



## FV panely v provozu

- provozní podmínky
- energetická bilance panelu
- výpočet roční produkce
- integrace (BIPV)
- hybridní FVT kolektory

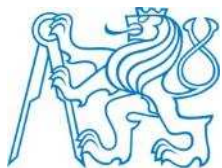




# Účinnost FV panelu

Manufacturer	MITSUBISHI ELECTRIC	
Model name	PV-MLU255HC	PV-MLU250HC
Cell type	Monocrystalline Silicon, 78mm x 156 mm	
Number of cells	120 cells	
Maximum power rating (Pmax)	255Wp	250Wp
Warranted minimum Pmax	247.4Wp	242.5Wp
PV USA test condition rating (PTC)	230.5Wp	225.8Wp
Open circuit voltage (Voc)	37.8V	37.6V
Short circuit current (Isc)	8.89A	8.79A
Maximum power voltage (Vmp)	31.2V	31.0V
Maximum power current (Impp)	8.82A	8.72A
Module efficiency	15.4%	15.1%
Aperture efficiency	16.7%	16.4%
Tolerance of maximum power rating	+3/-3%	
Static load test passed	5,400 Pa	
Number of bus bars per cell	4 Bus bars	
Normal operating cell temperature (NOCT)	45.7°C	
Maximum system voltage	DC 600V	
Fuse rating	15A	
Dimensions	64.0 x 40.1 x 1.81 inch (1625 x 1019 x 46 mm)	
Weight	44 lbs (20kg)	

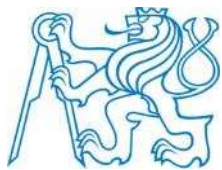
**jaká je roční účinnost FV systému ?**



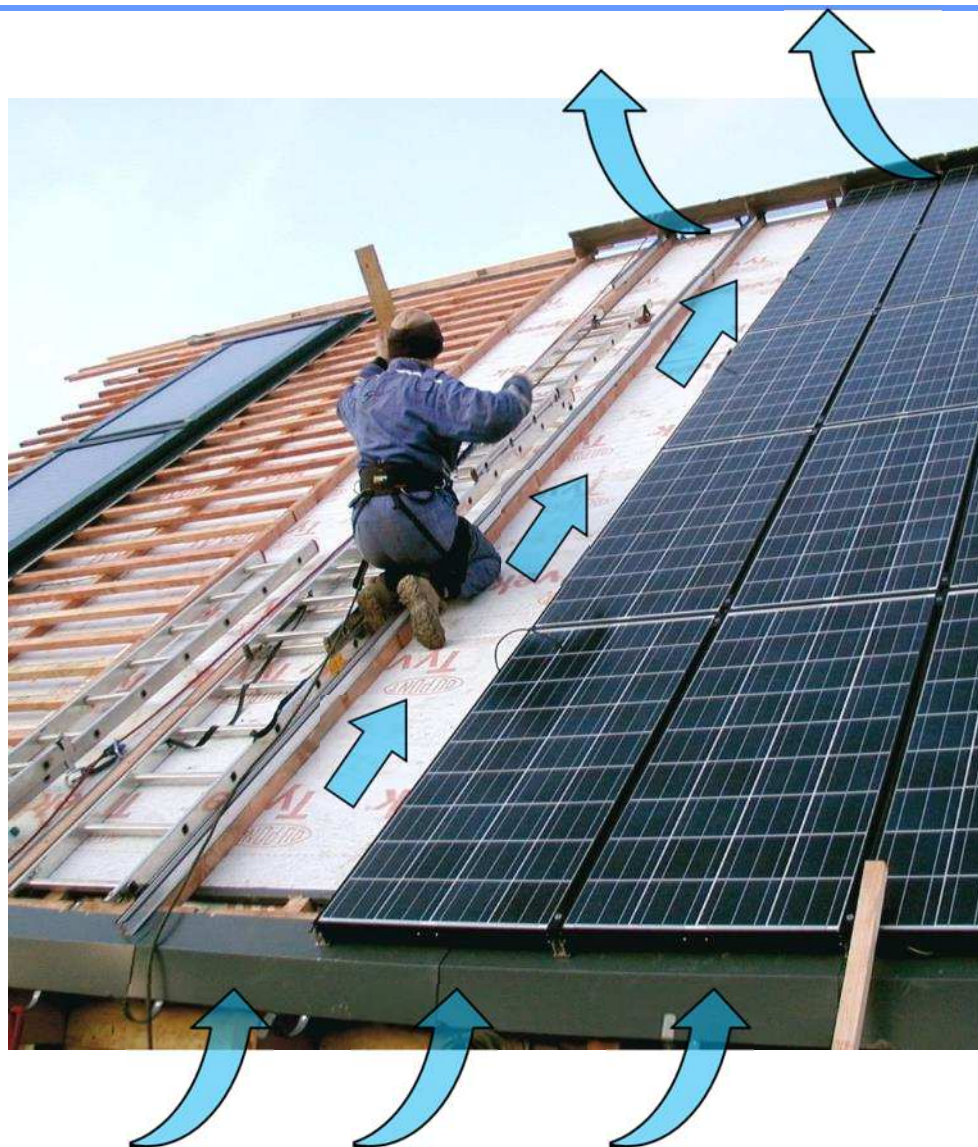
# Vliv provozních podmínek na produkci



analýza FV systémů na pasivních domech Koberovy  
**Staněk, K., FSV ČVUT (2011)**



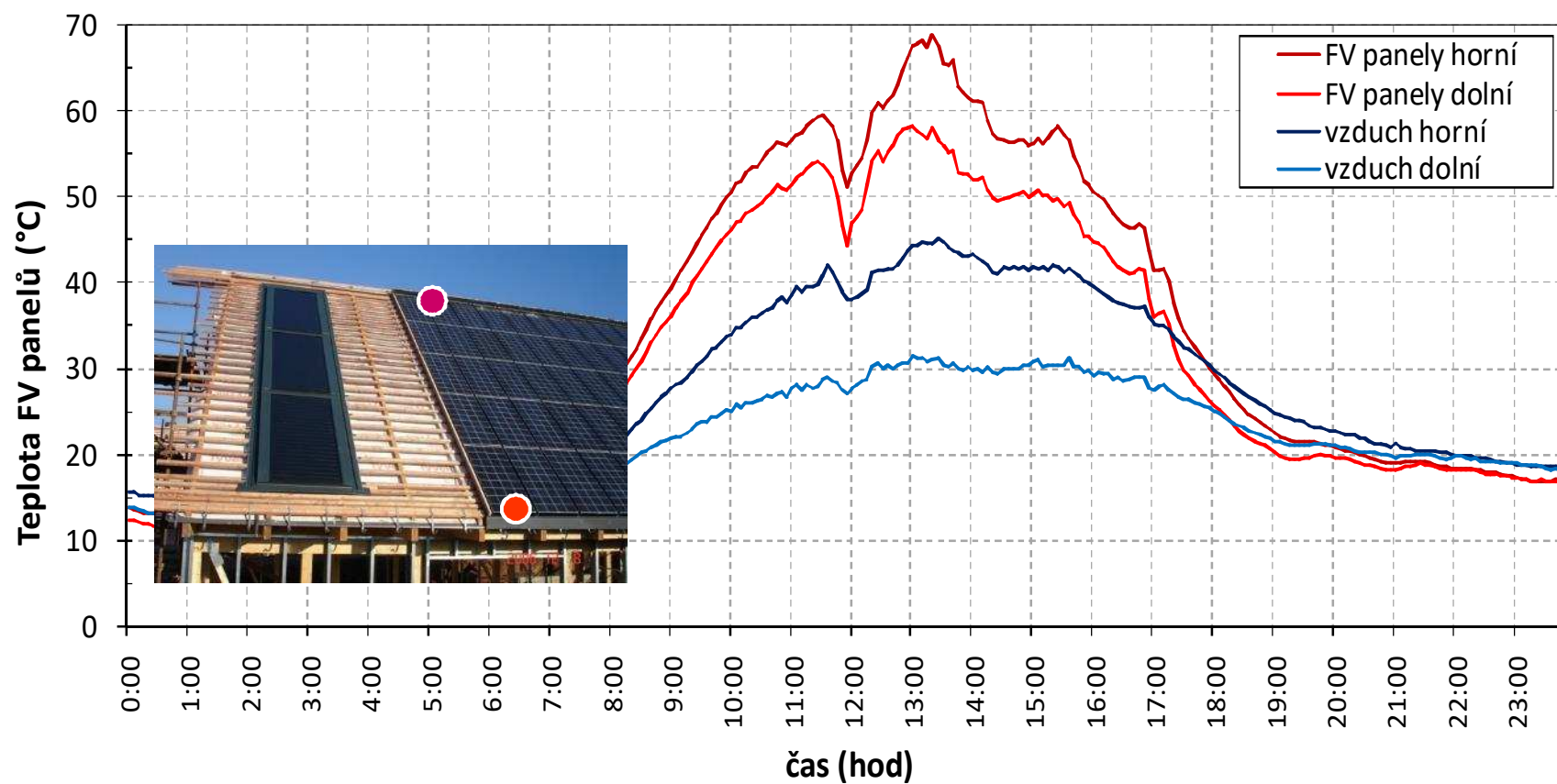
## Integrace do pláště – zajištění chlazení

