



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

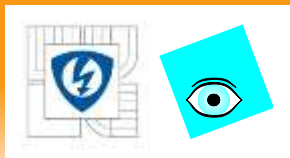
FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Prof. V. Benda, ČVUT Praha, Fakulta elektrotechnická

Ing. Petr Wolf, Sunnywatt CZ, s.r.o.

Ing. Kamil Staněk, Fakulta stavební ČVUT v Praze

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



Obsah semináře

- **Fotovoltaické články a moduly** (V.Benda)
 - solární energie;
 - principy konstrukce fotovoltaických článků;
 - technologie FV článků a modulů;
 - současné trendy v oblasti fotovoltaických článků a modulů
- **Komponenty a funkce FV systémů** (P.Wolf)
 - jednotlivé prvky FV systému;
 - monitoring solárních elektráren;
 - příklady FV systémů;
- **Integrace FV systémů do budov** (K. Staněk)
 - architektura, stavební a konstrukční řešení;
 - stavebně integrované FV systémy v reálném provozu;
 - fotovoltaika pro energeticky nulové budovy;



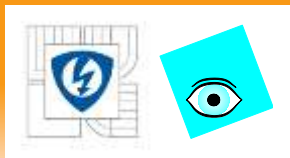
Prof. V. Benda, ČVUT Praha, Fakulta elektrotechnická

FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY A MODULY

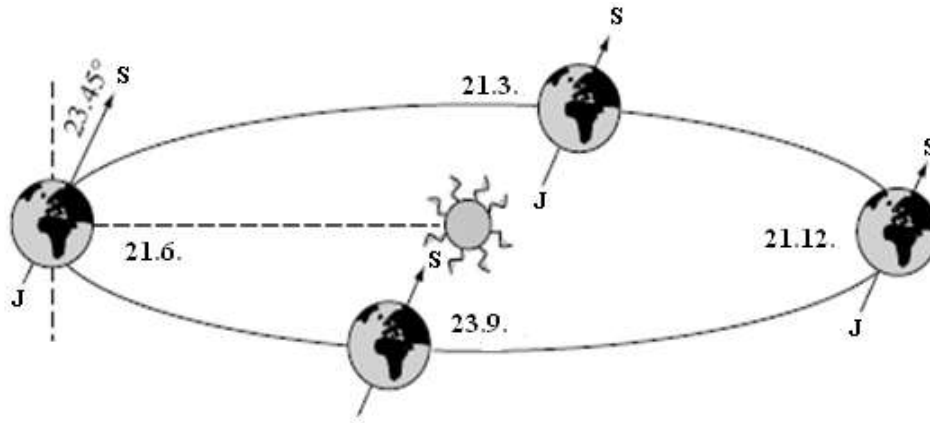
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Energie slunečního záření dopadajícího na povrch Země

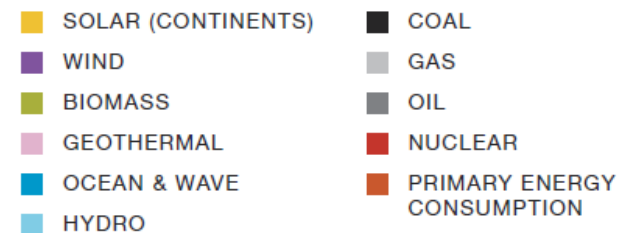
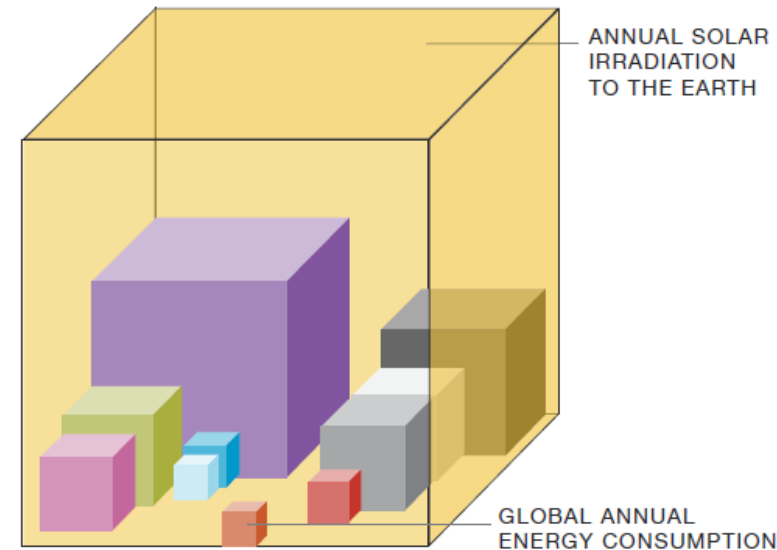


$$r = r_0 \left[1 + 0.017 \sin \left(\frac{360(d_n - 93)}{365} \right) \right]$$

$$r_0 = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$$

. Na povrch Země dopadá záření o výkonu přibližně 180 000 TW

Střední intenzita slunečního záření dopadajícího na povrch atmosféry je **1367 W/m²**

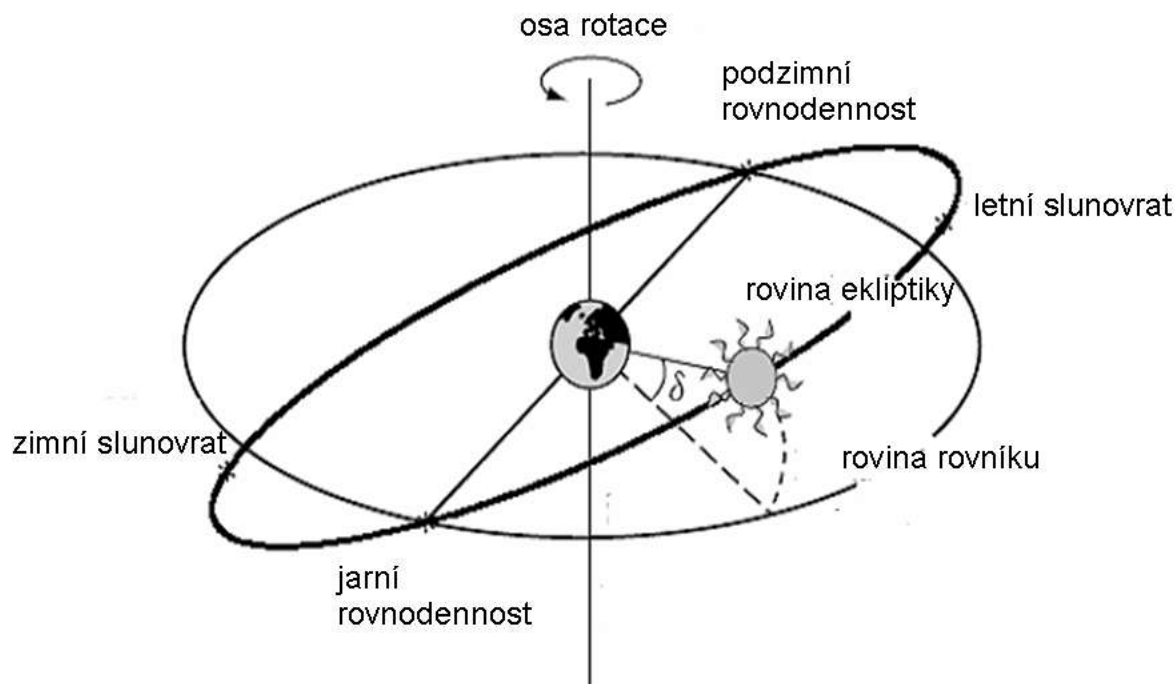


15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

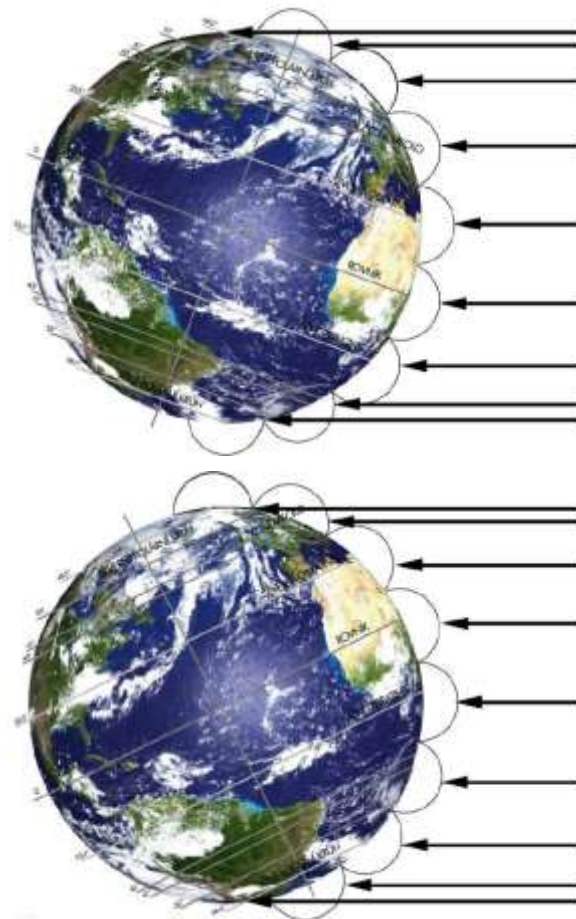


Pohyb slunce po obloze



solární deklinace δ

$$\delta = 23.5^\circ \times \sin\left(2\pi \frac{n-80}{365}\right)$$



15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

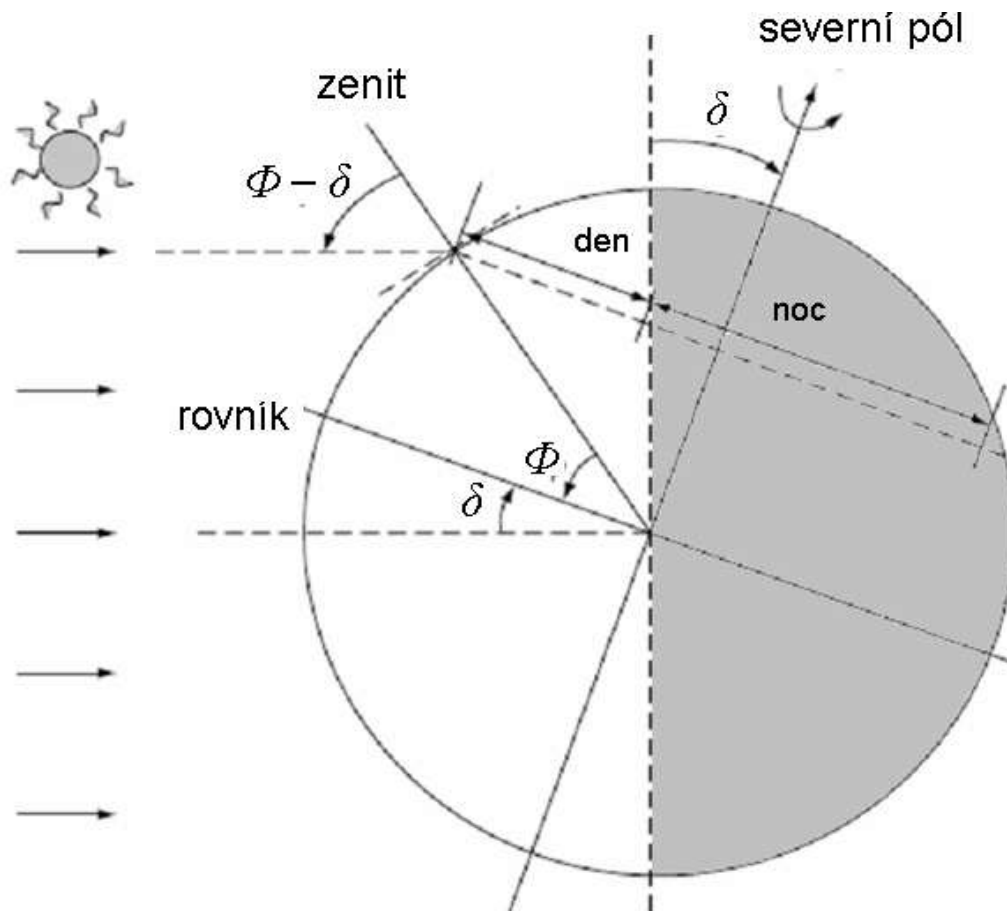


Pohyb slunce po obloze

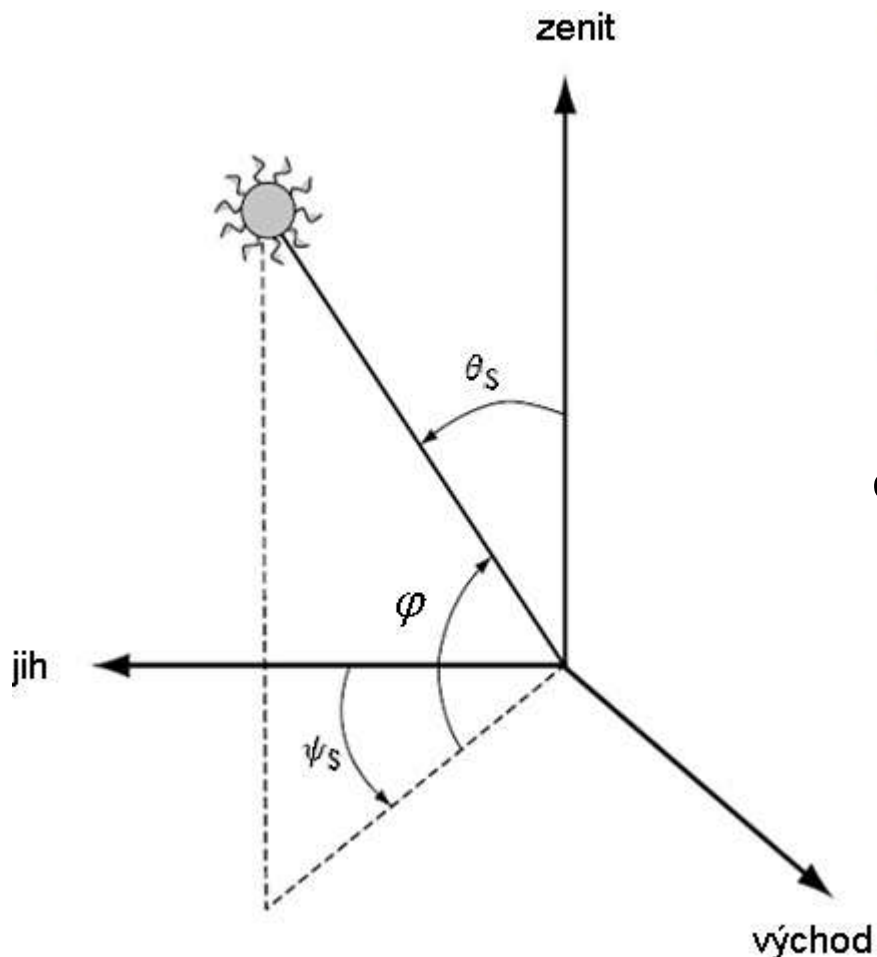


Maximální úhel paprsků
dopadajících na horizontální
rovinu v zeměpisné šířce ϕ
v n -tém dni v roce

$$\begin{aligned}\varphi_m &= 90^\circ - \phi + \delta = \\ &= 90^\circ - \phi + 23.5^\circ \times \sin\left(2\pi \frac{n-80}{365}\right)\end{aligned}$$



Pohyb slunce po obloze



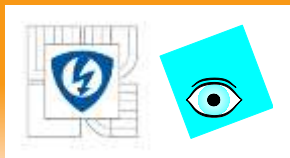
- úhel mezi Sluncem a zenitem, θ_s ;
- sluneční azimut, ψ_s ;
- úhel mezi Sluncem a horizontem, φ ;
- zeměpisná šířka, Φ ;

$$\cos \theta_s = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega = \sin \varphi$$

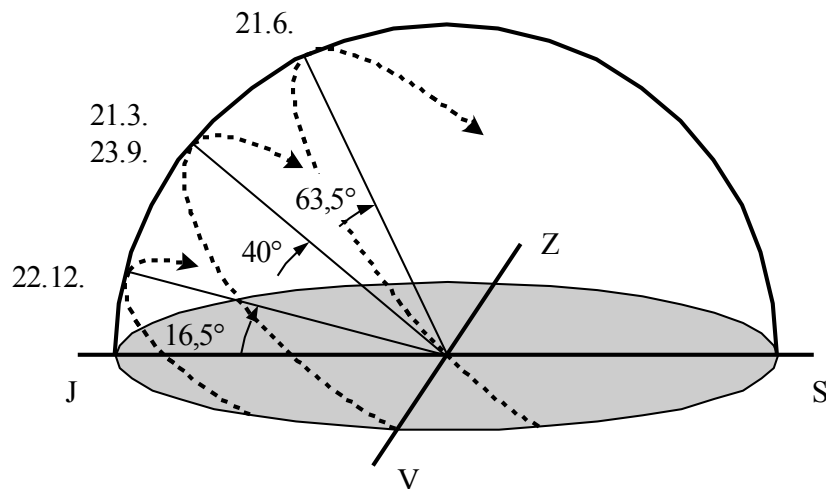
$$\cos \psi_s = \frac{\sin \varphi \sin \phi - \sin \delta}{\cos \varphi \cos \phi} [\text{sign}\{\phi\}]$$

východ slunce, ω_s ,

$$\omega_s = -\arccos(-\tan \delta \tan \phi)$$



Pohyb slunce po obloze



$\phi \approx 50^\circ$ s.š.

