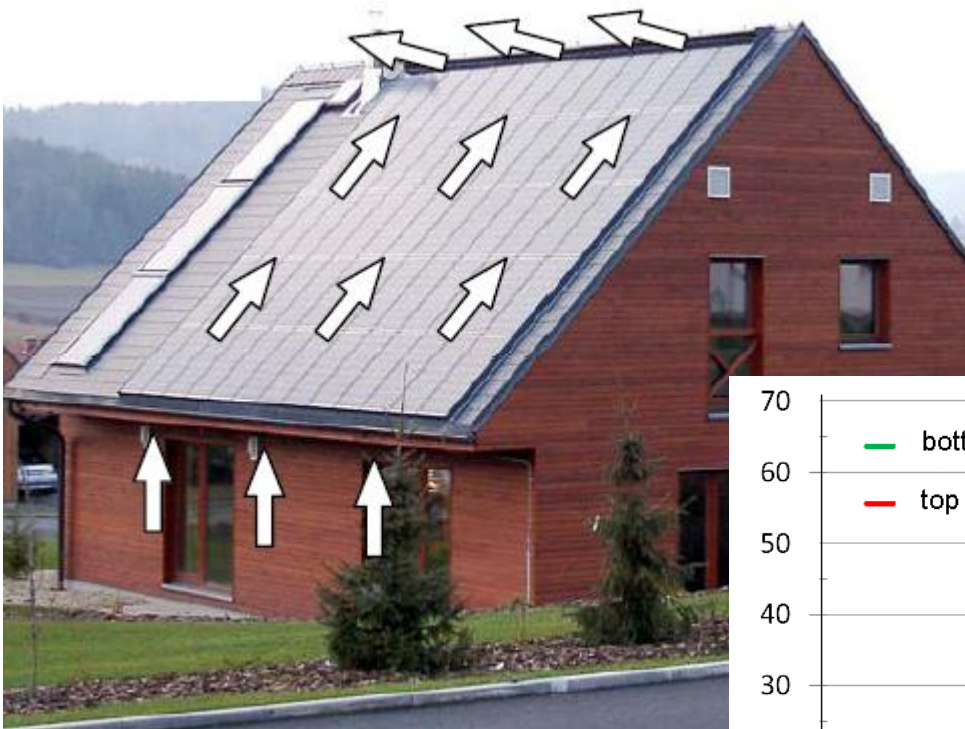


V reálných podmínkách se rozdíl v pozici PV modulů (může být různá rychlost proudění vzduchu) projeví v nehomogenním rozložení teploty ve fotovoltaickém poli