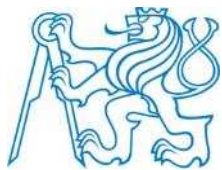




# Instalace nad střechou

- teploty až 70 °C
  - rozdíl mezi dolními a horními moduly > 10 °C





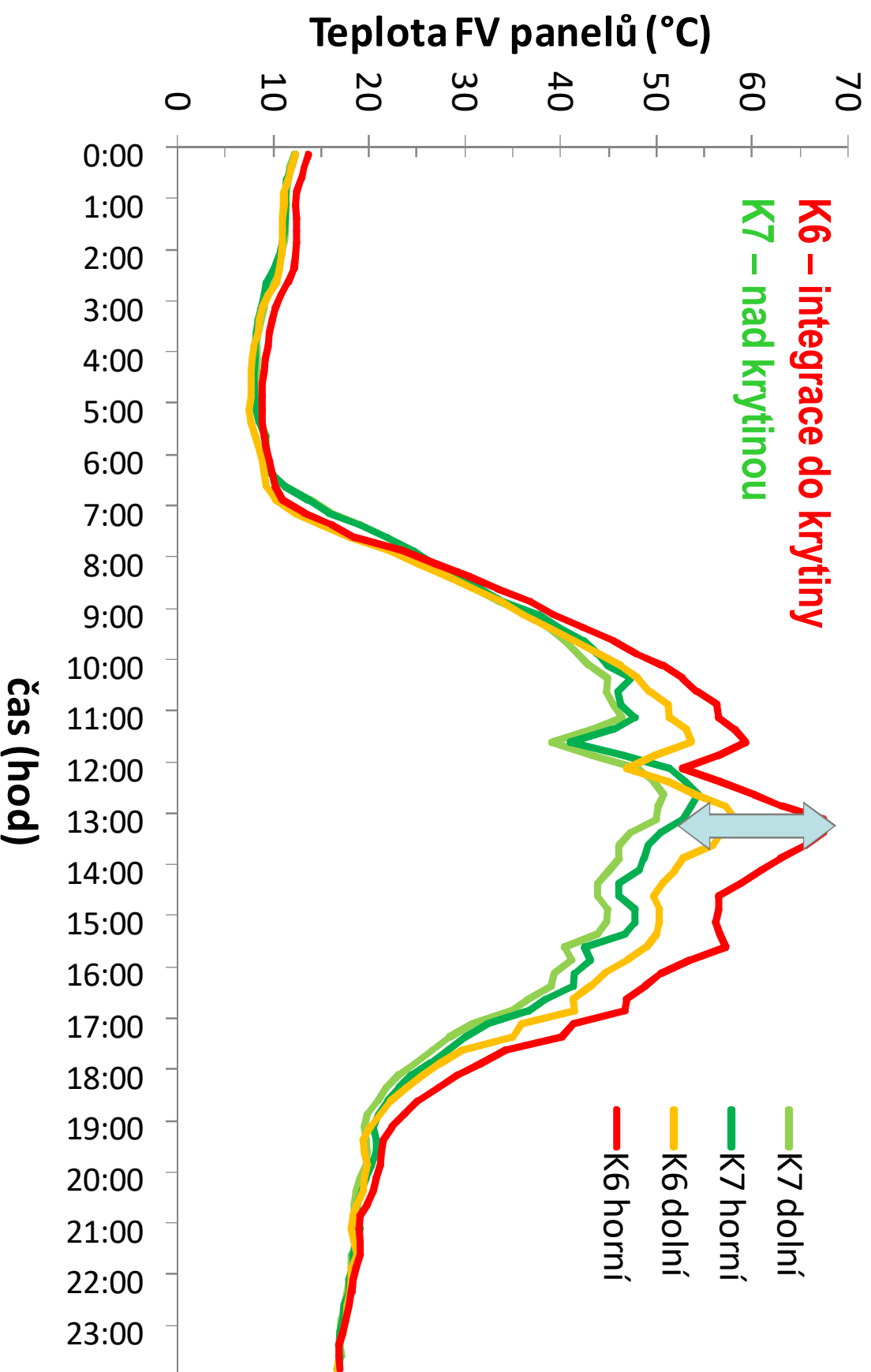
# Instalace nad střechou

---





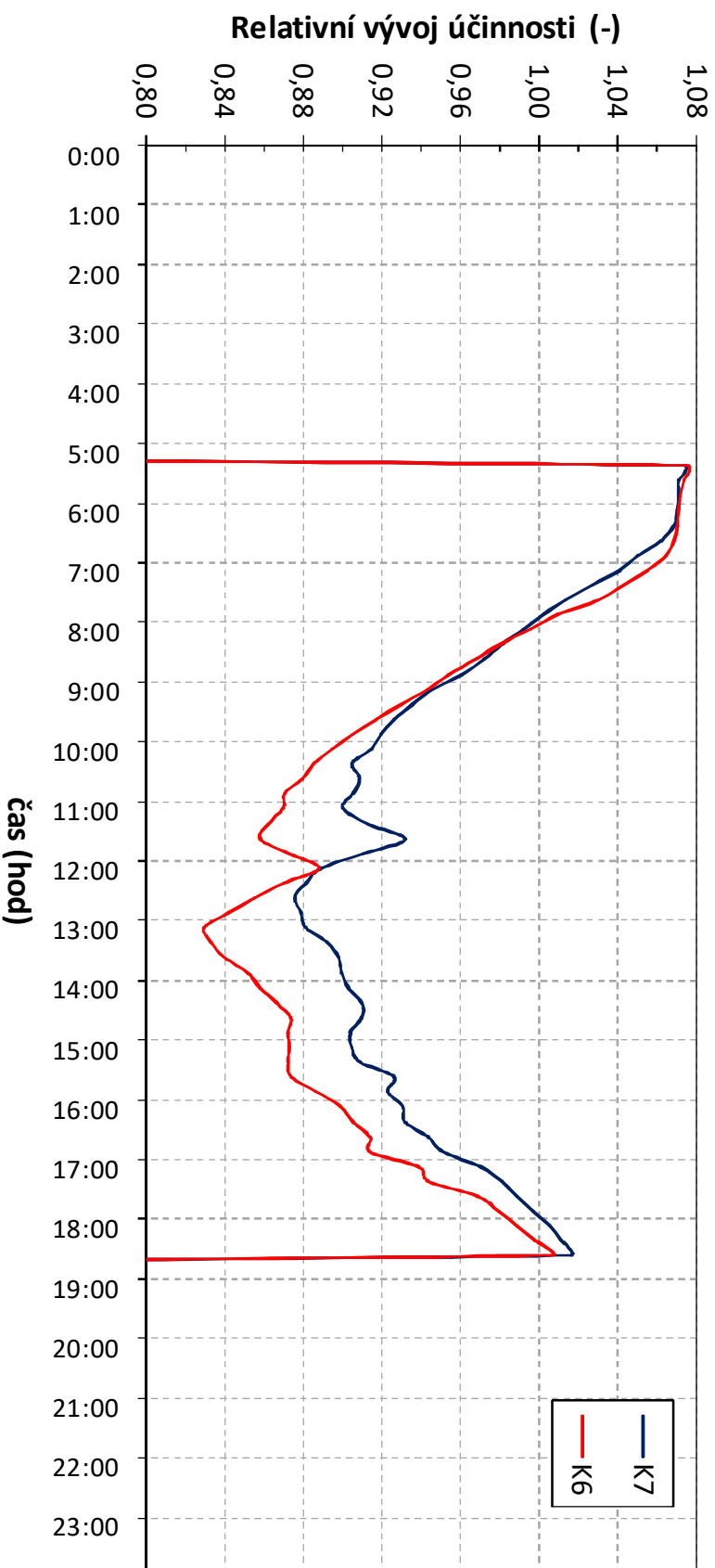
## Porovnání dosahovaných teplot



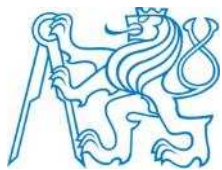


# Porovnání vlivu na účinnost

**K6 – integrace do krytiny**  
**K7 – nad krytinou**







# Experimentální FV systém na FSv ČVUT

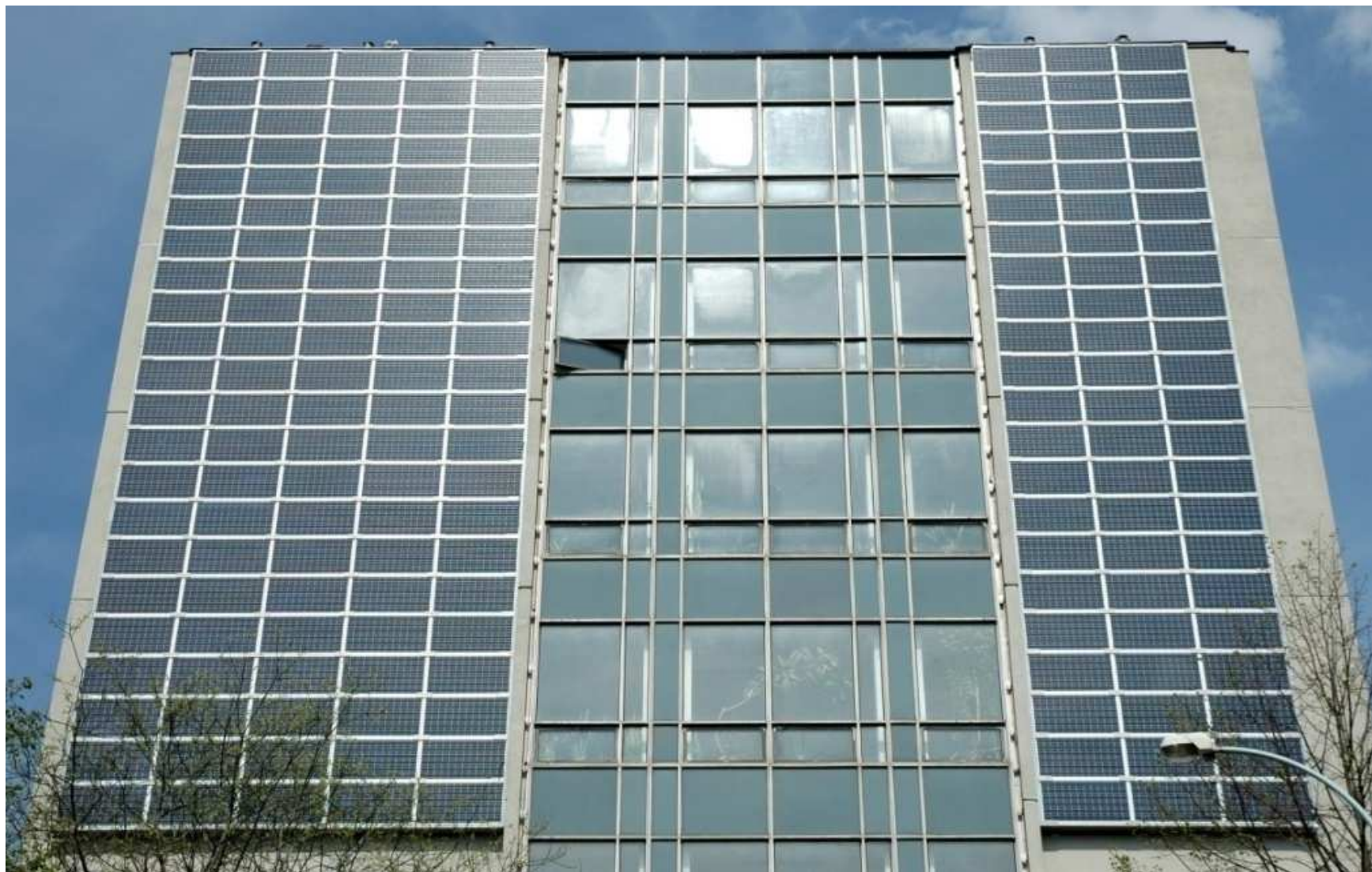


zdroj: K. Staněk



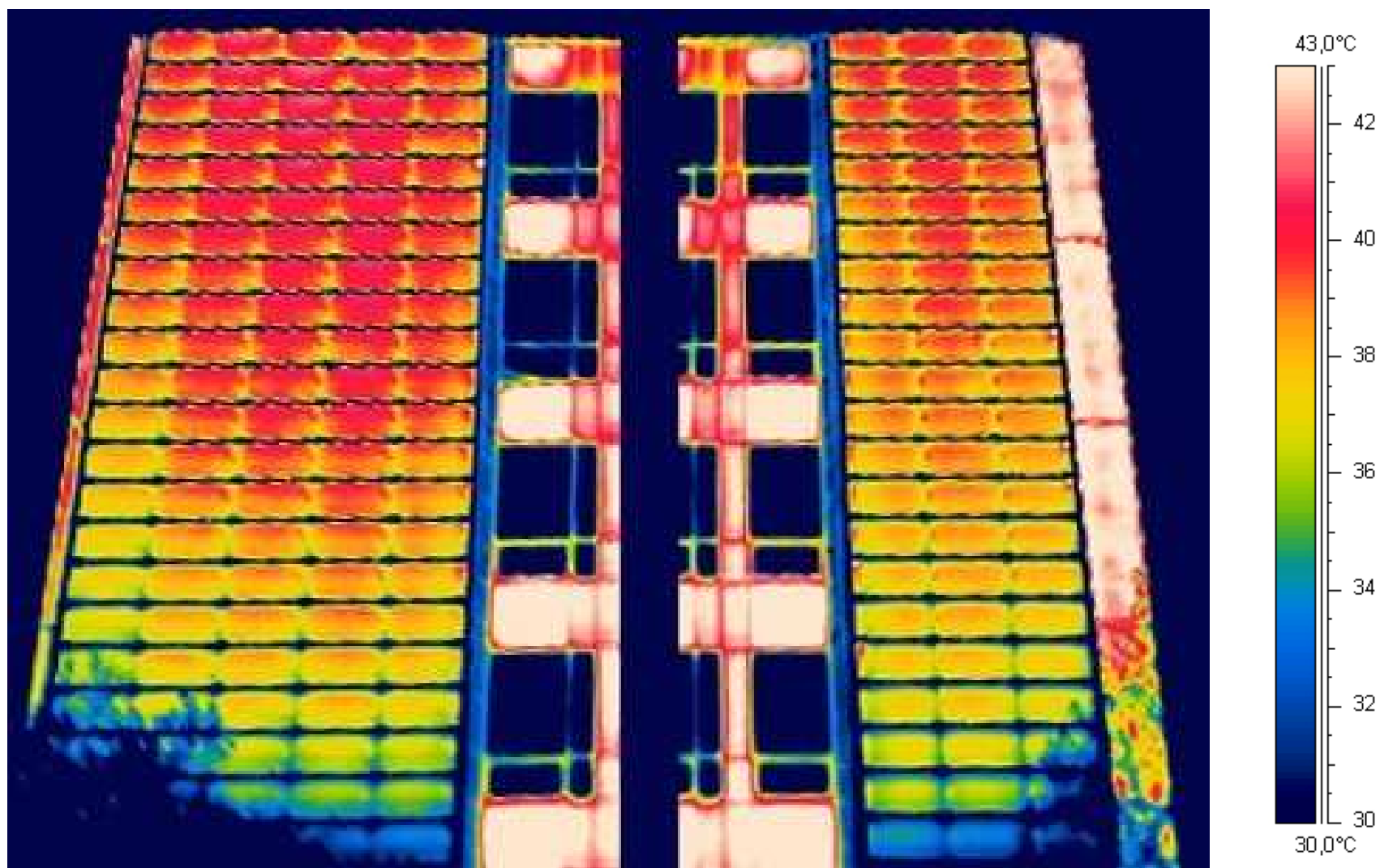


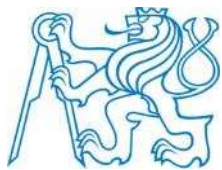