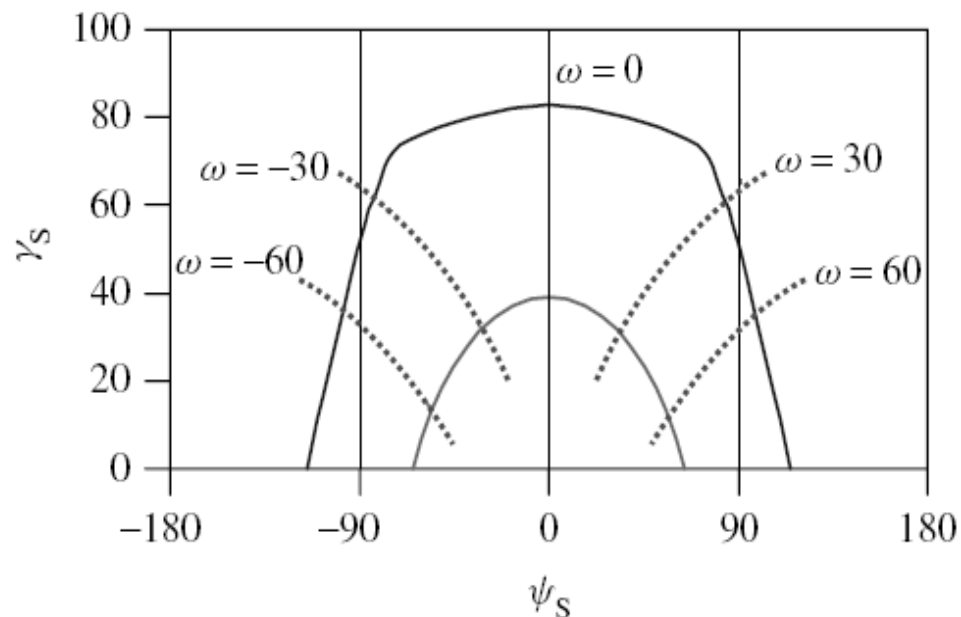
letní slunovrat $\phi_m = 63,5^\circ$,

v době rovnodennosti $\phi_m = 40^\circ$

zimní slunovrat $\phi_m = 16,5^\circ$

úhel ϕ jako funkce slunečního azimutu ψ_s

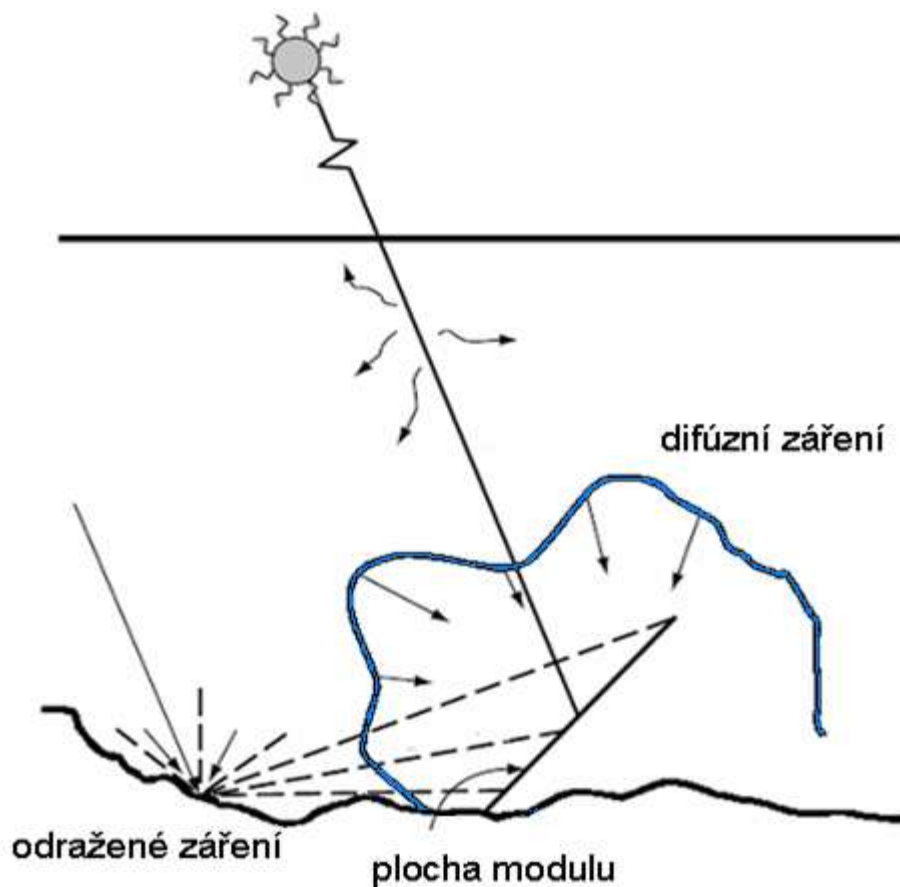
ω skutečný sluneční čas





Intenzita záření

Intenzita záření - hustota výkonu dopadajícího na povrch (W/m^2)



- **přímé záření**

- paprsky světla, které nejsou ani odražené, ani rozptýlené - **B**

- **difúzní záření**

- přichází z celé oblohy mimo sluneční kotouč - **D**

- **odražené záření (albedo)**

- je záření odražené od okolních předmětů - **R**

- **celkové (globální) záření**

- (přímé + difúzní + odražené)
- **$G = B + D + R$**



Intenzita záření

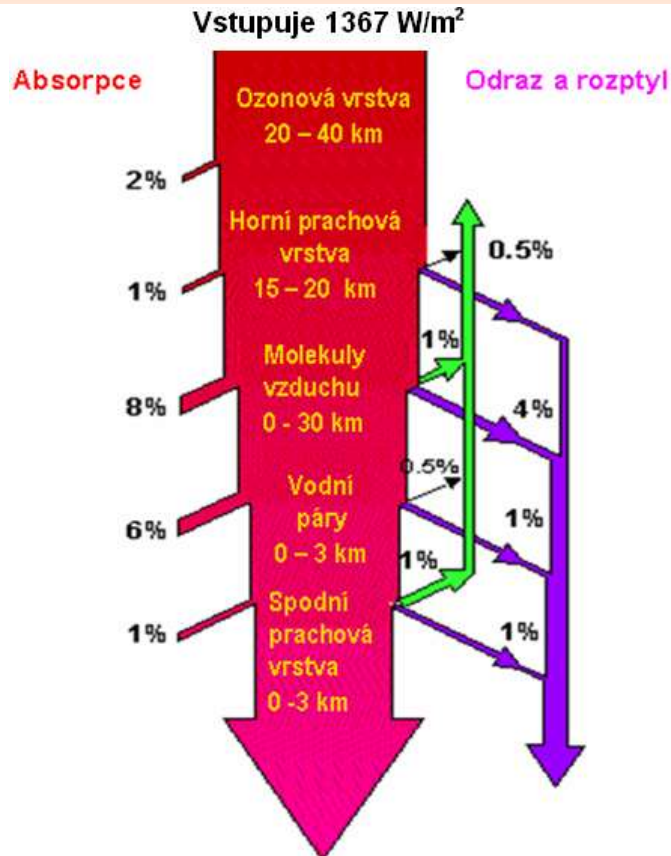
Nejčastěji se získává celková intenzita záření jako součet intenzit přímého, difúzního a odraženého záření dopadající na plochu odkloněnou o úhel α od jihu a o úhel β od horizontální roviny.

$$G(\beta, \alpha) = B(\beta, \alpha) + D(\beta, \alpha) + R(\beta, \alpha)$$

<i>přímé záření</i>	$B(\beta, \alpha) = B(0) \cos(\vartheta_s - \beta)$
<i>difúzní záření</i>	$D(\beta, \alpha) = D(0) \frac{1 + \cos \beta}{2}$
<i>odražené záření</i>	$R(\beta, \alpha) = \rho G(0) \frac{1 - \cos \beta}{2}$
ρ je odrazivost povrchu	



Intenzita záření



Při nejkratší dráze (záření kolmo k horizontální rovině) dopadá na povrch výkon 1000 W/m²

Pokud záření vstupuje do atmosféry pod úhlem φ

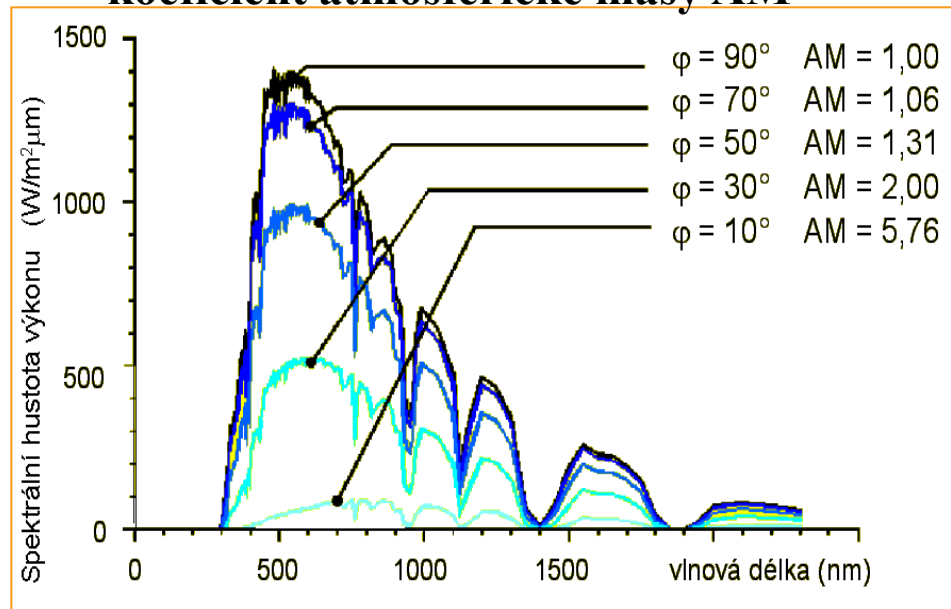
(φ je úhel od horizontální roviny)

$$B(\varphi) = B_0 (0,7)^m$$

Solární konstanta $B_0 = 1367 \text{ W/m}^2$

$$m = \frac{1}{\sin \varphi}$$

koefficient atmosférické masy AM

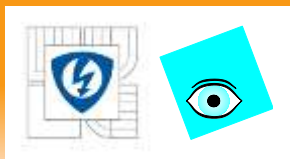




Intenzita záření

	Záření (W/m ²)	Difúzní podíl (%)
Modré nebe	800 – 1000	10
Zamlžené nebe	600 – 900	až 50
Mlhavý podzimní den	100 – 300	100
Zamračený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50 - 60

	Sluneční záření, jasno	Oblačno
Léto	7 – 8 kWh/m ²	2 kWh/m ²
Jaro / podzim	5 kWh/m ²	1,2 kWh/m ²
Zima	3 kWh/m ²	0,3 kWh/m ²



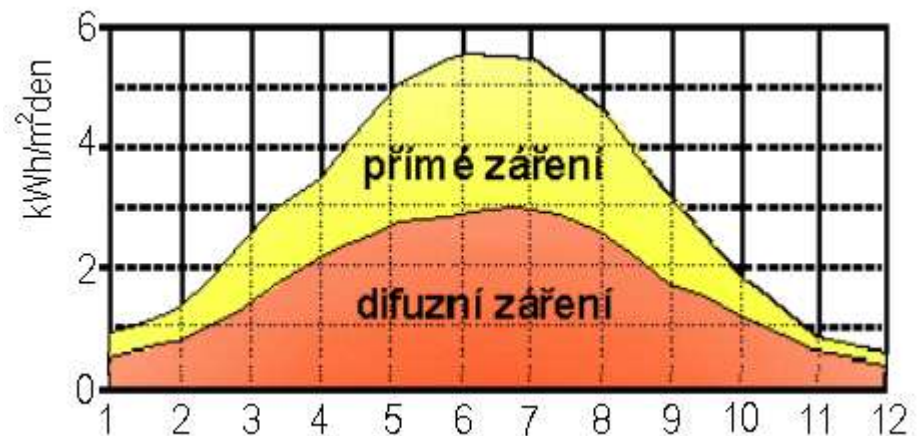
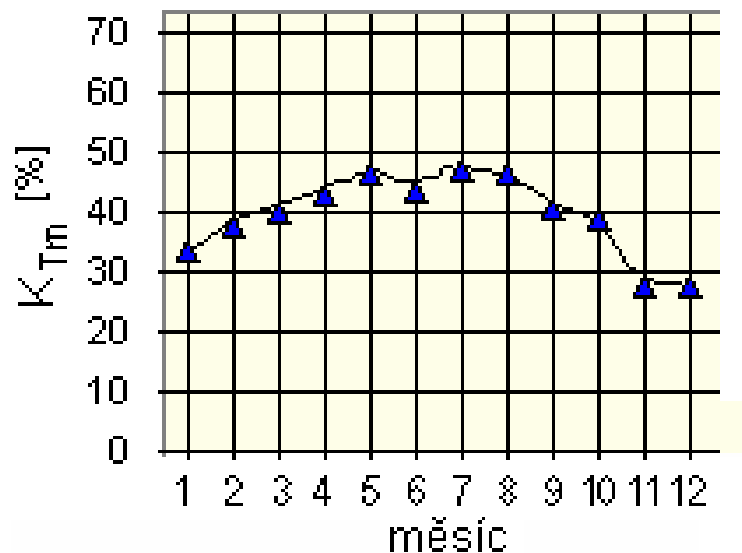
Vliv klimatických podmínek

Intenzita záření je ovlivňována klimatickými podmínkami
oblačnost, prašnost, mlha apod.