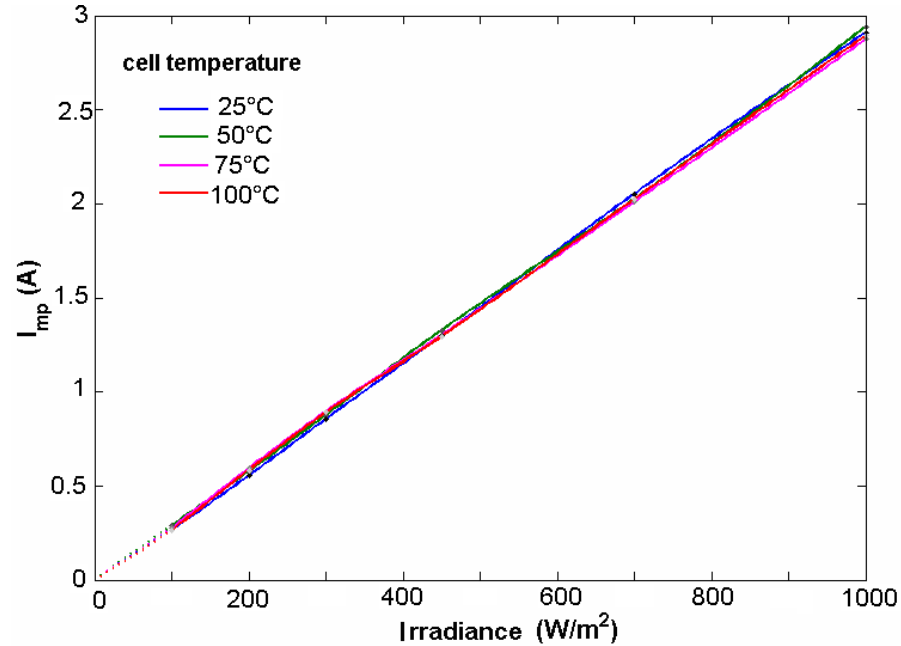


Rozložení teploty na PV poli na střeše budovy – slunný zimní den





Pokud řetězec pracuje v MPP $I = I_{mp}$

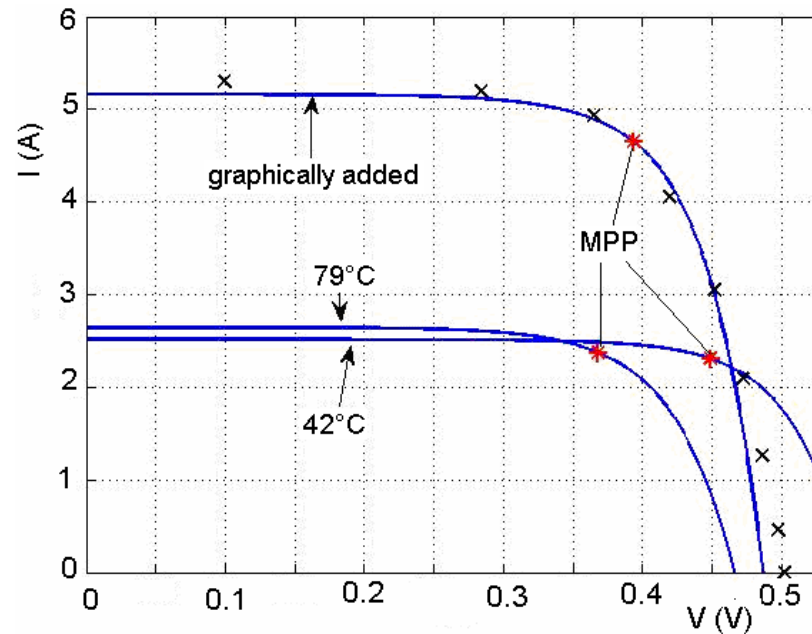
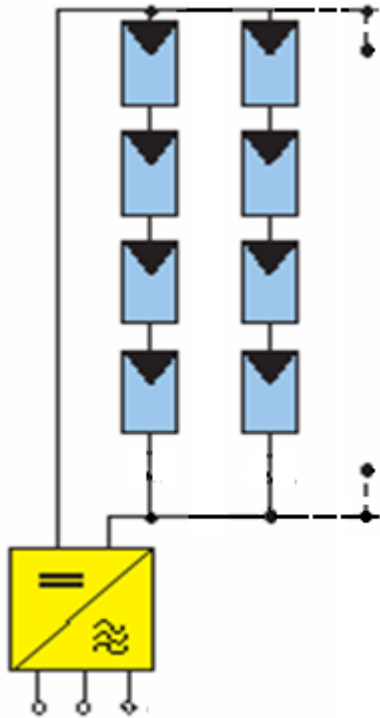