# Experimentální FV systém na FSv ČVUT





# Experimentální FV systém na FSv ČVUT





# Experimentální FV systém na FSv ČVUT

date: 13-09-2008

time: 16 h

$G_{hor}$ : 602 W/m<sup>2</sup>

$G_{in-plane}$ : 644.3 W/m<sup>2</sup>

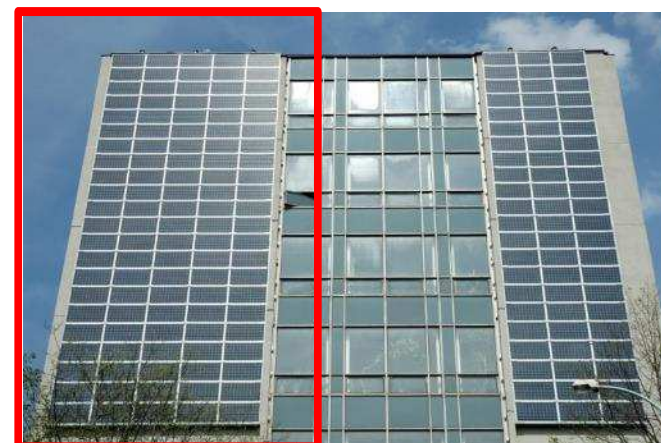
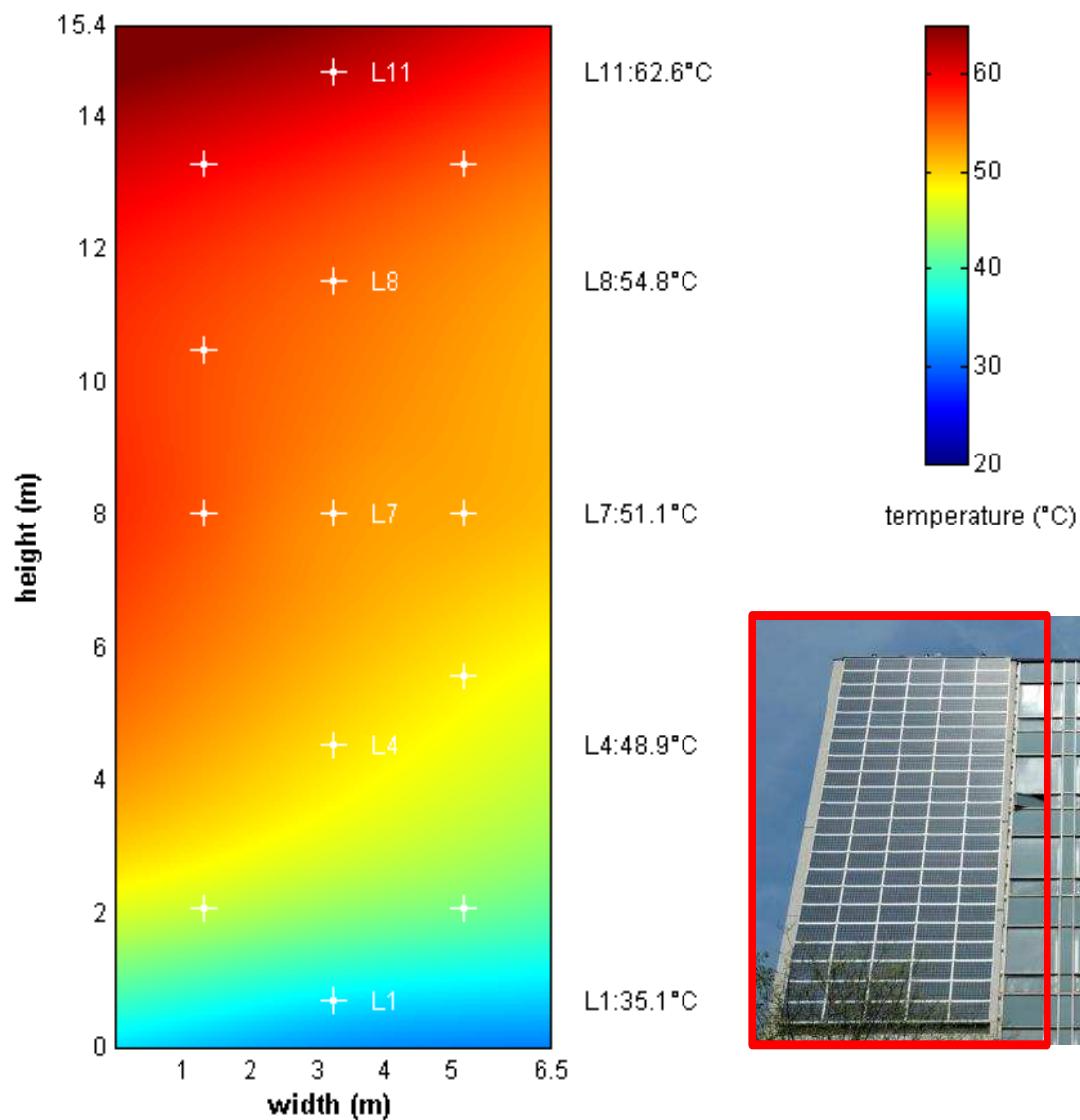
$T_{ext}$ : 16.3 °C

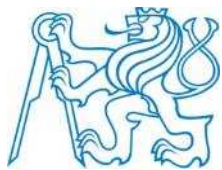
wind: 4.2m/s

$T_{PV,mean}$ : 51.4214 °C

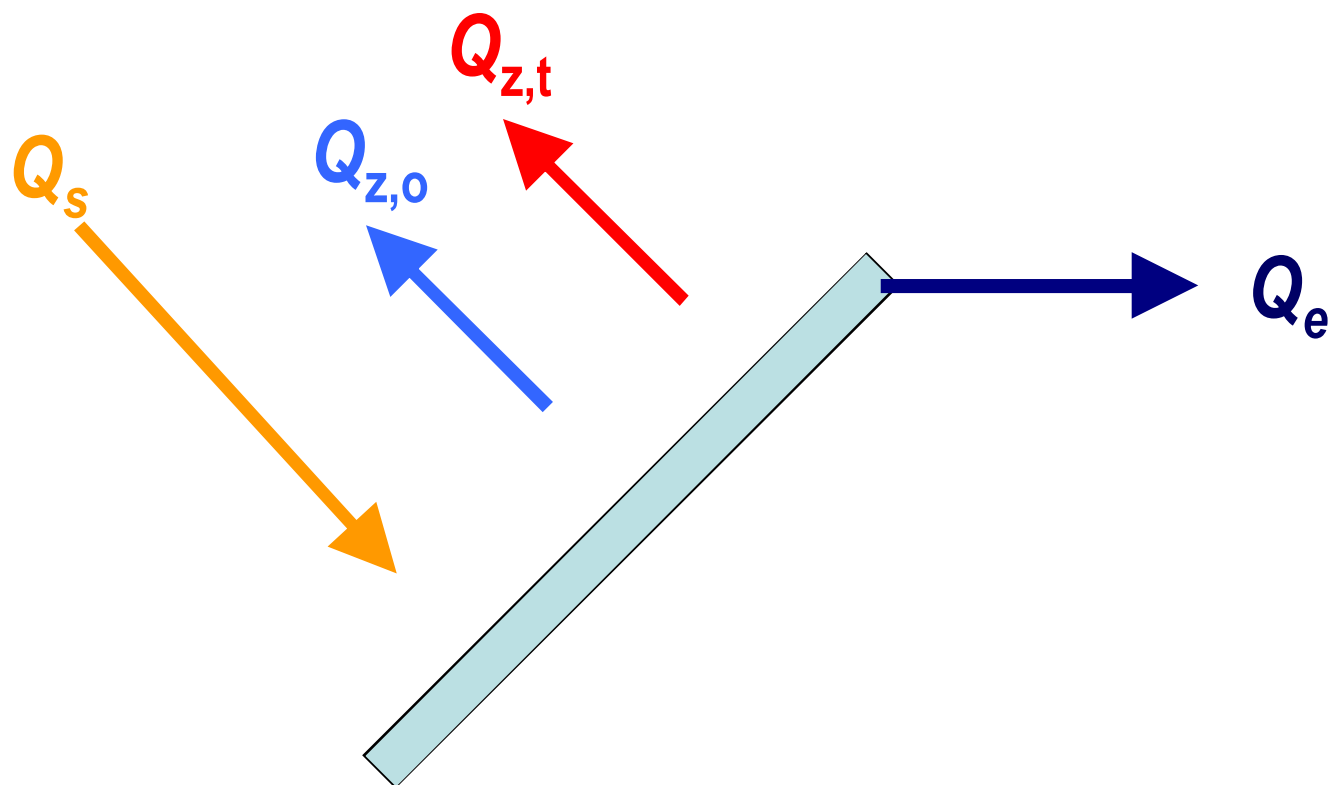
$w_{gap,mean}$ : 0.67m/s

+ measuring points

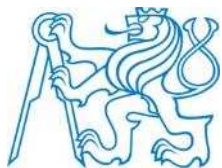




# Energetická bilance FV panelu



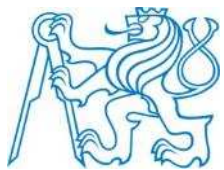
$$Q_s - Q_{z,0} - Q_{z,t} - Q_e = 0 \quad [\text{W}]$$