Mesíční střední hodnota globální intenzity, $G_{dm}(0)$;

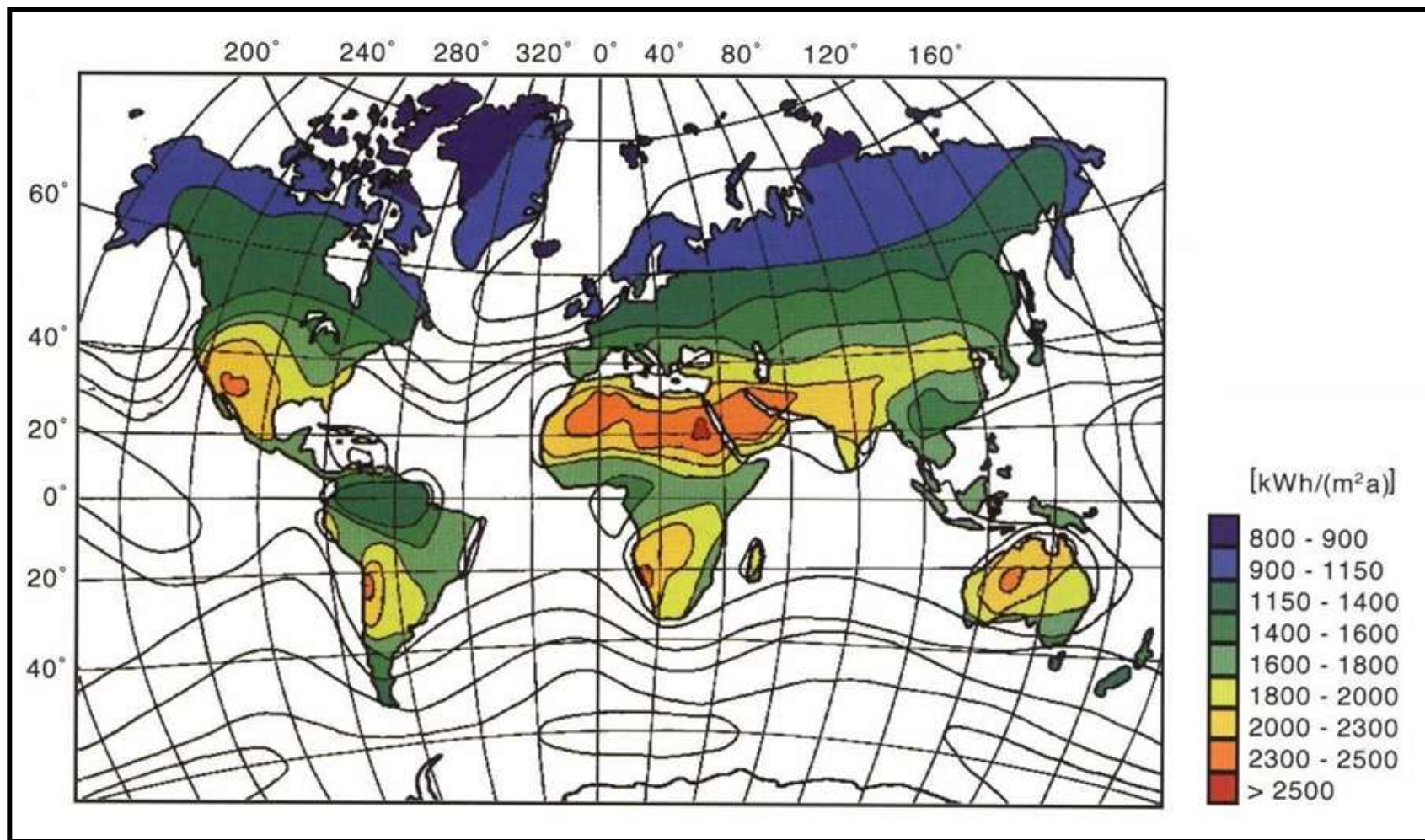
Index průzračnosti K_{Tm} ,
(počítaný pro každý měsíc)

$$K_{Tm} = \frac{G_{dm}(0)}{B_{0dm}(0)}$$





Intenzita záření v jednotlivých oblastech



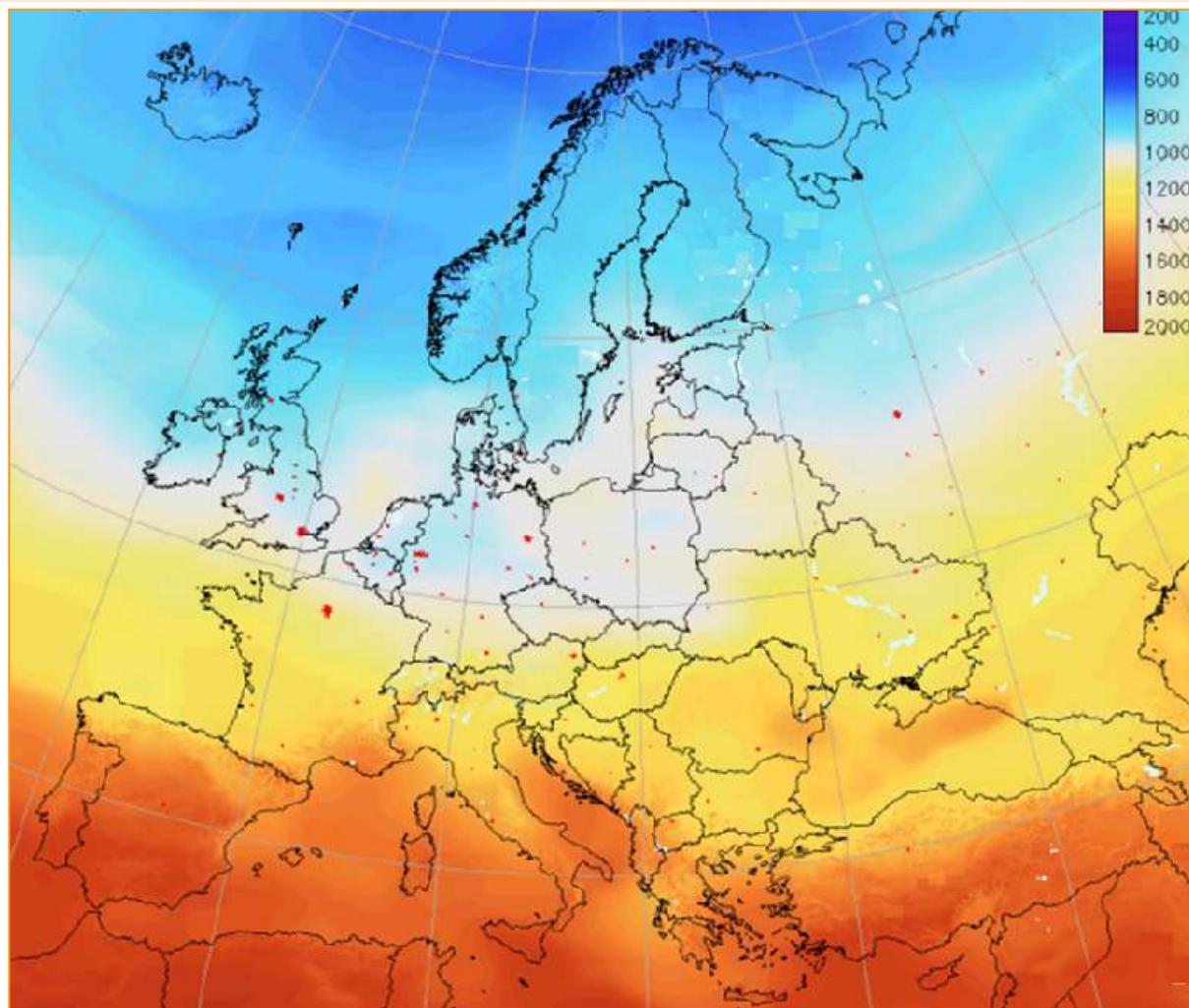
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Intenzita záření v jednotlivých oblastech

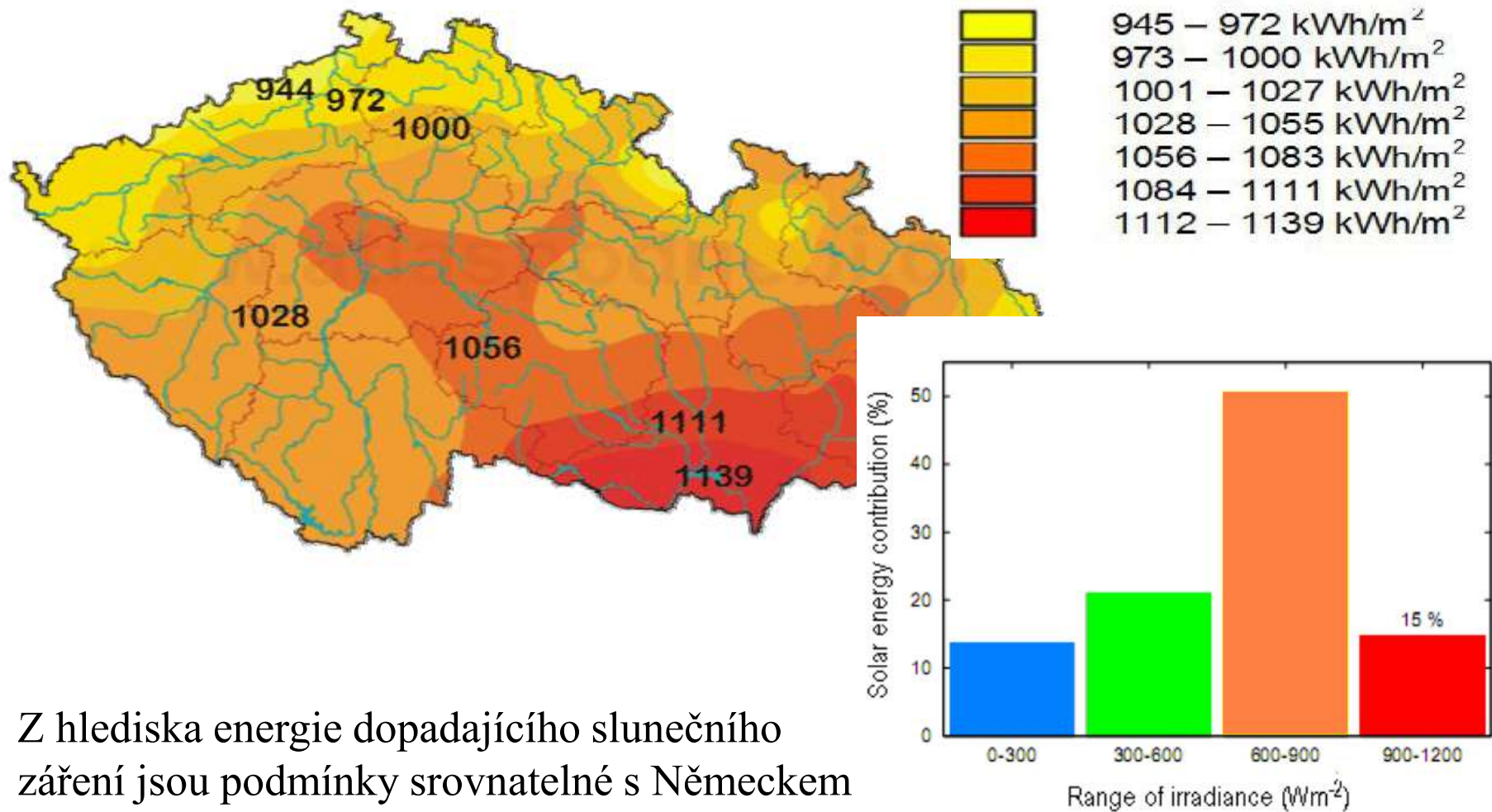


15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Česká republika – klimatické podmínky



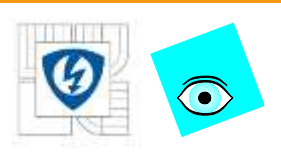
Z hlediska energie dopadajícího slunečního záření jsou podmínky srovnatelné s Německem

15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Absorpce světla materiálem



Pokud na povrch materiálu dopadá světlo o intenzitě Φ_{in} , část světla o intenzitě Φ_0 vstoupí do objemu materiálu.

$$\Phi_0 = \Phi_{in} (1 - \mathcal{R})$$

$\mathcal{R}$ je odrazivost (reflexivita) povrchu

Při průchodu světla materiálem intenzita klesá se vzdáleností od povrchu.

$$\Phi(x) = \Phi_0 \exp(-\alpha x) = \Phi_0 \exp\left(-\frac{x}{x_L}\right)$$

α je tzv. absorpční koeficient

$x_L = \frac{1}{\alpha}$ je tzv. **absorpční délka**

$$x=x_L \quad \Phi(x_L) = 0.38 \Phi_0$$

$$\int_0^{x_L} \Phi(x) dx = 0.68 \int_0^{\infty} \Phi(x) dx$$

Absorpce fotonu znamená předání jeho energie částicím materiálu.



Absorpce světla materiálem

Absorpce je způsobena interakcí světla s částicemi hmoty (elektrony a jádru)

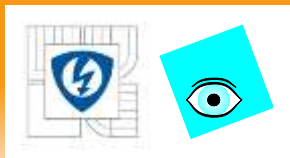
Je-li energie částice před interakcí W_1 , po absorpci fotonu je energie $W_1 + h\nu$

- interakce s mřížkou – **nízkoenergetické fotony, následkem je zvýšení teploty;**
- interakce s volnými elektrony – **zvýšení teploty;**

Fotovoltaické články a moduly

Solar Thermal – generace tepla

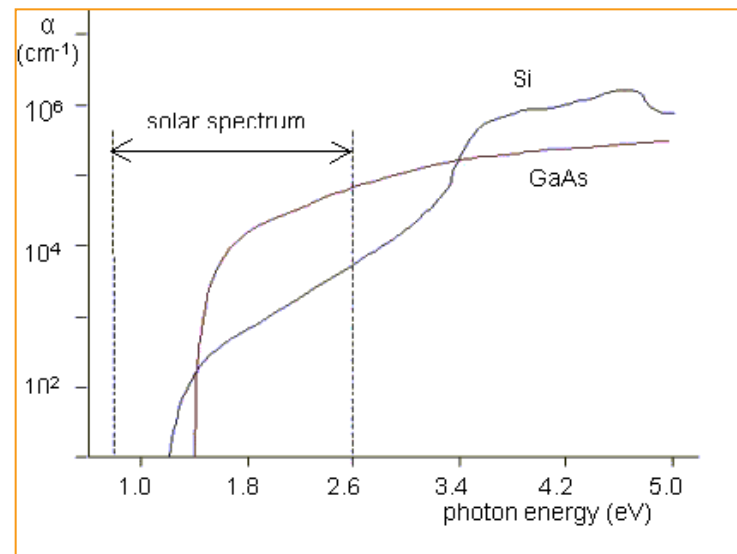
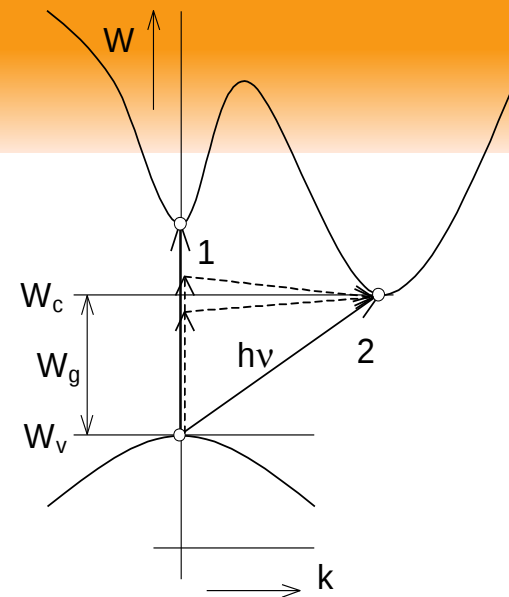
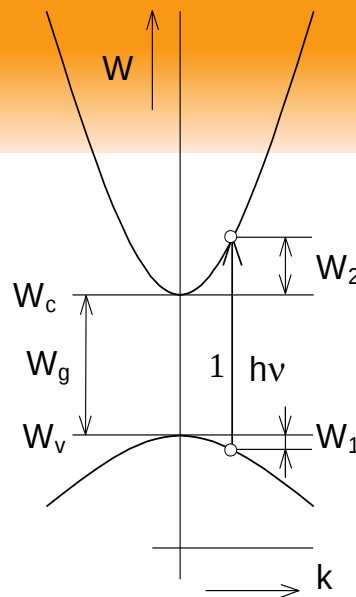
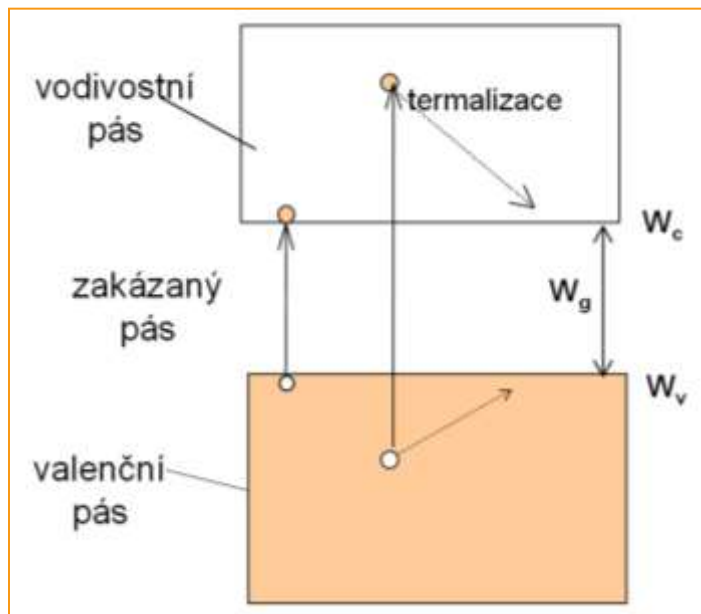
- interakce s vázanými elektrony - **může dojít k uvolnění elektronu z vazby, vznik volných nosičů náboje;**