U modulů z krystalického křemíku I_{mp} prakticky nezávisí na teplotě

$$P_{mp} = I_{mp} \sum_{i=1}^n V_{mp}(T_i) = nI_{mp} V_{mp}(T_{AV})$$

T_{AV} je střední hodnota teploty článku

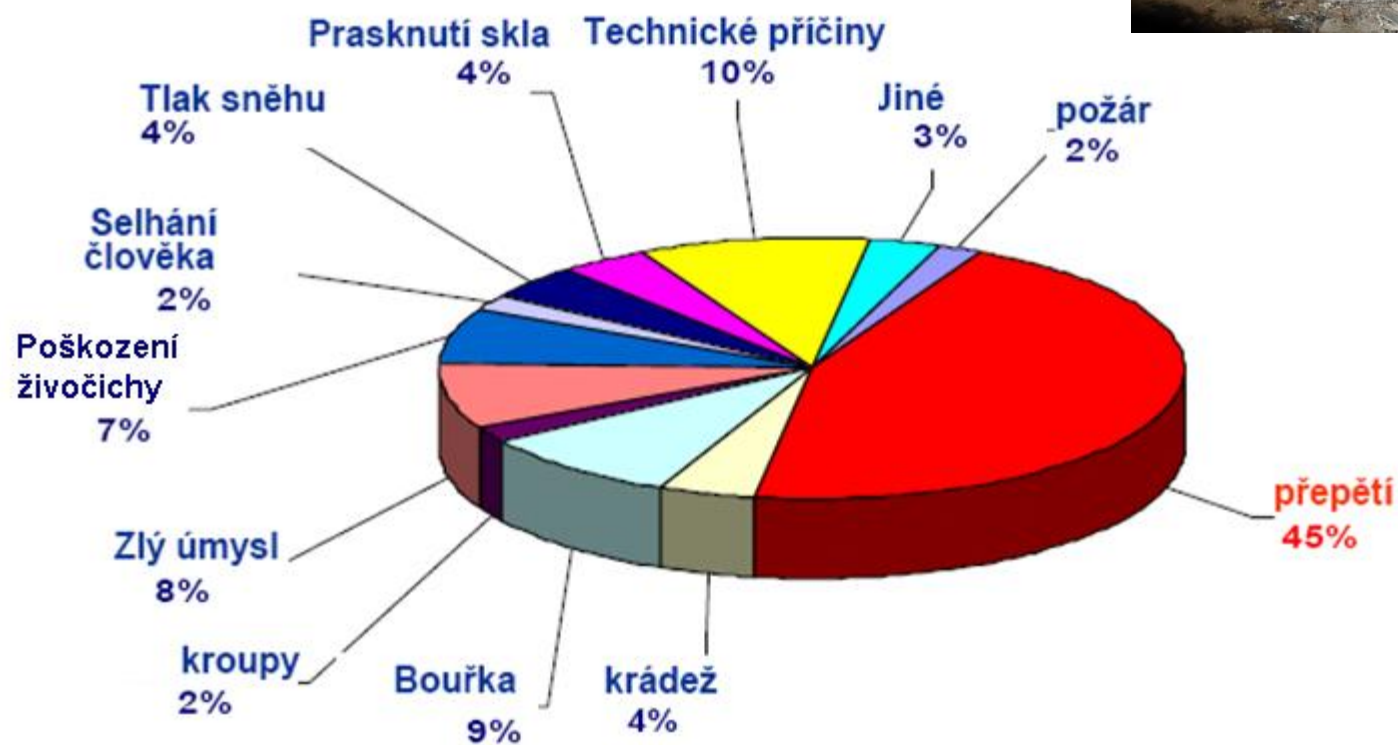
Paralelní řazení řetězců



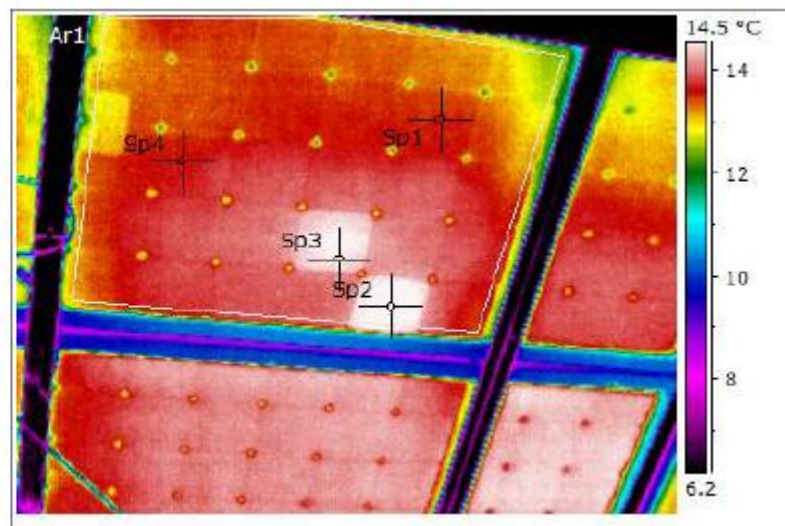
V případě rozdílné teploty nemohou paralelně spojené řetězce pracovat v MPP modulů