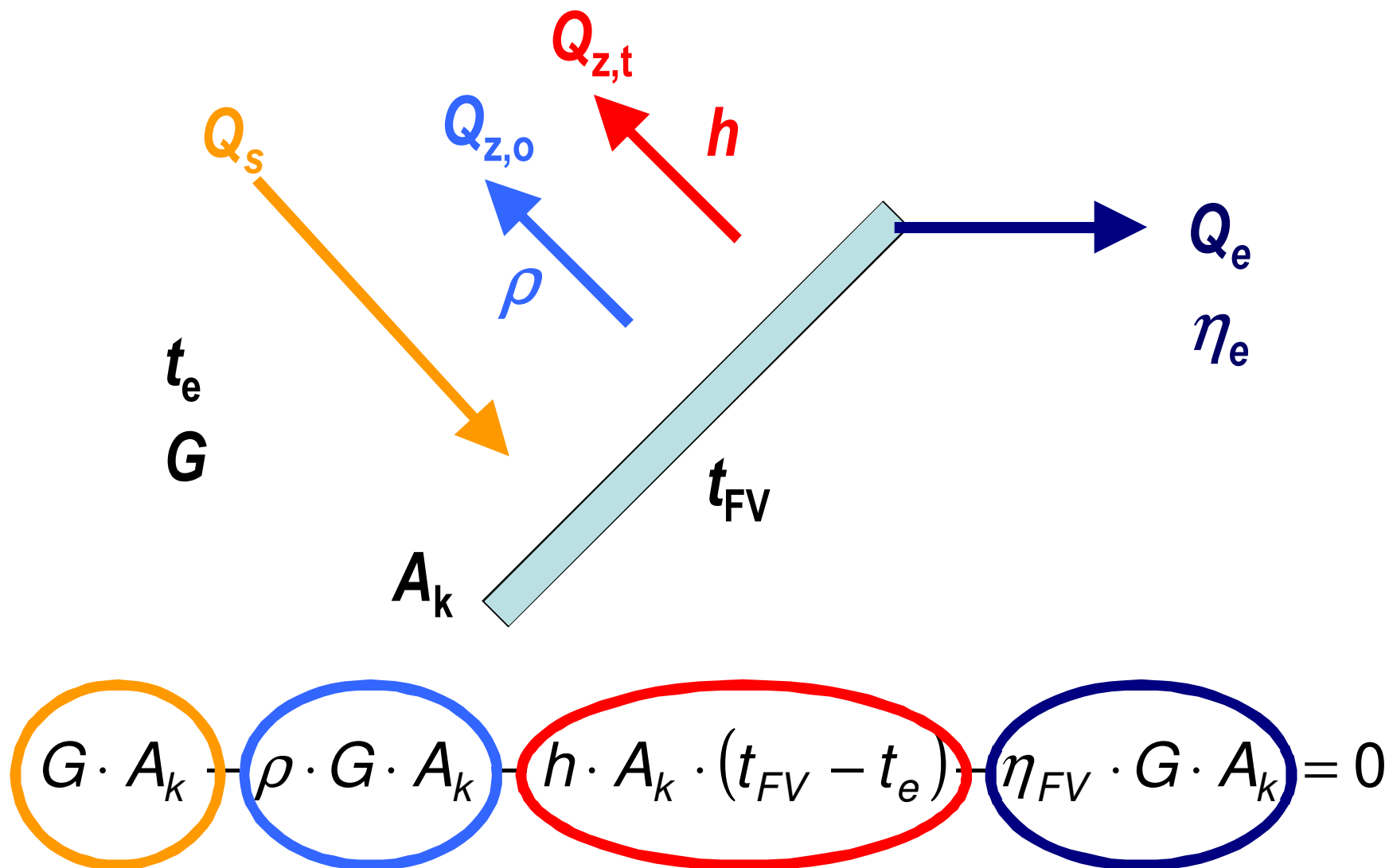
# Energetická bilance FV panelu

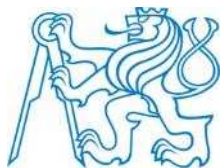
---

- **sluneční příkon  $Q_s$** 
  - závislý na úhlu dopadu, denní době
- **optické ztráty  $Q_{z,o}$** 
  - odrazivost panelu, závislost na úhlu dopadu
- **tepelné ztráty  $Q_{z,t}$** 
  - vliv venkovní teploty, teploty oblohy, proudění okolního vzduchu, způsobu instalace (volně stojící, integrace do střechy)
  - teplota FV panelu, přestup tepla
- **elektrický výkon  $Q_e$** 
  - vliv teploty panelu, vliv ozáření, druh technologie



# Energetická bilance FV panelu





# Produkce elektřiny

vliv sluneční ozáření

$$\eta = \eta_r \left( 1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_r} \right)$$

vliv teploty

$$\eta = \eta_r (1 + \beta \cdot (t_{FV} - t_r))$$

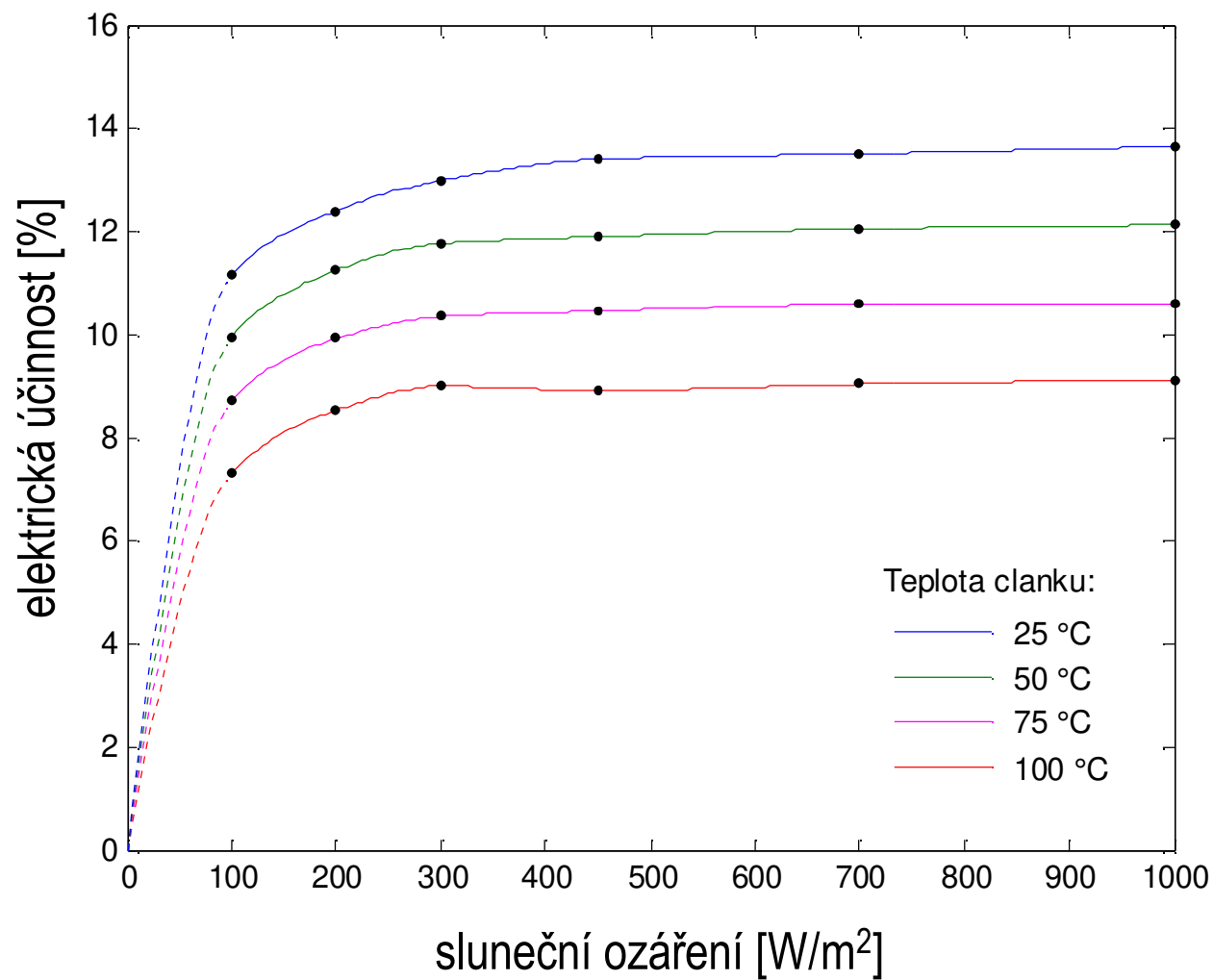
Typ článku	$\beta$ [%/K]
Krystalické Si	-0,35 až -0,52
Amorfní Si	-0,10 až -0,30
CIS	-0,33 až -0,60
CdTe	-0,18 až -0,36

$$Q_e = Q_s \cdot \eta_r \cdot (1 + \beta \cdot (t_{FV} - 25)) \left( 1 + 0,03 \cdot \ln \frac{G}{1000} \right)$$