Polovodiče

$$h\nu \geq W_g$$

Generace nerovnovážných
nosičů náboje



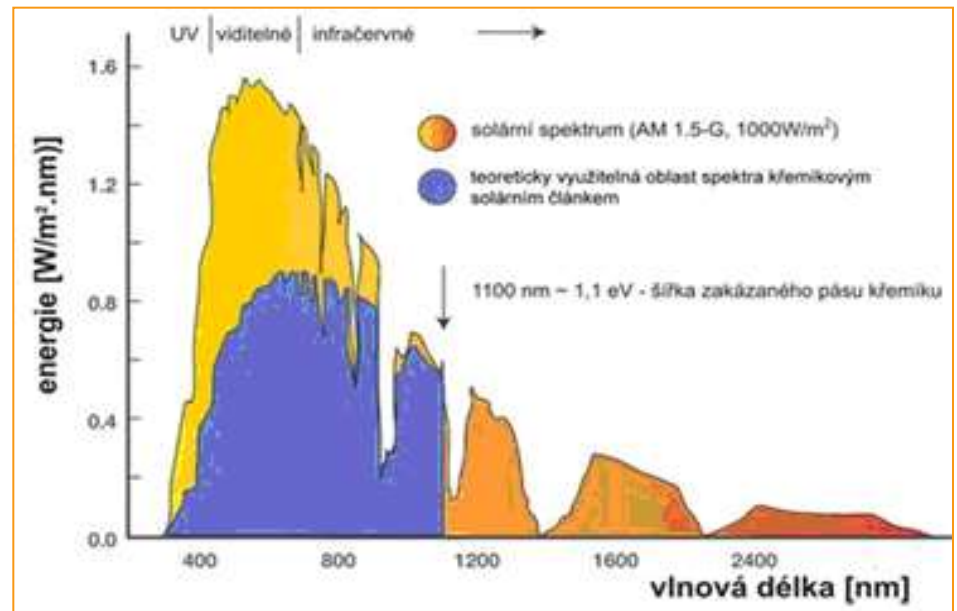
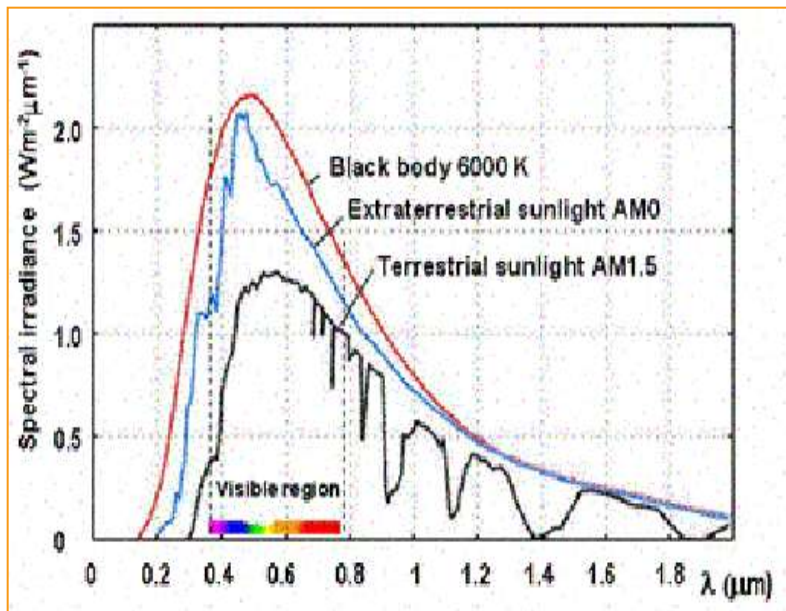
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





Dopadající energie



15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Generace nerovnovážných nosičů



Ve vzdálenosti x pod povrchem je generováno za jednotku času G párů elektron-díra

$$G(\lambda; x) = \left(\frac{d\Delta n}{dt} \right)_{gen} = \alpha(\lambda)\beta(\lambda)\Phi(\lambda; x) = \alpha(\lambda)\beta(\lambda)\Phi_0(\lambda)\exp(-\alpha(\lambda)x)$$

Celková generace

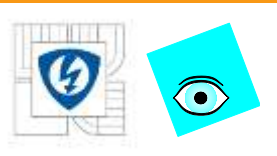
$$G_{tot}(x) = \int_0^{\infty} G(\lambda; x) d\lambda = \int_0^{\infty} \alpha(\lambda)\beta(\lambda)\Phi(\lambda; x) d\lambda$$

Za jednotku času rekombinuje R párů elektron-díra

$$R = \left(\frac{d\Delta n}{dt} \right)_{rec} = -\frac{\Delta n}{\tau}$$

V ustáleném stavu je dynamická rovnováha

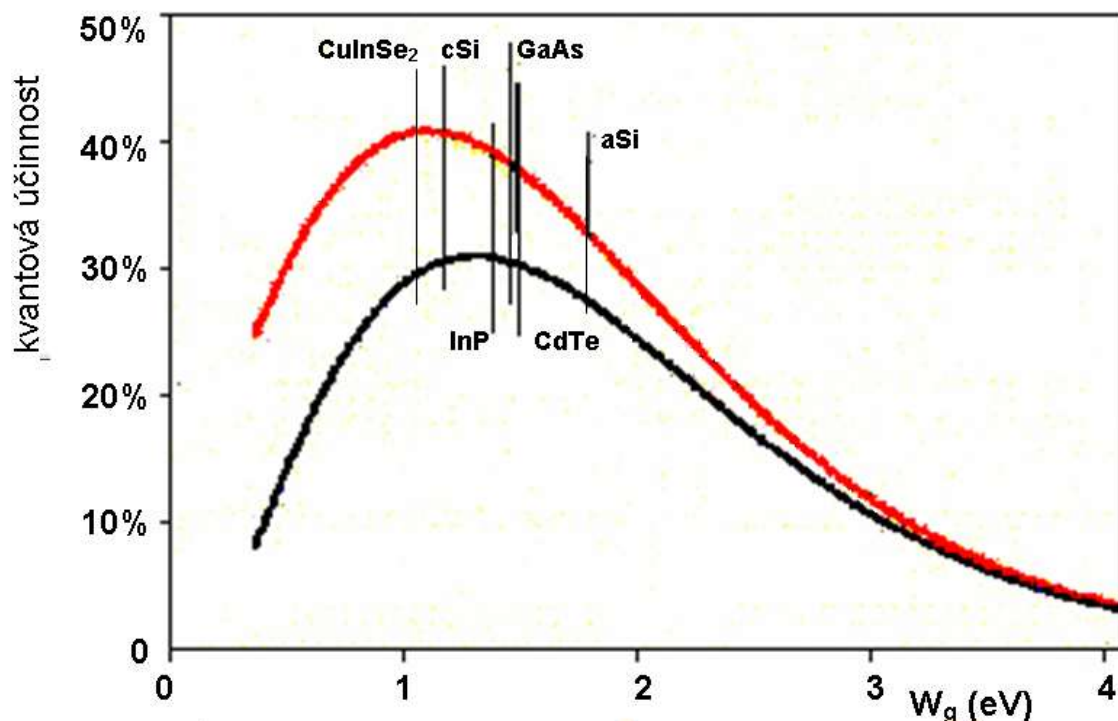
$$\Delta n = \tau G$$



Výběr vhodných materiálů

Účinnost generace nosičů závisí na šířce zakázaného pásu

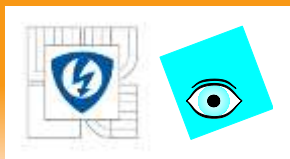
Vhodné materiály



Si

GaAs

CuInSe₂
amorfní SiGe
CdTe/CdS

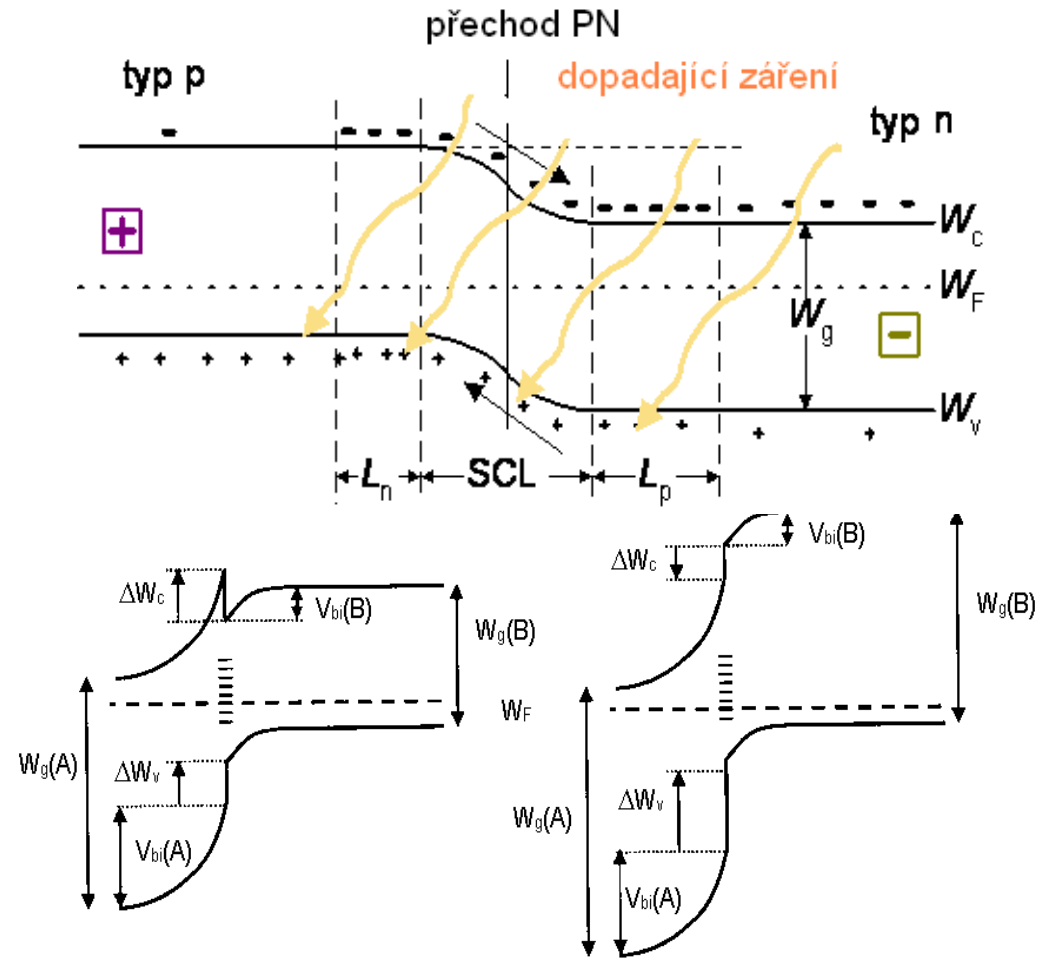


Polovodičové fotovoltaické články

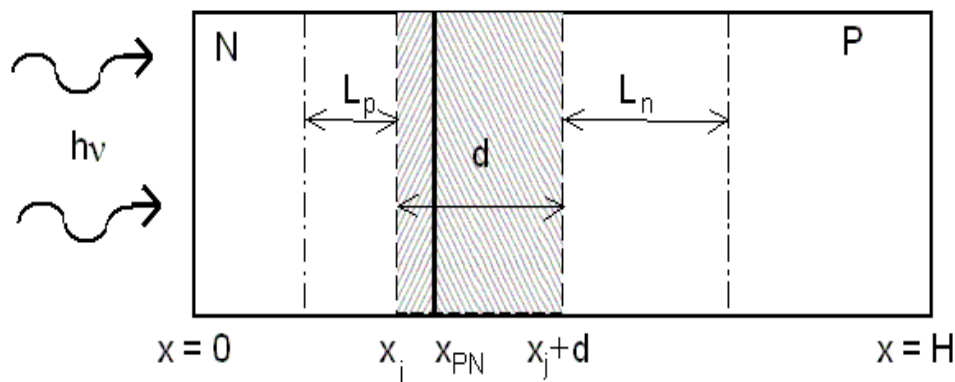
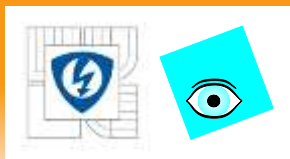
Pro vytvoření potřebného rozdílu potenciálu je možno využít struktury s vestavěným elektrickým polem

Vhodné struktury jsou:

- přechod PN;
- heteropřechod (kontakt dvou různých materiálů);



Princip funkce fotovoltaického článku



V ozářené oblasti jsou generovány nerovnovážné nosiče, které difundují směrem k přechodu PN.

Hustota proudu J_{PV} je tvořena nosiči které byly zachyceny oblastí prostorového náboje

- v oblasti typu N

$$J_{PVN}(\lambda) = e \int_0^{x_j} G(\lambda) dx - e \int_0^{x_j} \frac{\Delta p}{\tau_p} dx - J_{sr}(0)$$

- v oblasti typu P

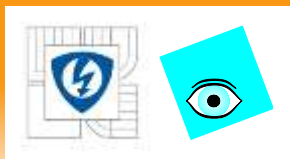
$$J_{PVP}(\lambda) = e \int_{x_j+d}^H G(\lambda) dx - e \int_{x_j+d}^H \frac{\Delta n}{\tau_n} dx - J_{sr}(H)$$

- v oblasti prostorového náboje přechodu PN

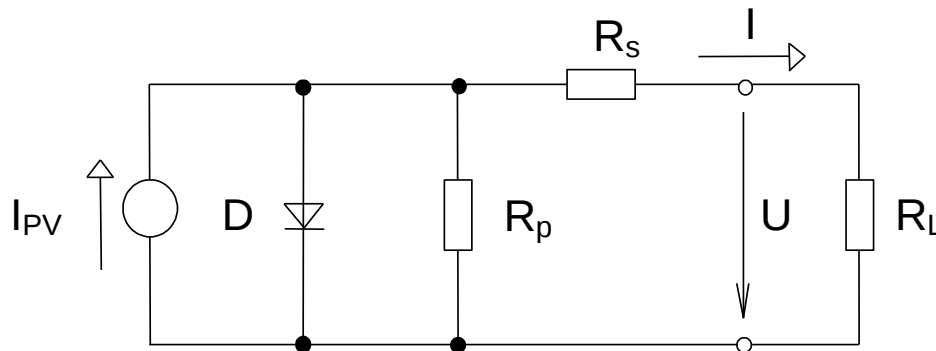
$$J_{OPN}(\lambda) \approx e \int_{x_j}^{x_j+d_j} G(\lambda) dx - e \int_{x_j}^{x_j+d_j} \frac{\Delta n}{\tau} dx$$

**Generovaná
proudová hustota**

$$J_{PV}(\lambda) = e \int_0^H G(\lambda) dx - e \int_0^H \frac{\Delta n}{\tau_n} dx - (J_{sr}(0) + J_{sr}(H))$$