Účinnost klesá a vliv paralelního spojení modulů (řetězců) s různou teplotou se projeví poklesem účinnosti o cca 0.15% na °C teplotního rozdílu

Statistika škod na fotovoltaických systémech dle četnosti příčin



Jiným indikátorem poruch je zvýšená teplota

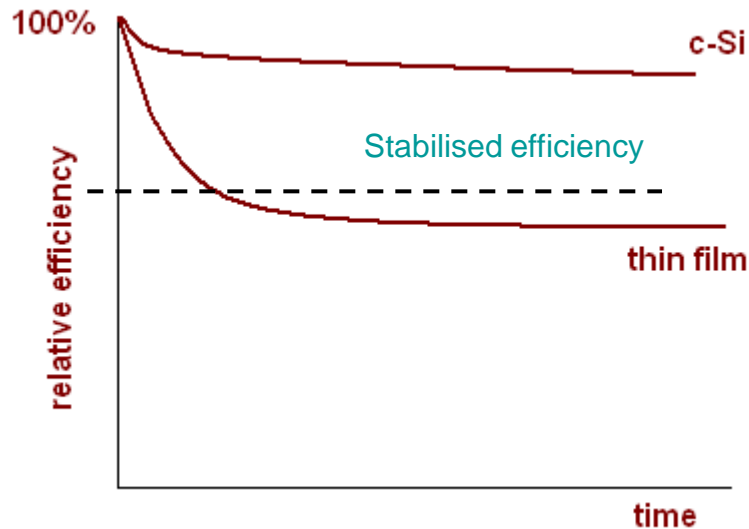


Místa se zvýšenou teplotou buď nepracují, nebo jsou přetěžována

Životnost modulů

Doba od počátku výroby elektrické energie do momentu, kdy výkon klesne pod 80% nominální hodnoty

Stárnutí – degrační procesy



C-Si

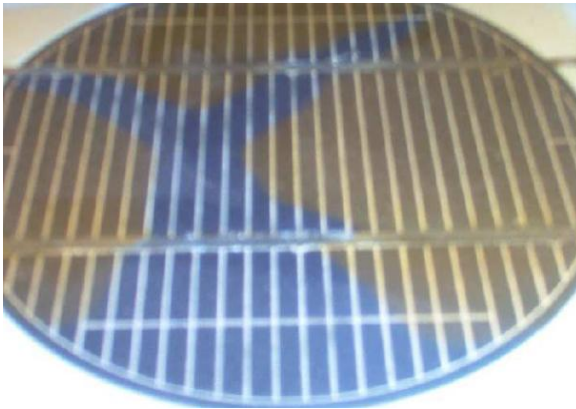
Decrease of glass and EVA transparency, corrosion effects

Thin films

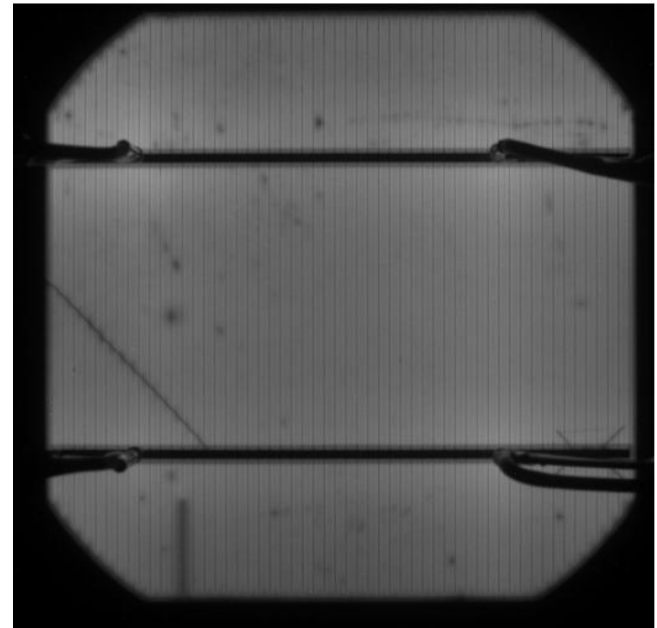
Thermo-mechanical stress (adhesion and cohesion of interfaces)
Transparency of encapsulation, corrosion effects