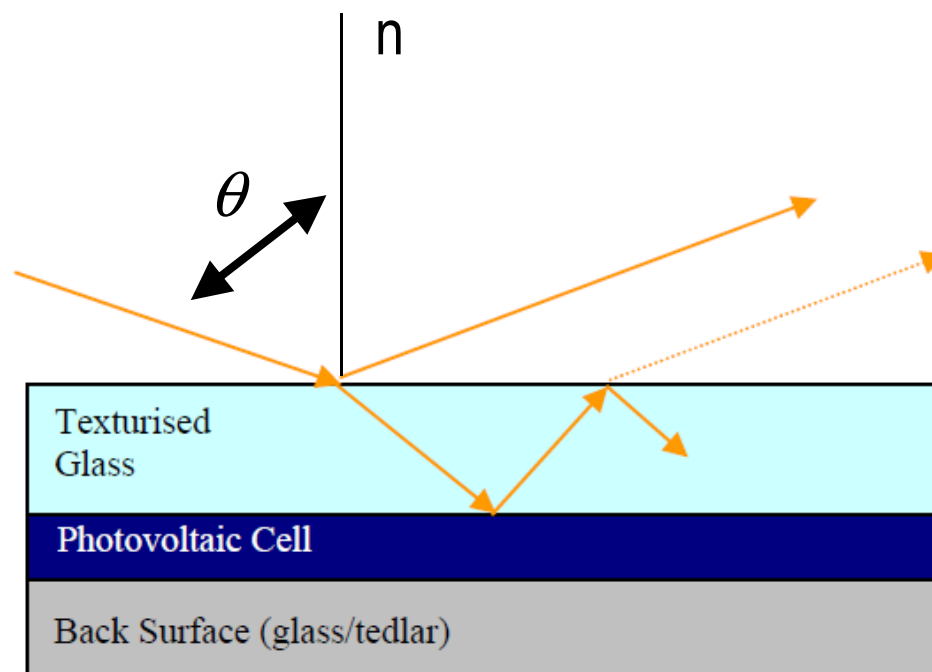


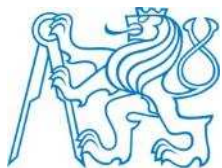
# Účinnost = $f(G, t_{FV}, \dots)$



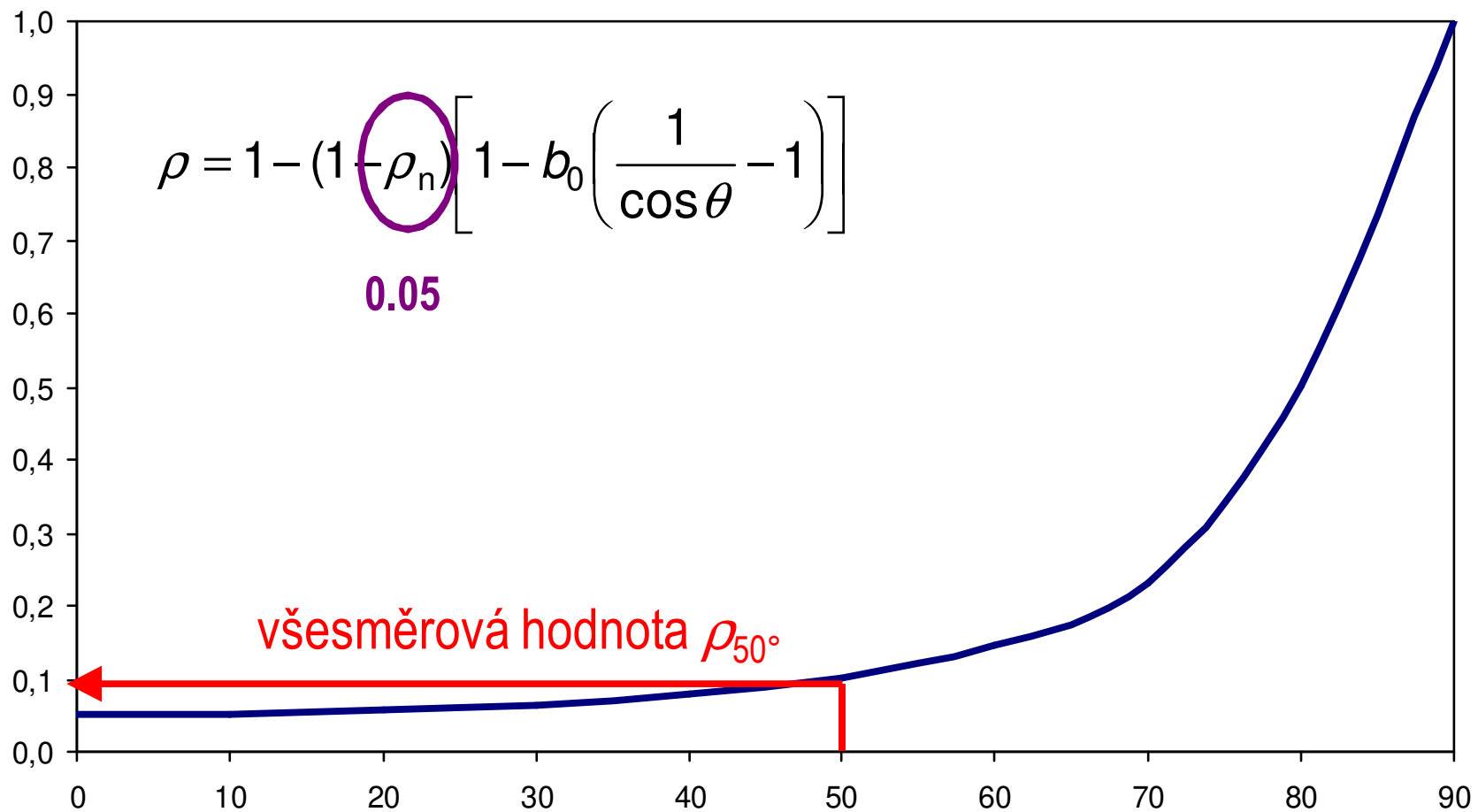


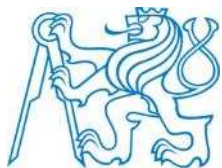
# Odrazivost panelů





# Odrazivost panelů





# Tepelné ztráty

## ■ sálání vůči obloze

$$q_{s,o} = \varepsilon_p \sigma (T_{FV}^4 - T_o^4)$$

$$h_{s,o} = \varepsilon_p \sigma \frac{T_{FV}^4 - T_o^4}{T_{FV} - T_e}$$

zataženo

$$T_o = T_e$$

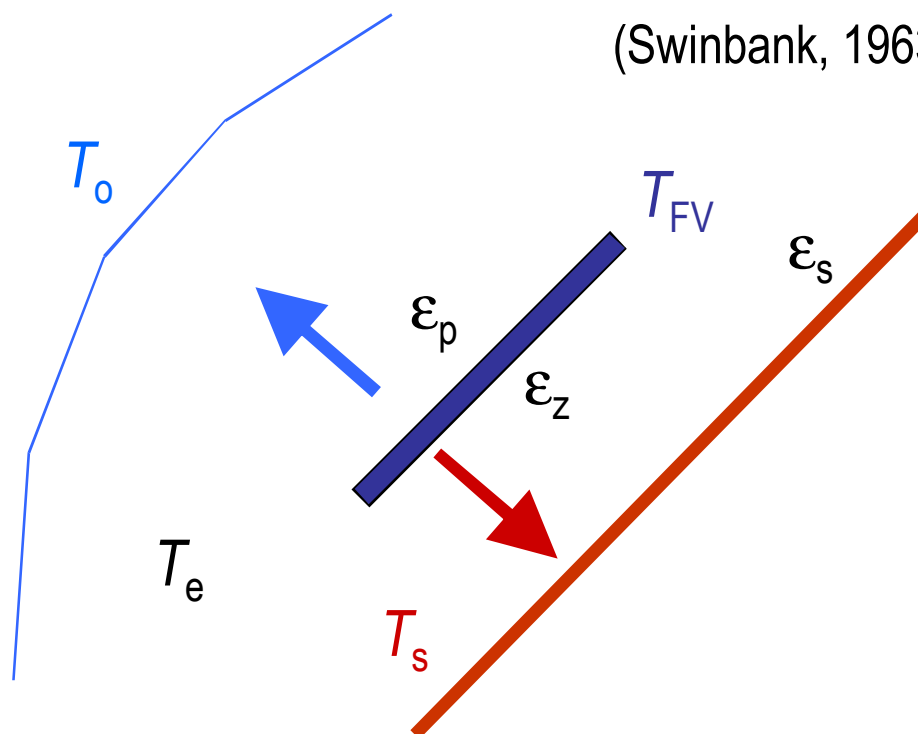
jasno

$$T_o = 0.0552 (T_e)^{1.5}$$

(Swinbank, 1963)

## ■ sálání vůči střeše

$$q_{s,st} = \sigma \frac{T_{FV}^4 - T_s^4}{\frac{1}{\varepsilon_z} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1}$$



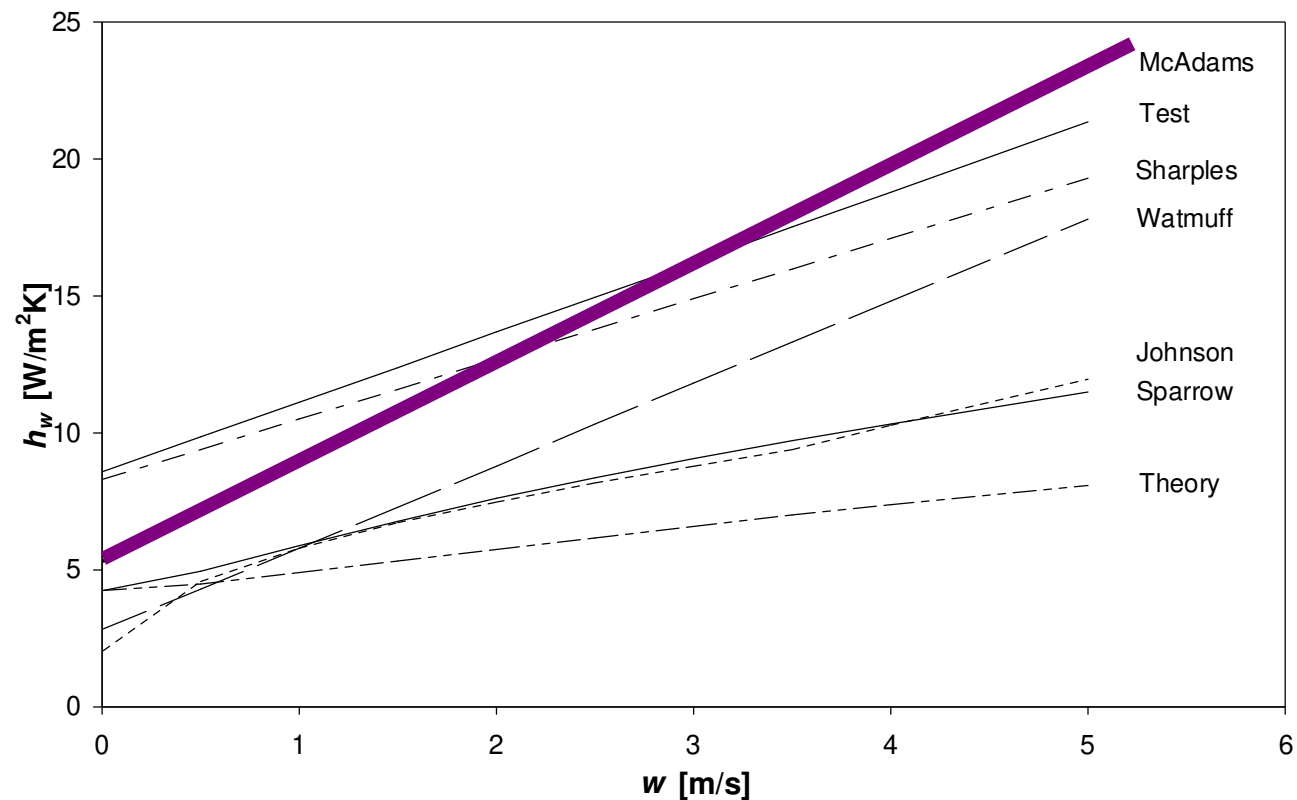


# Tepelné ztráty

- konvekce vlivem větru

kombinace volné konvekce a nucené konvekce

$$h_{k,w} = h_w = 5.7 + 3.8 w$$





# Tepelné ztráty

- celkový tepelný tok z FV panelu do okolí

$$q = \varepsilon_p \sigma (T_{\text{FV}}^4 - T_o^4) + h_w (t_{\text{FV}} - t_e) + \frac{\sigma (T_{\text{FV}}^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\varepsilon_z} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1} + h_w (t_{\text{FV}} - t_s)$$