V-A charakteristika fotovoltaických článků



Paralelní odpor R_p
Sériový odpor R_s

A_{ill} – ozářená plocha

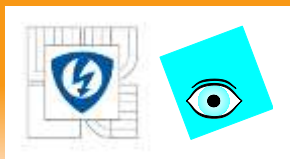
A - celková plocha

Napětí na článku $U = U_j - R_s I$

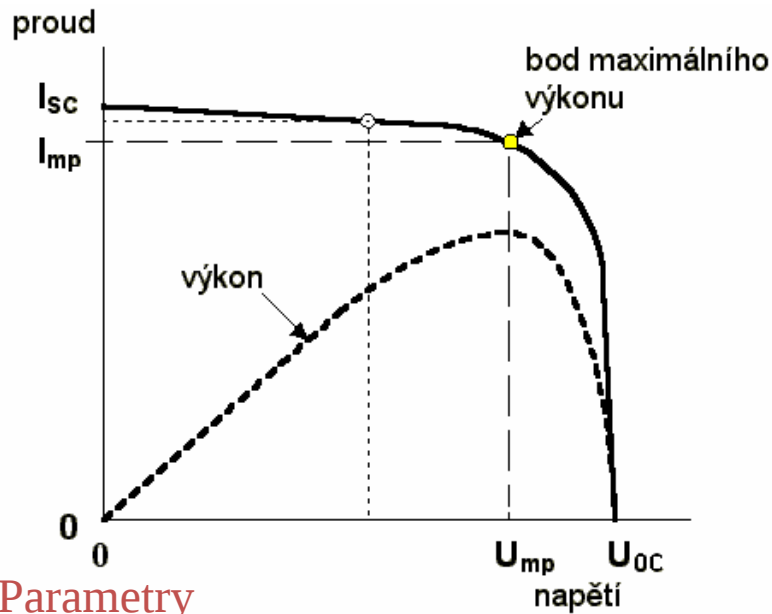
V-A charakteristika přechodu PN

$$J = J_{01} \left[\exp\left(\frac{eU_j}{kT}\right) - 1 \right] + J_{02} \left[\exp\left(\frac{eU_j}{2kT}\right) - 1 \right] \quad J_{01} = n_i^2 e \left(\frac{D_n}{L_n} \frac{1}{p_{p0}} + \frac{D_p}{L_p} \frac{1}{n_{n0}} \right) \quad J_{02} = \frac{en_i d}{\tau_{sc}}$$

$$I = A_{ill} J_{PV} - I_{01} \left[\exp\left(e \frac{U + R_s I}{kT}\right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp\left(e \frac{U + R_s I}{2kT}\right) - 1 \right] - \frac{U + R_s I}{R_p}$$



V-A charakteristika fotovoltaiického článku a její důležité body



Parametry

$$U_{OC}, I_{SC}, U_{mp}, I_{mp}, P_m = U_{mp} I_{mp}$$

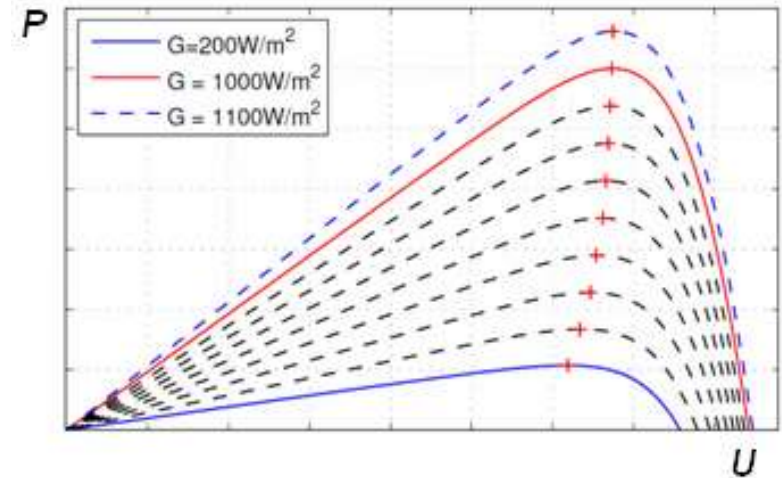
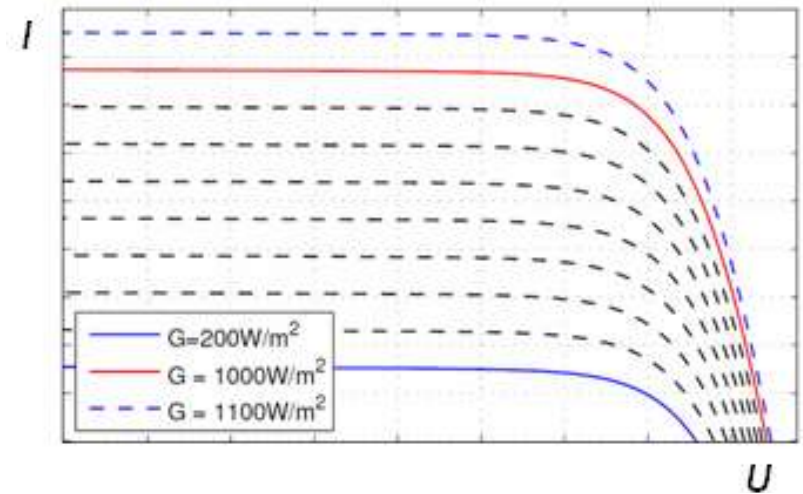
(STC: 25°C, 1 kW/m², AM= 1,5)

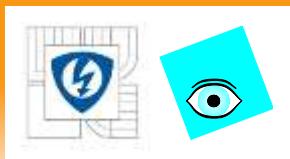
Účinnost článku

$$\eta = \frac{U_{mp} I_{mp}}{P_{in}}$$

$$FF = \frac{U_{mp} I_{mp}}{U_{OC} I_{SC}}$$

Činitel plnění





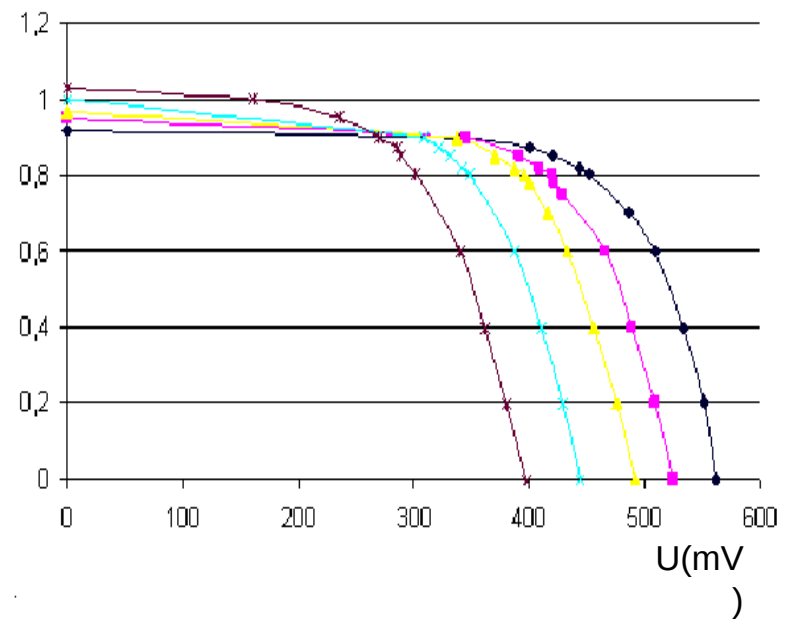
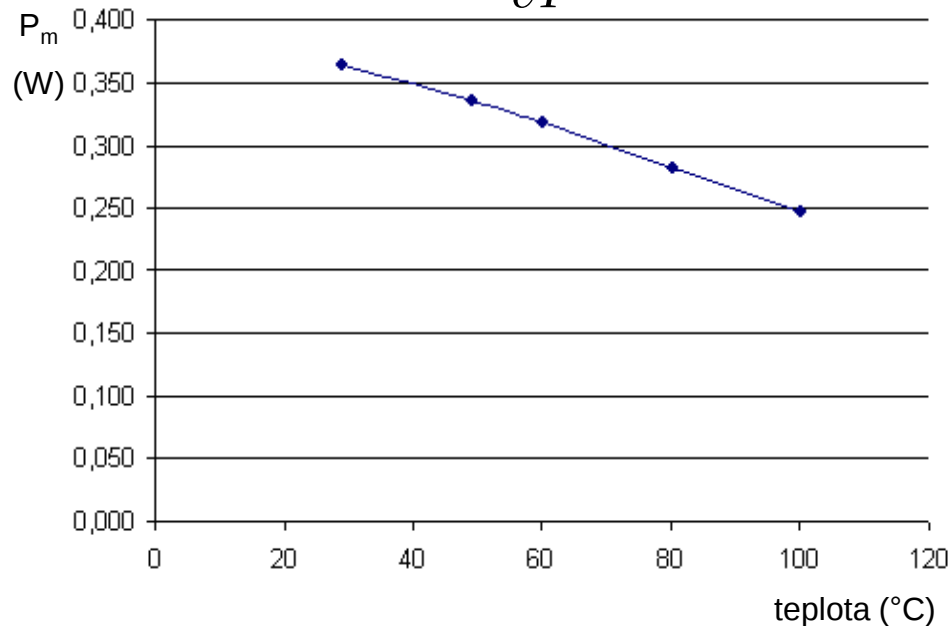
Vliv teploty na VA charakteristiku

I
(A)

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

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

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



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

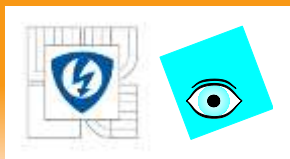
R_s roste s rostoucí teplotou

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 $\frac{1}{\eta} \frac{\partial \eta}{\partial T} \approx 0.5\% \text{ K}^{-1}$

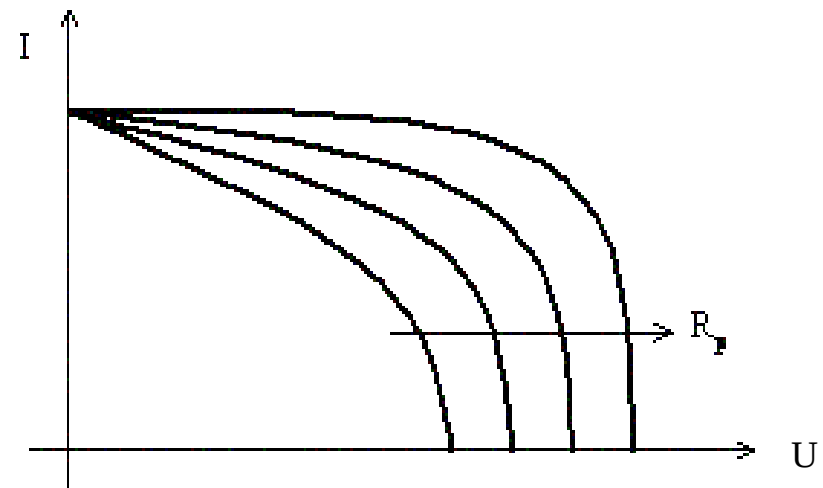
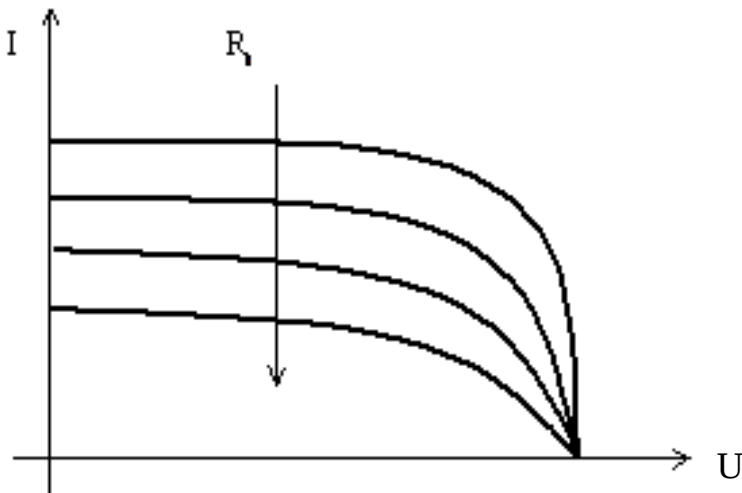


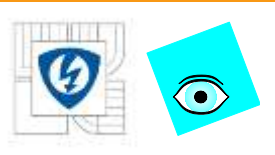
Vliv parazitních odporů (R_s a R_p)

$$I_{SC} = A_{ill} J_{PV} - I_{01} \left[\exp \left(e \frac{R_s I_{SC}}{kT} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(e \frac{R_s I_{SC}}{2kT} \right) - 1 \right] - \frac{R_s I_{SC}}{R_p}$$

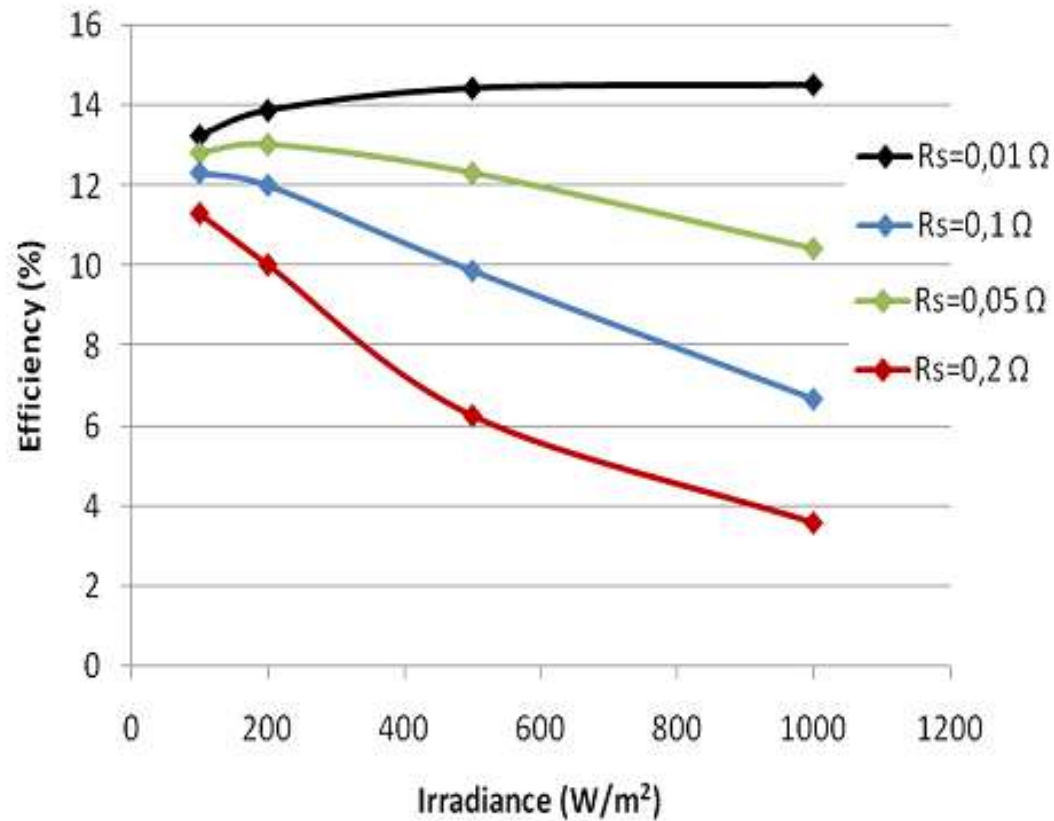
Pokud je R_p velký a

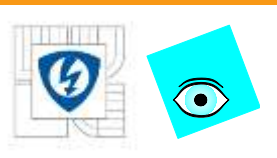
$$A_{ill} J_{PV} = I_{PV} \gg I_{01} + I_{02} \quad \longrightarrow \quad U_{OC} \approx \frac{kT}{e} \ln \frac{I_{PV}}{I_{01}}$$





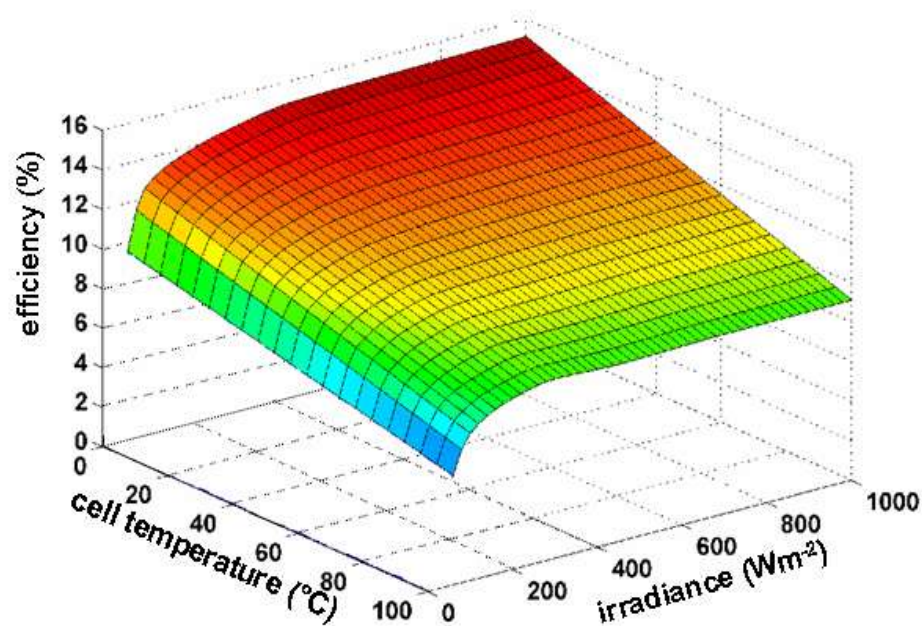
Sériový odpor ovlivňuje závislost účinnosti na intenzitě záření