Problémy spolehlivosti

- Vlivem prostředí dochází ke stárnutí a následně k poklesu účinnosti
 - pokles transparentnosti skla
 - pokles transparentnosti EVA (hnědnutí)
 - nárůst sériového odporu
 - degradace jednotlivých vrstev struktury článků



**cíl: zvýšit životnost
modulů > 30 let**

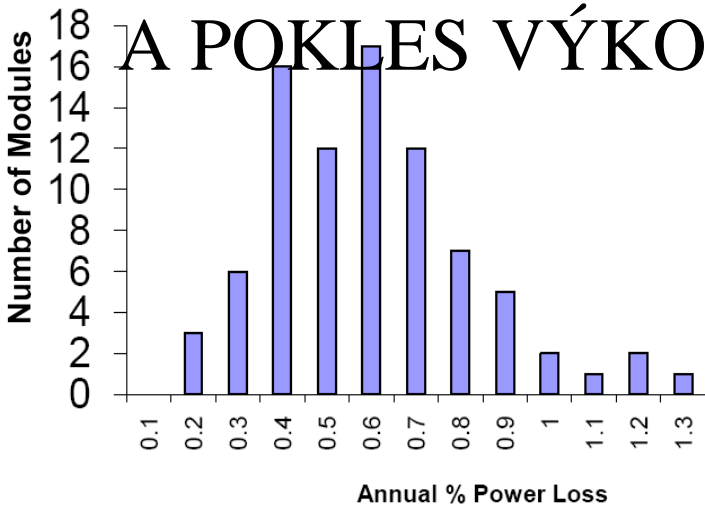


Hlavní typy poruch

Typ poruchy	Možný vliv na VA charakteristiku
Koroze	Nárůst R_s → snížení FF
Přerušení spojů článků, zlomené články	Nárůst R_s , zlomy na charakteristice → snížení FF, efekt podobný částečnému stínění
Snížení transparentnosti krycích vrstev	Snížení maximálního výkonu
- Znečištění povrchu - Prach - Zabarvení plastových vrstev	Snížení FF, částečné stínění Snížení maximálního výkonu Snížení maximálního výkonu, snížení FF, Částečné stínění
Nepřizpůsobení	Snížení FF
Stárnutí materiálů (struktura PV článků)	Snížení maximálního výkonu, snížení FF

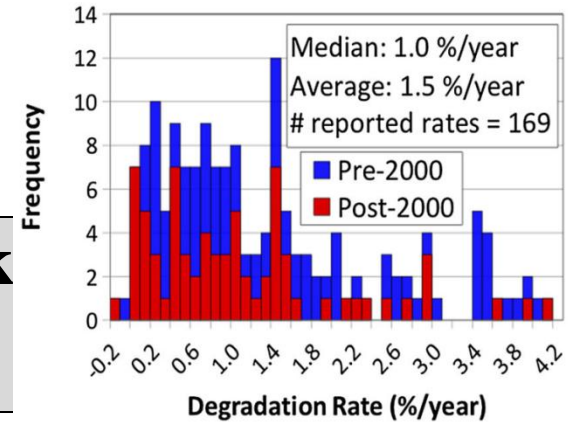
Nárůst sériového odporu je nejčastější příčinou degradace parametrů modulů

STÁRNUTÍ c-Si FV MODULŮ A POKLES VÝKONU



pokles - **0,5 %/rok**
životnost > **30 let**

Thin Films



Zdroj: *New Energy Options Inc.*
instalace z roku 1980.



ISAAC, venkovní testovací pole



ISAAC, instalace z roku 1982