$$Q_{z,t} = q \cdot A_k = h \cdot A_k \cdot (t_{\text{FV}} - t_e)$$

$$t_{\text{FV}} = t_e + \frac{Q_{z,t}}{h \cdot A_k} = t_e + \frac{Q_s - Q_{z,o} - Q_e}{h \cdot A_k}$$

$$Q_e = f(t_{\text{FV}})$$

$$h = f(t_{\text{FV}})$$

vede k iteračnímu řešení



# Součinitel NOCT

- **jmenovitá provozní teplota FV článku**
  - Nominal Operating Cell Temperature (IEC/TS 61836)
  - $G = 800 \text{ W/m}^2$ ,  $t_e = 20 \text{ °C}$ ,  $w = 1 \text{ m/s}$
  - naprázdno (nezapojený panel)

$$h \cdot (t_{FV} - t_e) = (1 - \rho) \cdot G \cdot (1 - \eta_{FV})$$

$\eta_{FV} = 0$

jedná se o zjednodušenou bilanci, obecně je odrazivost  $\rho$  panelu již zahrnuta v  $\eta_{FV}$



# Součinitel NOCT

---

- příklad NOCT = 45 °C

$$h = \frac{(1 - \rho) \cdot G}{(t_{FV} - t_e)} = \frac{0.95 \cdot 800}{45 - 20} = 30.4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

nejen vliv konvekce a sálání

ale i **tepelného odporu vrstev** mezi článkem a okolím

nezohledňuje způsob integrace (do pláště, nad střechou)





# Zjednodušená bilance FV systému

- **stanovení  $H_{T,den}$** 
  - tabulky, např. TNI 73 0331 (výpočet energetické náročnosti budov), TNI 73 0302 (solární tepelné soustavy)
  
- **stanovení průměrné denní teploty FV panelu**
  - součinitel přestupu tepla  $h$  z NOCT

$$t_{FV} = t_{e,s} + \frac{(1 - \cancel{\rho} - \eta_{FV}) \cdot G_{T,m}}{h}$$

zjednodušený předpoklad:  
denní průměrná rychlost větru  
1 m/s

**ztráty odrazem již zahrnuty v  $\eta_{FV}$**



# Zjednodušená bilance FV systému

---

- **stanovení denní účinnosti FV panelu  $\eta_{FV}$** 
  - ze jmenovité hodnoty  $\eta_r$
  - vliv teploty panelu
  - vliv slunečního ozáření
  - bez vlivu úhlu dopadu

$$\eta_{FV} = \eta_r \cdot (1 + \beta \cdot (t_{FV} - 25)) \left( 1 + 0,03 \cdot \ln \frac{G}{1000} \right)$$



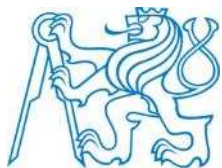
# Zjednodušená bilance FV systému

---

- stanovení denní produkce FV systému  $Q_{e,sys}$ 
  - vliv úhlu dopadu
  - ztráty na DC vedení (2 %)
  - ztráty na měniči a regulátoru (5 %)      srážka  $p = 8 \%$
  - ztráty na AC vedení (1 %)

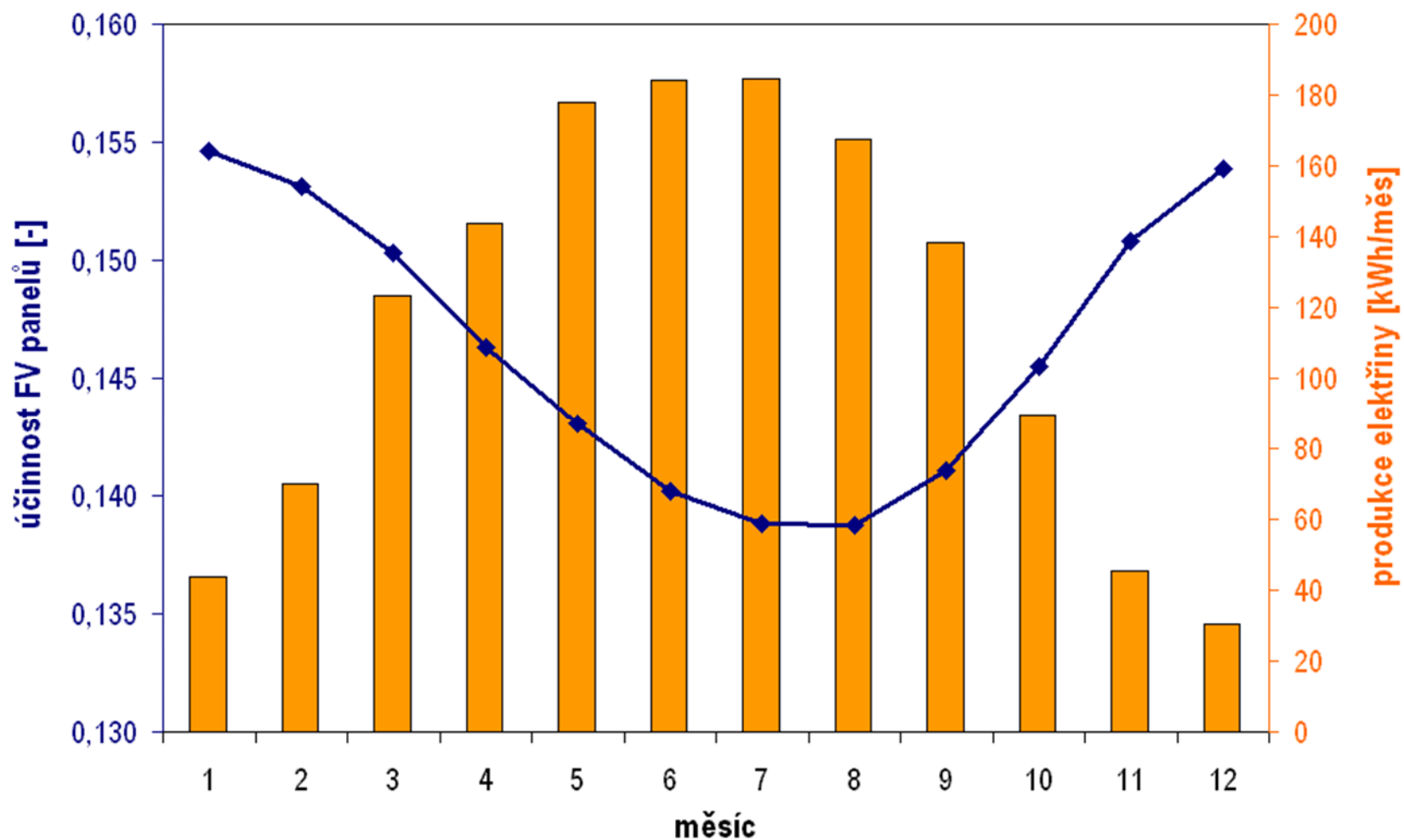
$$Q_{e,sys} = 0,9 \cdot \eta_{FV} \cdot H_{T,den} \cdot A_{FV} \cdot (1 - p)$$

$$\eta_{e,sys} = \frac{Q_{e,sys,rok}}{H_{T,rok} \cdot A_{FV}}$$



# Průběh zisků a účinnosti

10 m<sup>2</sup> FV systém,  $\eta_{\text{STC}} = 15\%$





# ČSN EN 15 316-4-6

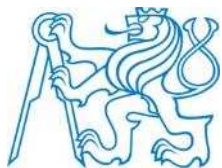
---

- výpočet roční produkce FV systému pro hodnocení ENB
- špičkový výkon  $P_{pk}$  [kW]

$$P_{pk} = K_{pk} \cdot A_{FV}$$

$K_{pk}$  součinitel špičkového výkonu, v kW/m<sup>2</sup>  
při 1000 W/m<sup>2</sup>, 25 °C

$A_{FV}$  plocha v m<sup>2</sup>



## ČSN EN 15 316-4-6

Druh fotovoltaického modulu	$K_{pk}$ [kW/m <sup>2</sup> ]
Monokrystalický křemík <sup>a</sup>	0,12 až 0,18
Multikrystalický křemík <sup>a</sup>	0,10 až 0,16
Tenkvrstvý amorfní křemík	0,04 až 0,08
Ostatní tenkvrstvé	0,035
Tenkvrstvý CIGS (Měď-Indium-Galium-Diselenid)	0,105
Tenkvrstvý Cadmium-Telurid	0,095
<sup>a</sup> S minimálním faktorem plnění 80 %.	