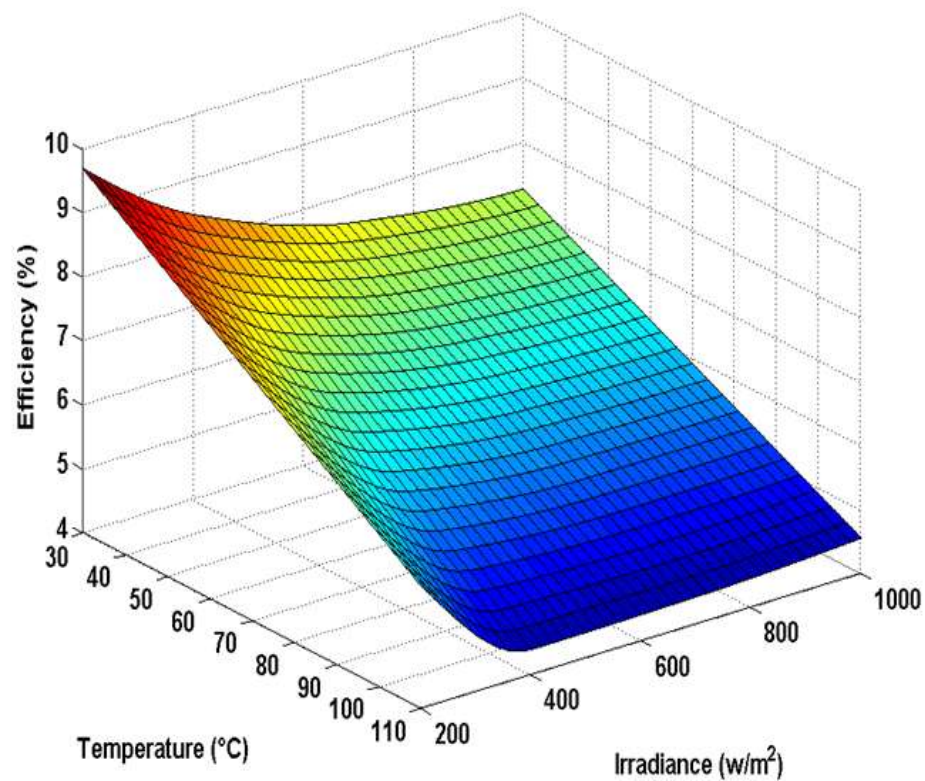


Srovnání FV článků

FV článek (modul) s nízkým R_s



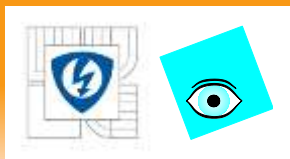
FV článek (modul) s vysokým R_s



15.4.2011

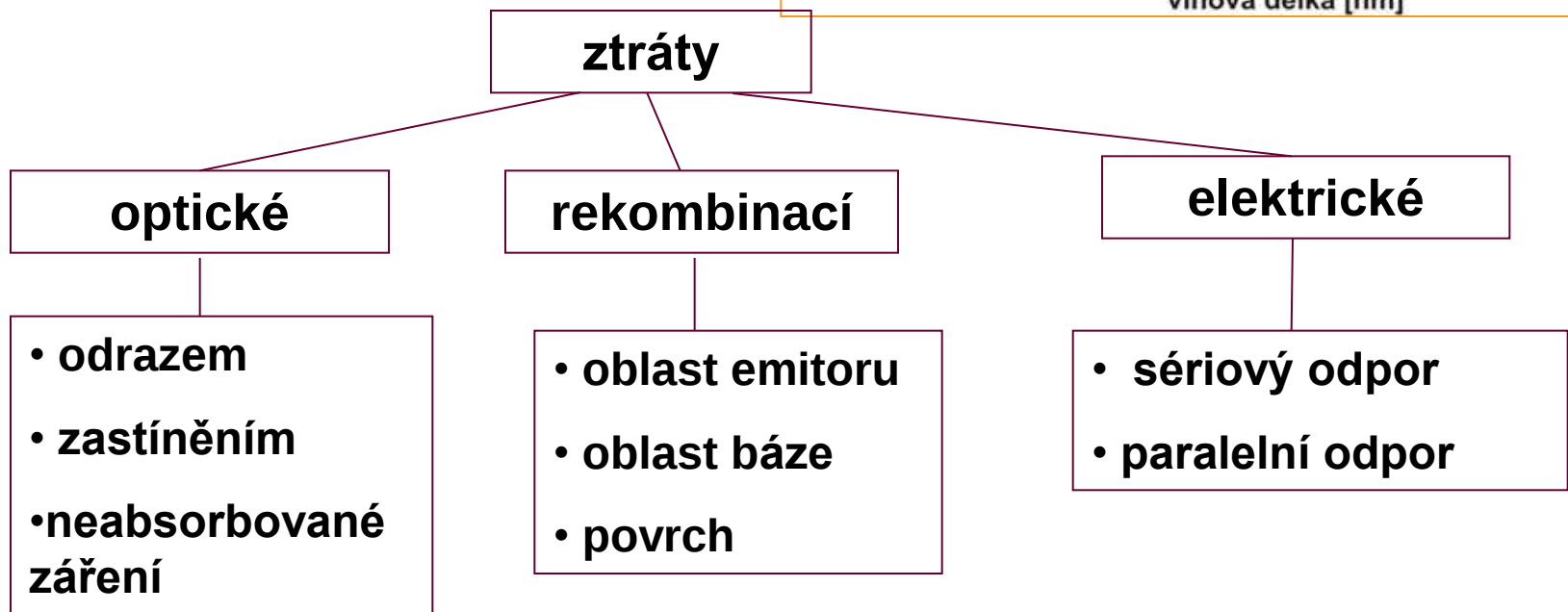
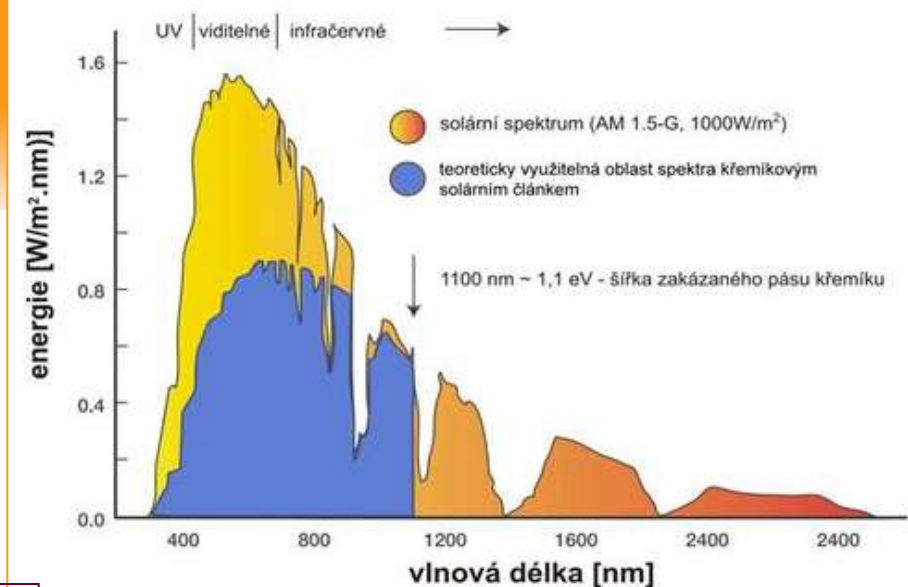
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

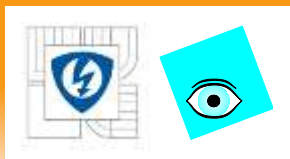




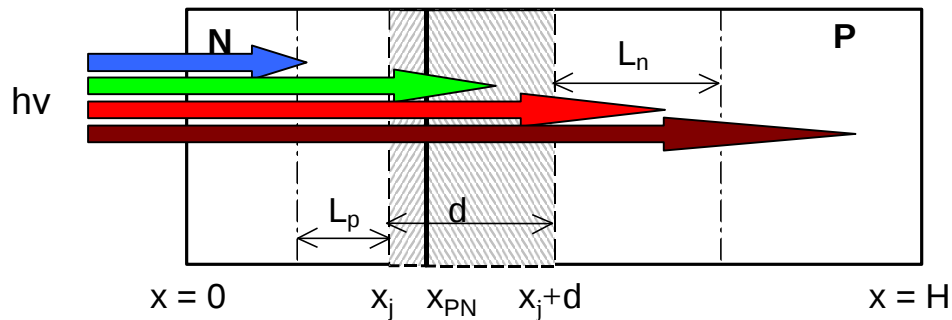
K dosažení maximální hodnoty J_{PV} je třeba

- maximální generace G
- minimální ztráty





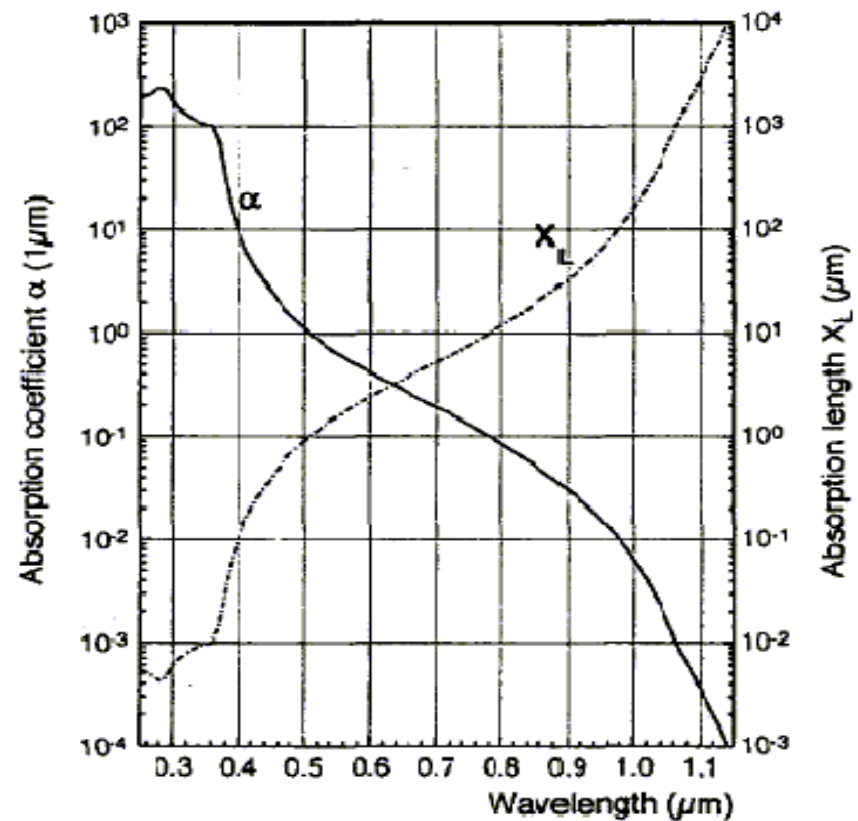
Optimalizace pozice přechodu PN



PN přechod sbírá nosiče generované jak v oblasti typu P tak v oblasti typu N.

U článků z c-Si vzdálenost přechodu PN od povrchu x_j by měla být menší, než $0.5 \mu\text{m}$ ($0.2 \mu\text{m}$ je žádoucí).

Je třeba minimalizovat rekombinaci (dostatečně čistý materiál)





Antireflexní vrstva

V případě monochromatického záření, minimální odraz $\mathcal{R}_{min}$ nastává je-li optická dráha rovna čtvrtině vlnové délky.

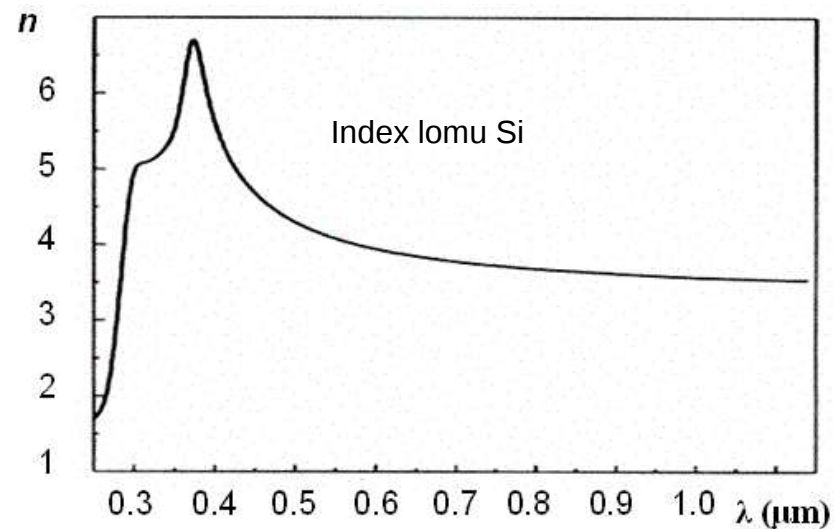
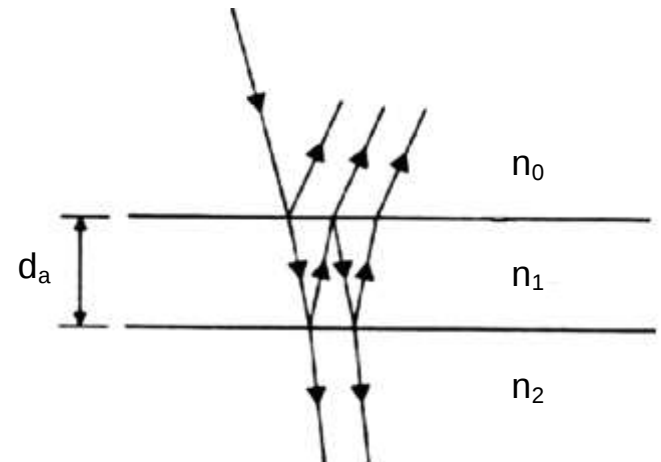
$$d_a = \frac{\lambda}{4n_1}$$

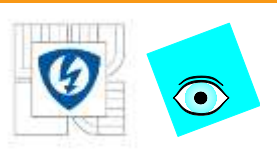
$$(n_1^2 + n_0 n_2)^2 \mathcal{R}_{min} = (n_1^2 - n_0 n_2)^2$$

Je tedy třeba, aby $\mathcal{R}_{min} = 0$

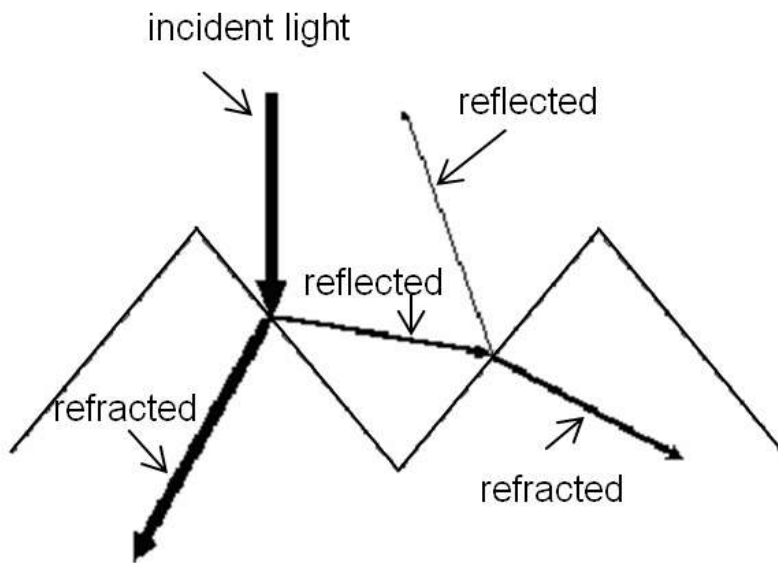
$$n_1 = \sqrt{n_0 n_2}$$

Tenká vrstva s $n_2 \cong 2$ je potřebná pro články z c-Si (Si_3N_4 nebo TiO_2 , $d \cong 75 \text{ nm}$).

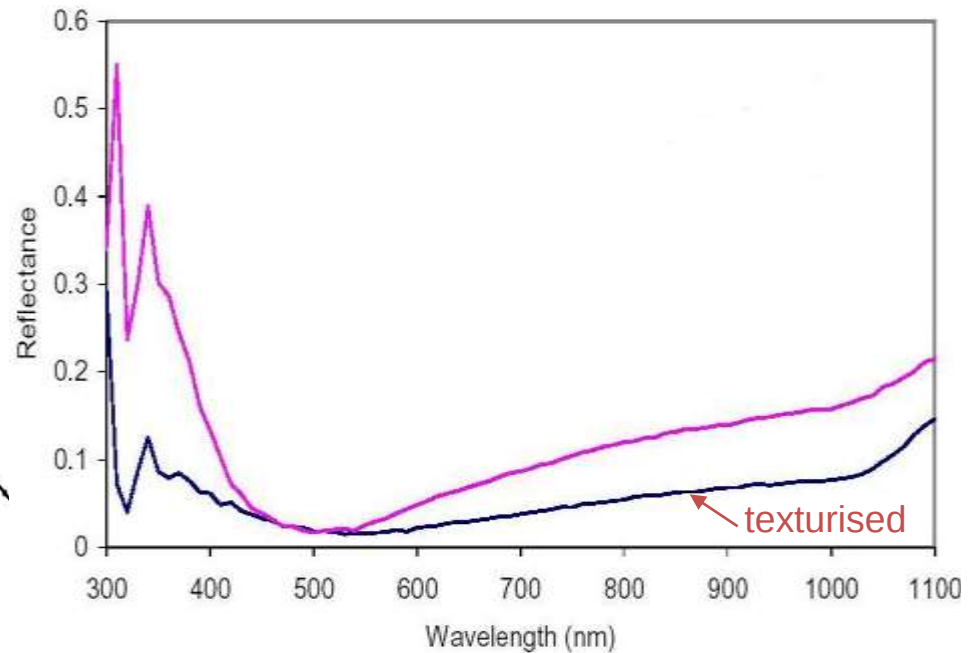




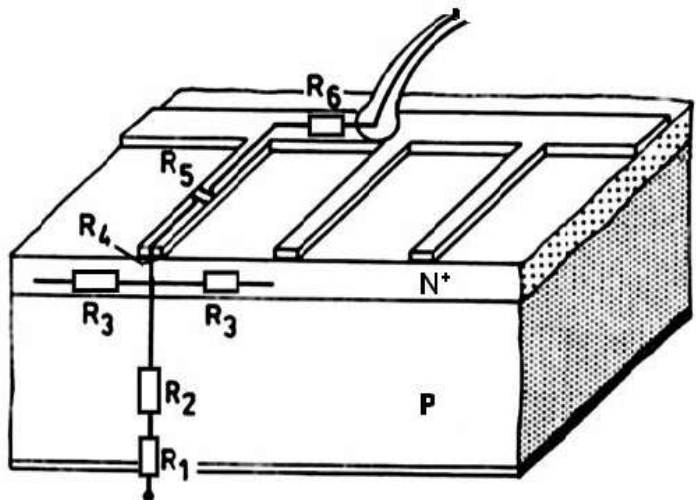
Texturace povrchu



Má-li povrch pyramidovou strukturu, je možné snížit odrazivost na zhruba jednu třetinu oproti rovinnému povrchu.



Oba principy (texturace povrchu a antireflexní vrstva) mohou být kombinovány.



Sériový odpor R_s ovlivňuje silně parametry FV článku.

Sériový odpor R_s sestává z:

· R_1 – kontakt kov-polovodič na zadním kontaktu

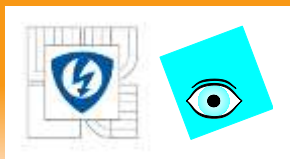
· R_2 – odpor materiálu báze $R_2 = \rho_{Si} H / A$

· R_3 – laterální odpor vrstvy typu N $R_3 \sim \frac{\rho_N d}{x_j}$

· R_4 – kontakt kov-polovodič

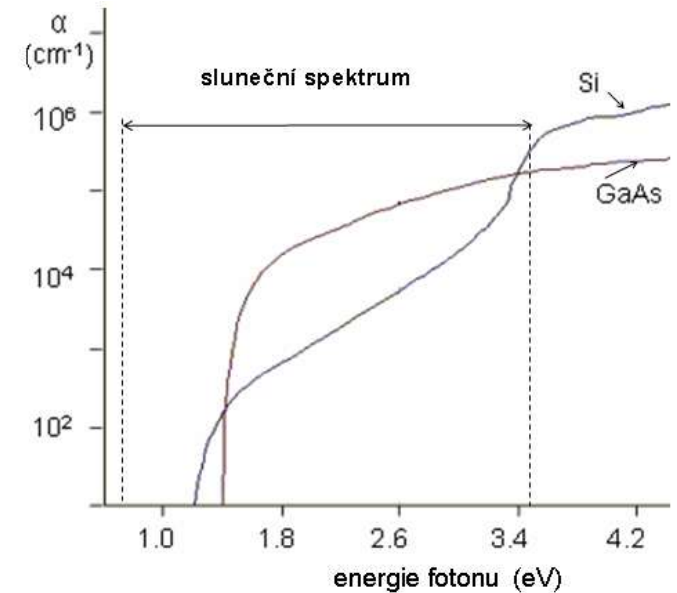
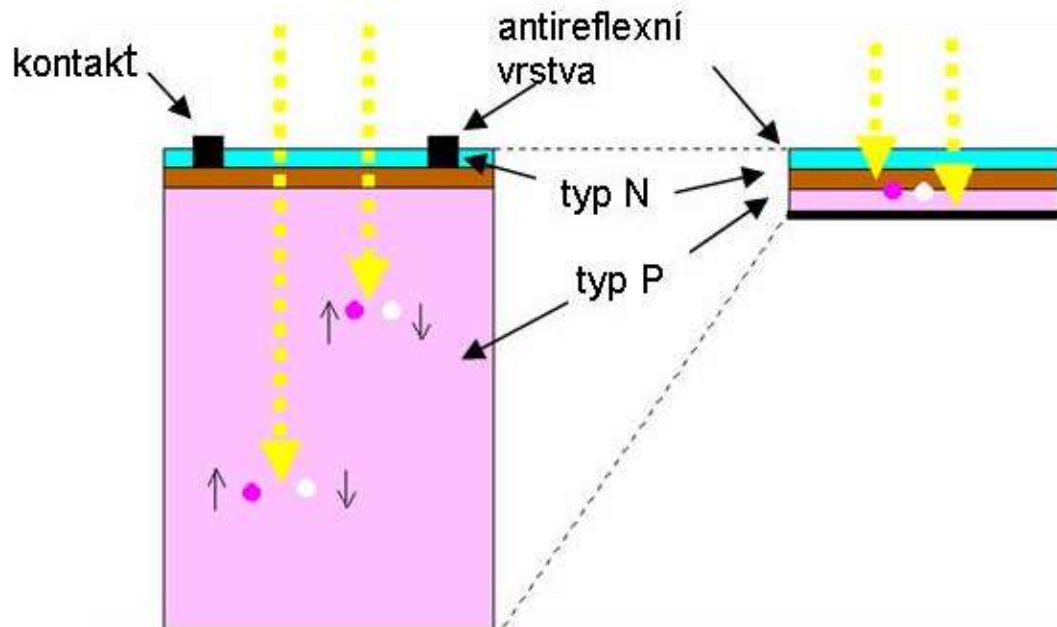
· R_5 – odpor „prstu“ sběrnice $R_5 = \frac{\rho_M l}{3bh}$

· R_6 – odpor hlavní sběrnice $R_6 \sim \frac{\rho_M l_B}{hb_B}$

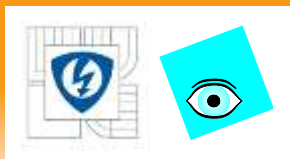


Základní typy článků

Krystalický Si



Tenkovrstvé články
 CuInSe_2
amorfnní křemík
amorfnní SiGe
 CdTe/CdS



Materiály a technologie pro fotovoltaické články

Objemové materiály

- Krystalický křemík - monokrystalický, multikrystalický

82,5%

Tenkovrstvé struktury

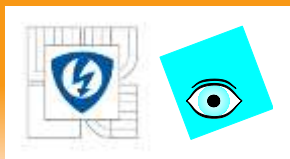
- Amorfni křemík
- Mikrokrytalický křemík
- Amorfni germánium
- Amorfni SiGe
- CdTe/CdS
- CuInSe - CIS

17,5%

Nové materiály

- Gratzel, DSSC
- polymery
- nanotechnologie

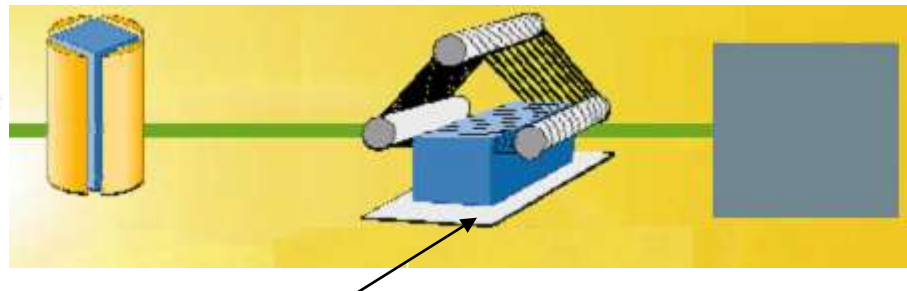
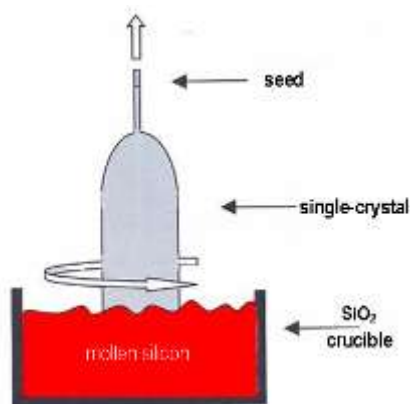
R&D



FV články a moduly z krystalického Si (c-Si)

FV články jsou realizovány z destiček krystalického Si o tloušťce 0,15 – 0,3 mm a straně 100 až 200 mm

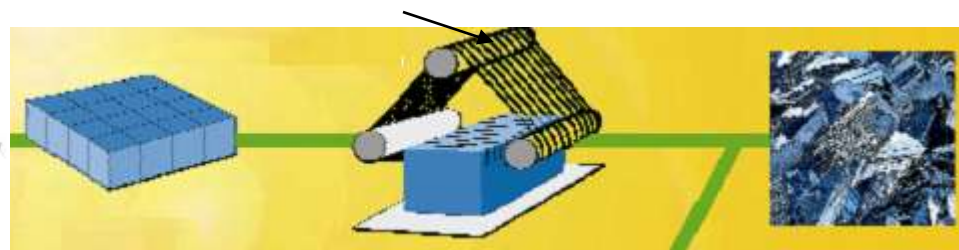
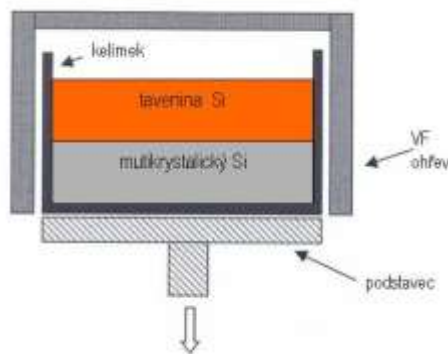
c-Si mono



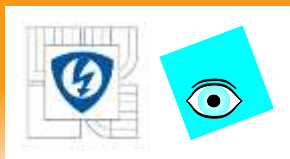
(34,1%)

Ztráty materiálu při řezání cca 40%

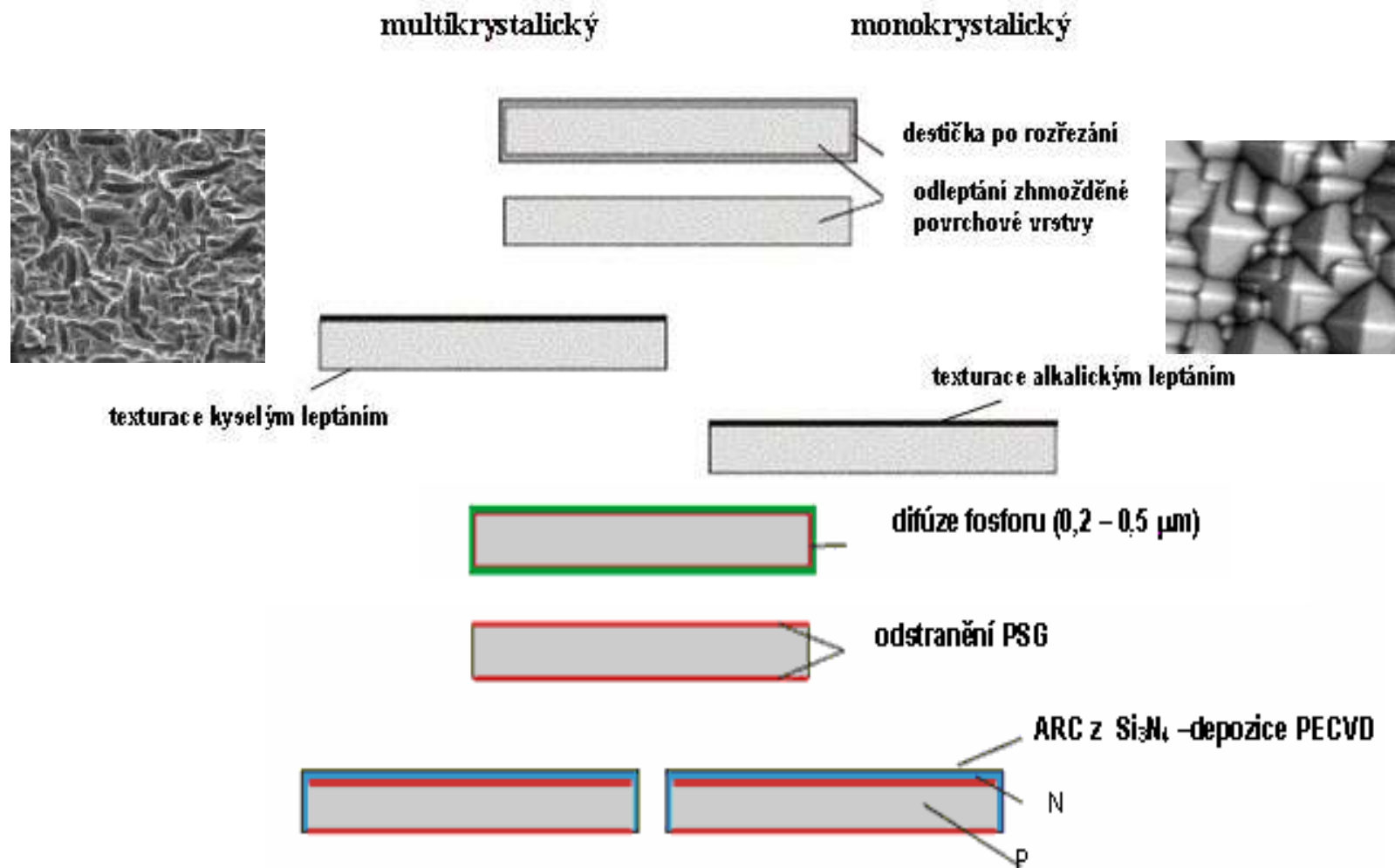
c-Si multi



(46,9%)



Výroba fotovoltaických článků (c-Si)