**součinitel špičkového výkonu = jmenovitá účinnost panelu**



## ČSN EN 15 316-4-6

---

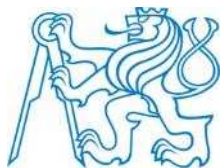
- roční produkce  $Q_e$

$$Q_e = \frac{H_{T,rok} \cdot P_{pk} \cdot f_{perf}}{G_r} = H_{T,rok} \cdot \eta_{FV} \cdot A_{FV} \cdot f_{perf}$$

$H_{T,rok}$  dopadající sluneční energie v kWh/m<sup>2</sup>.rok

$G_r$  referenční sluneční ozáření 1 kW/m<sup>2</sup>

$f_{perf}$  činitel výkonnosti systému [-]



# Činitel výkonnosti FV systému

Druh integrace fotovoltaického modulu do budovy	$f_{\text{perf}}$ [-]
Nevětrané moduly	0,70
Mírně větrané moduly	0,75
Silně větrané moduly nebo nuceně větrané moduly	0,80

**zahrnuje**

vliv teploty

vliv záření

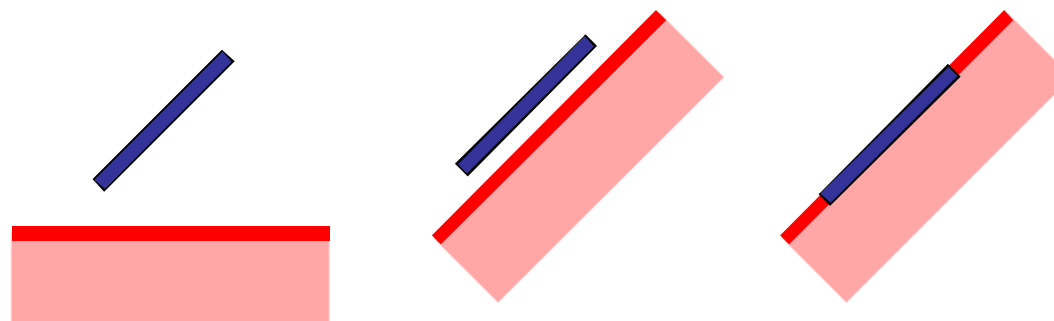
vliv úhlu dopadu

systemové ztráty

0,80

0,75

0,70

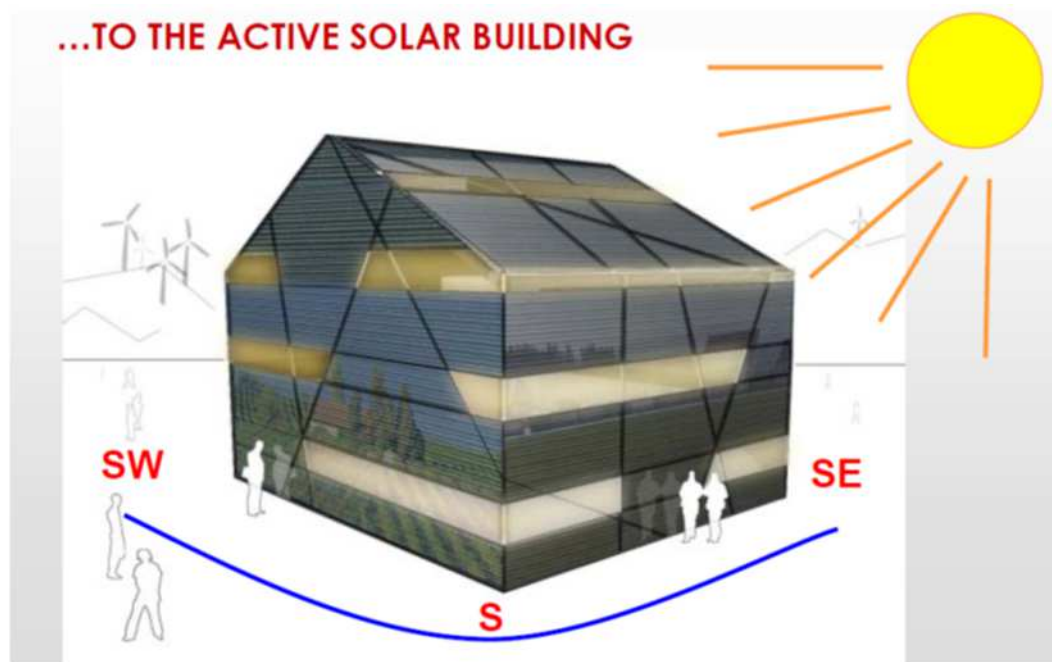






# Integrace FV do pláště budovy

- **FV jako součást budov**
  - architektonické začlenění – estetický prvek
  - konstrukční začlenění – náhrada konstrukce

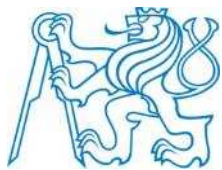




## BIPV – stínící zařízení



zdroj: eco green



# BIPV – přirozené osvětlení

- transparentní moduly
- semitransparentní moduly



zdroj: BritSolar, Onyx



dvojitá okna s FV, argonová výplň

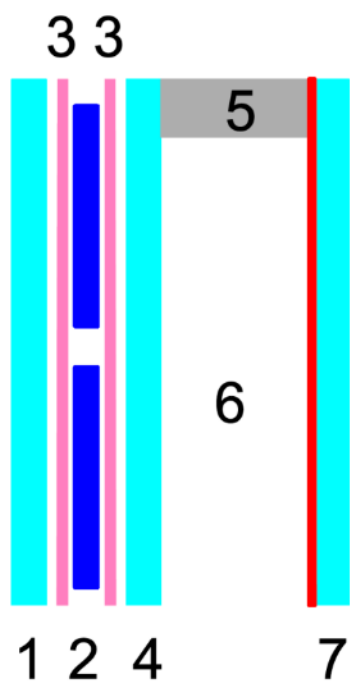


# BIPV – přirozené osvětlení

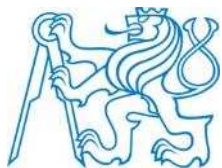




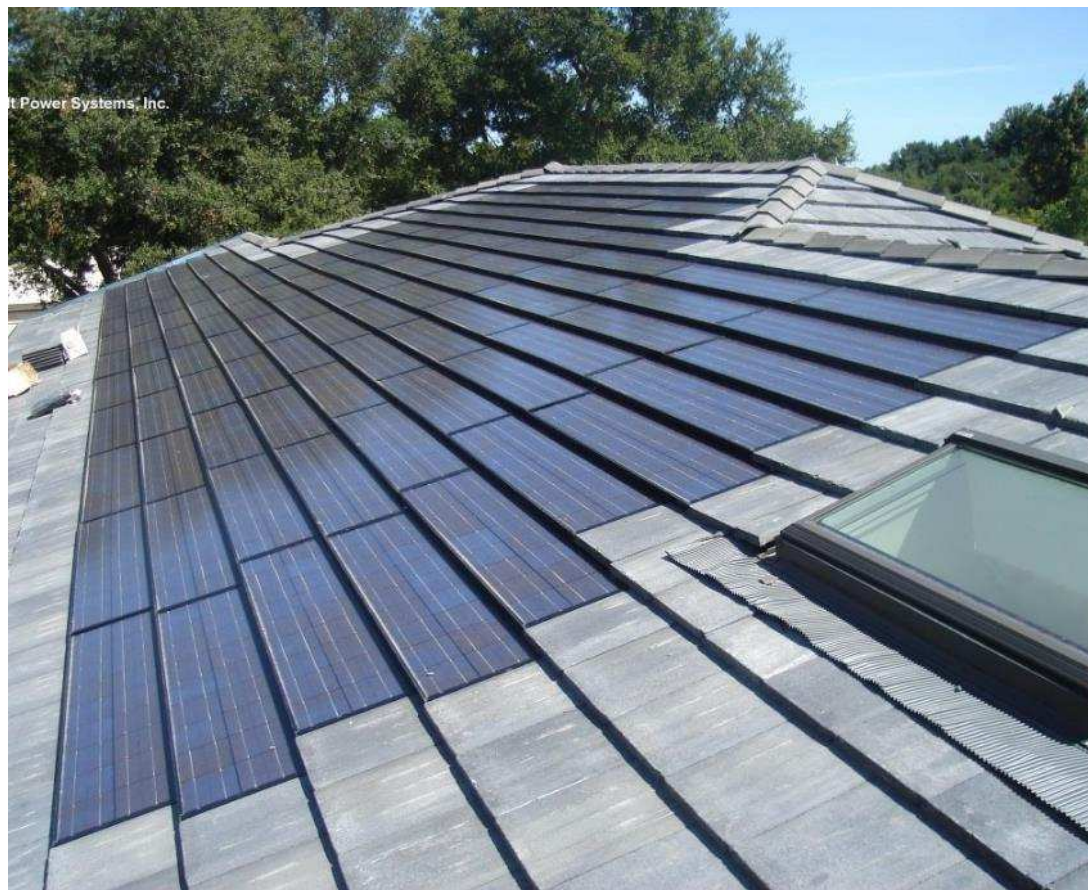
## BIPV – přirozené osvětlení



- 1 - vnější solární sklo
- 2 - FV článek
- 3 - laminační vrstva (PVB)
- 4 - vnitřní solární sklo
- 5 - distanční rámeček
- 6 - vzduchová (argonová) výplň
- 7 - zadní sklo s low-e povlakem



# BIPV v konstrukční integraci



zdroj: 3S Swiss Solar Systems



# BIPV v konstrukční integraci



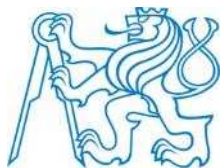
Nová scéna 2009, 25 kW<sub>p</sub>

**Národní divadlo**  
amorfnní moduly  
22 kW<sub>p</sub> / 554 m<sup>2</sup>  
19 MWh/rok

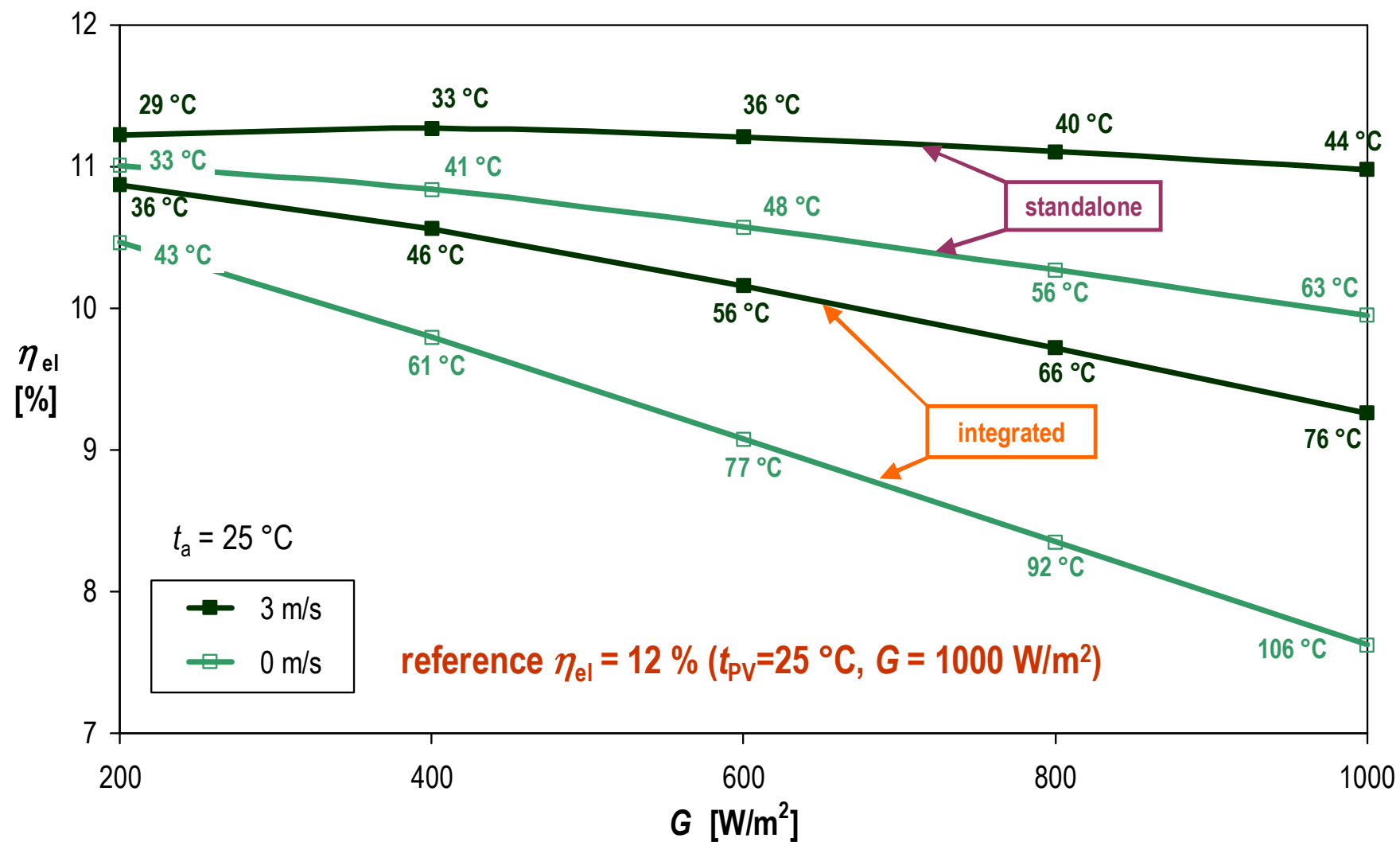
provozní budova 2008, 22 kW<sub>p</sub>



zdroj: FDT, ENESA



# Integrace FV do pláště budovy

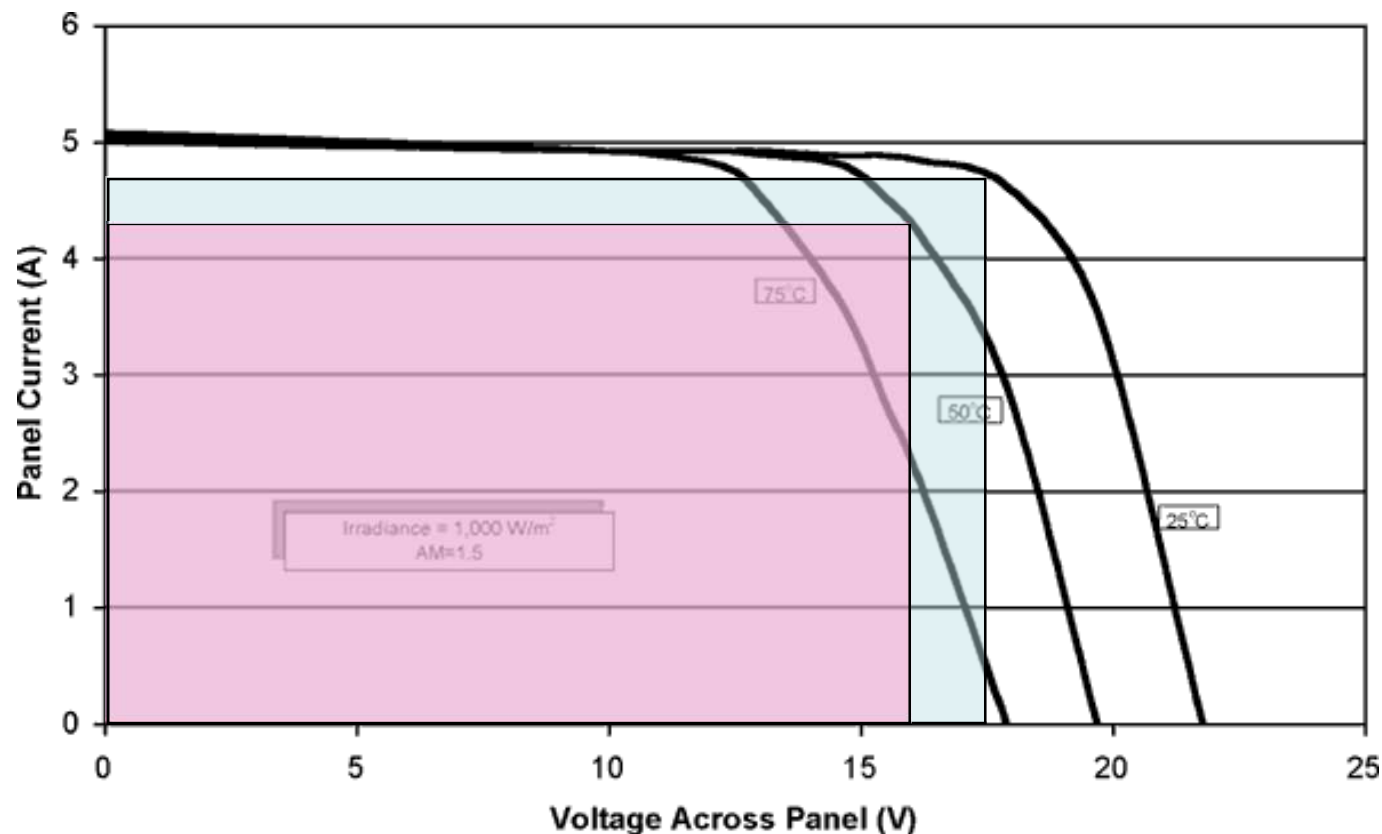






# Integrace FV do pláště budovy

- vliv zvýšené provozní teploty
  - na výkon FV článku - snižená produkce elektrické energie

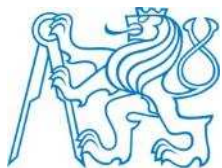




# Integrace FV do pláště budovy

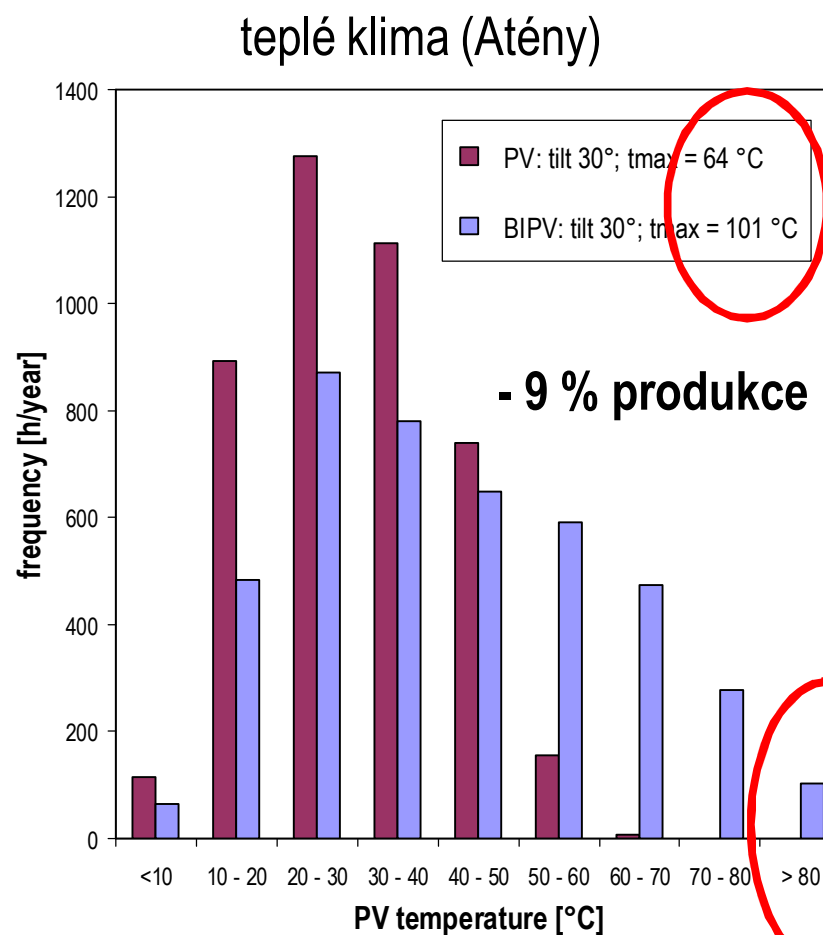
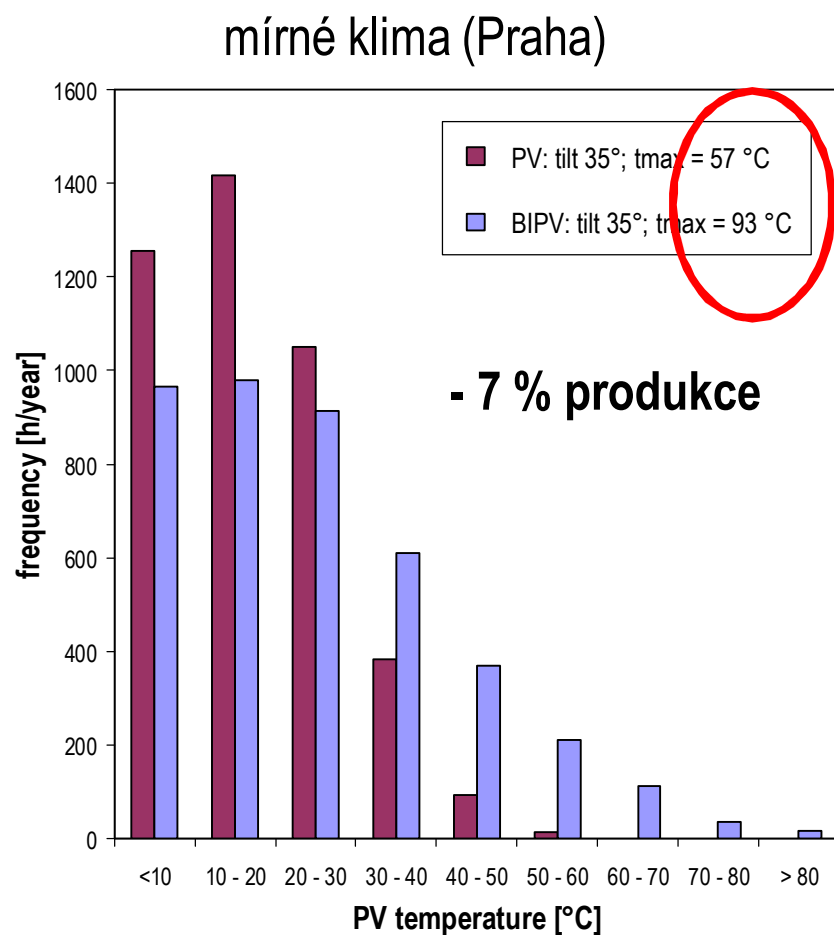
- **vliv extrémních provozních teplot**
  - **na životnost FV panelu** - riziko vysokých teplot **nad 80 °C** pro EVA laminaci, delaminace, tvorba acetátů, naleptání kontaktů

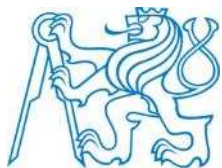




# Četnost teplot FV článku u BIPV

- nechlazené FV panely v těsné / konstrukční integraci





# Jak ochránit FV panely?

- **aktivní chlazení FV článků integrovaných do pláště budovy**
  - zvýšení produkce el. energie, navíc produkce tepla
  - ochrana proti degradaci modulů