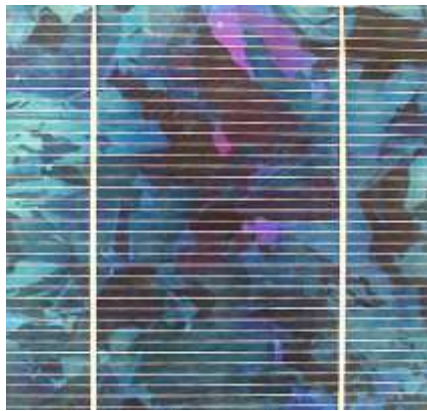
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Výroba fotovoltaických článků (c-Si)

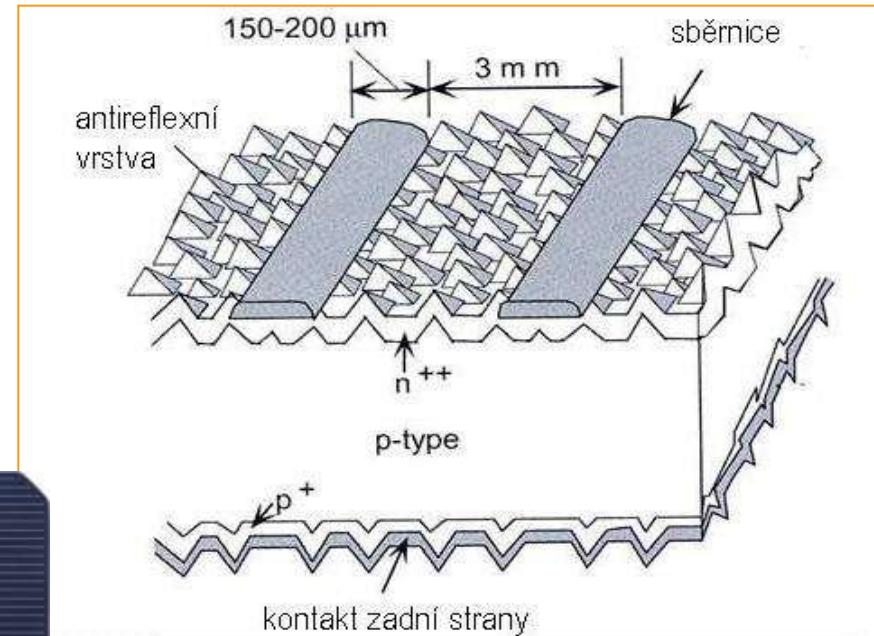
- kontakty realizovány pomocí sítotisku (Ag a Al/Ag pasty)

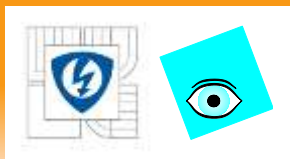


$\eta \approx 15\%$



$\eta \approx 17\%$





Moduly z krystalického Si

FV článěk.....~0.5 V, ~30 mA/cm²

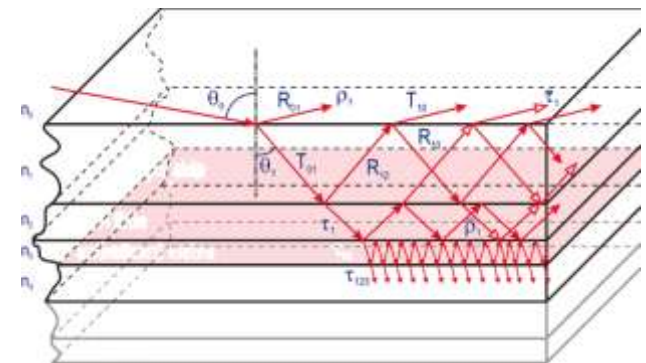
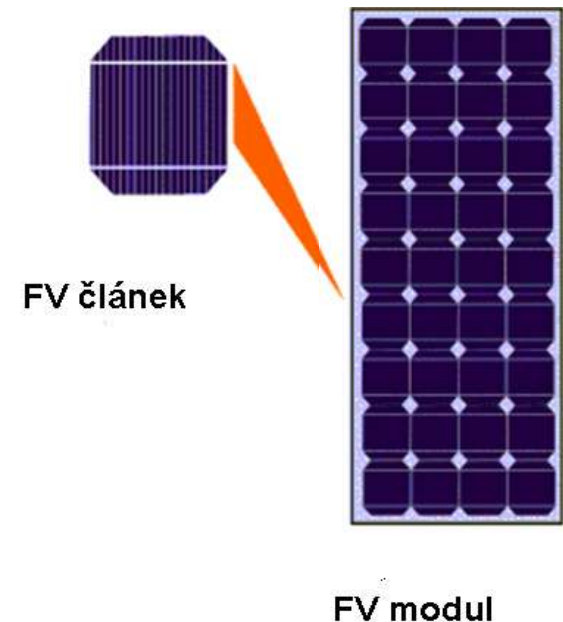
Pro praktické použití je třeba články
spojovat do série do **modulů**

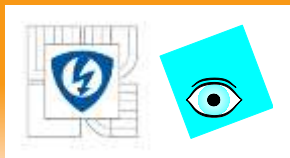
FV moduly musí být odolné proti
vlhkosti, větru, dešti, krupobití (kroupy
o průměru 25 mm), teplotním změnám
(od -40 do +85°C) písku a
mechanickému namáhání.

Odolnost vůči napětí > 600 V

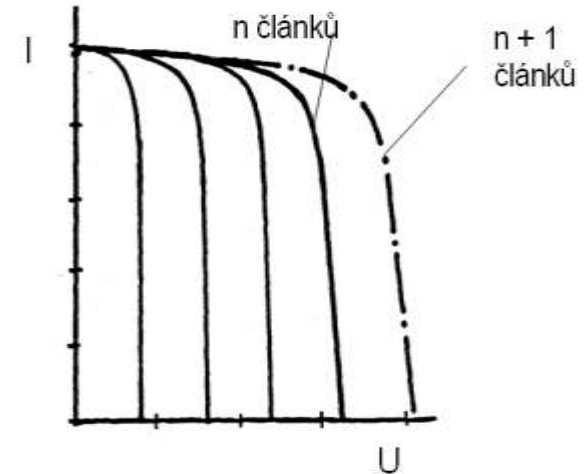
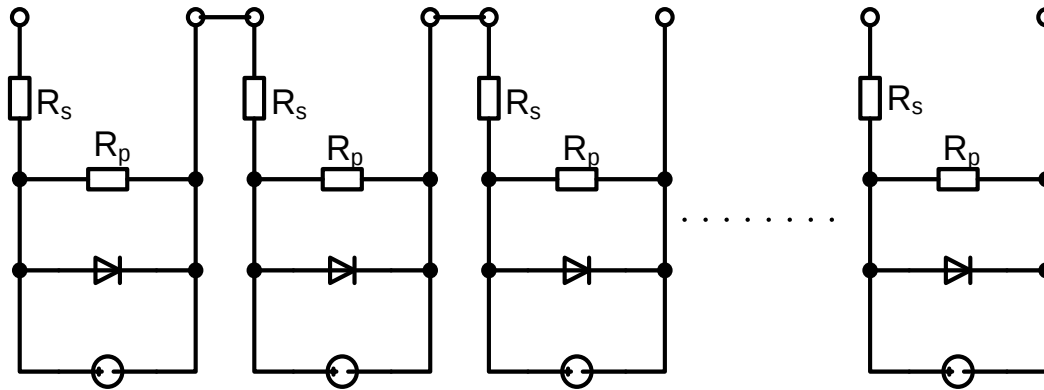
Požadovaná životnost: 20 – 30 let

(životností se rozumí pokles účinnosti na
80% původní hodnoty)



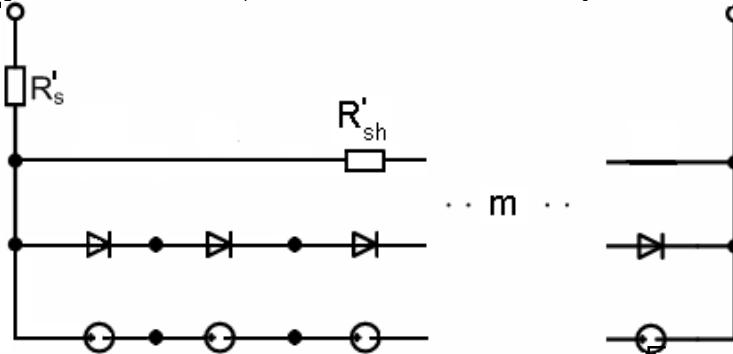


Sériově zapojené FV články: všemi články teče stejný proud



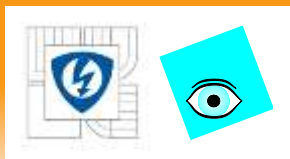
Optimální situace: Všechny články mají stejný I_{mp}

Zjednodušený model modulu (řetězce)

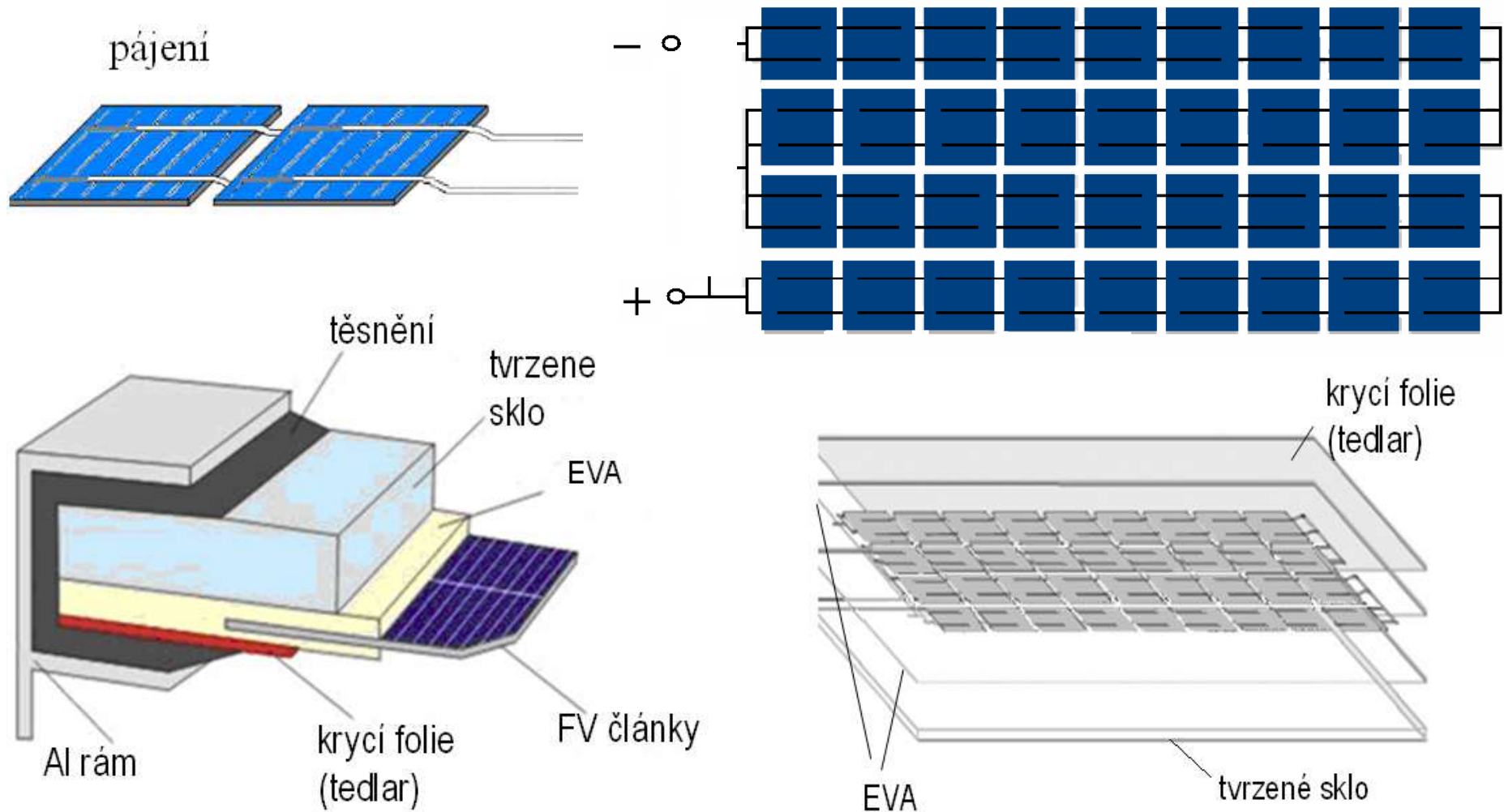


$$I = I_{PV} - I_{01} \left[\exp \left(e \frac{U + R'_s I}{mkT} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(e \frac{U + R'_s I}{mn_2 kT} \right) - 1 \right] - \frac{U + R'_s I}{R_{sh}}$$

Pokud články mají různý I_{mp} , pracují mimo bod maximálního výkonu a účinnost klesá

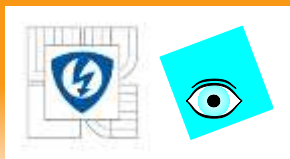


Technologie modulů z c-Si

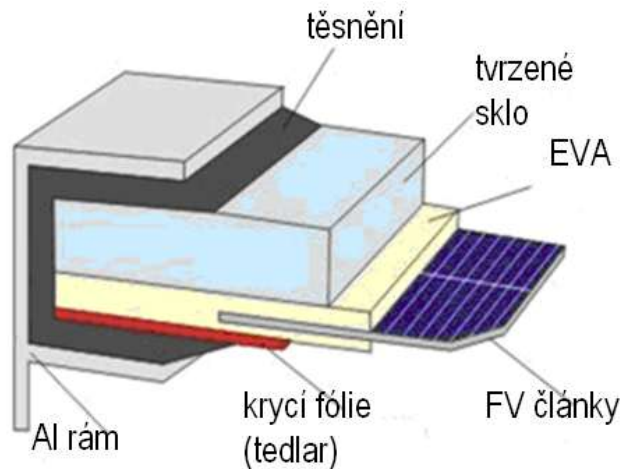


15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Provozní teplota FV článků a modulů



Provozní teplota FV článků v modulu závisí na teplotě okolí, intenzitě dopadajícího záření a 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} .

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

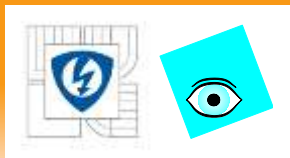
$$r_{thcab} = \frac{d_b}{\lambda_b} + \frac{1}{h_b}$$

$$r_{thcaf} = \frac{d_f}{\lambda_f} + \frac{1}{h_f}$$

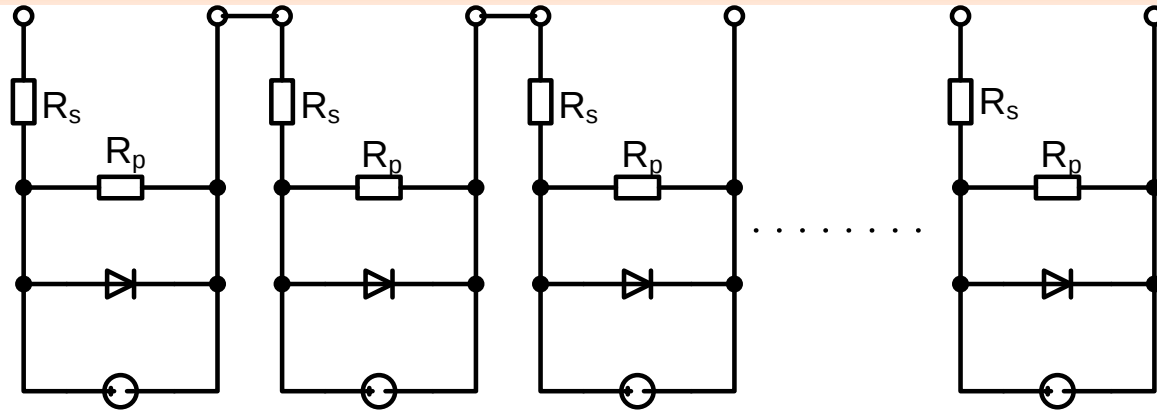
$$r_{thca} = \frac{r_{thcaf} r_{thcab}}{r_{thcaf} + r_{thcab}}$$

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

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

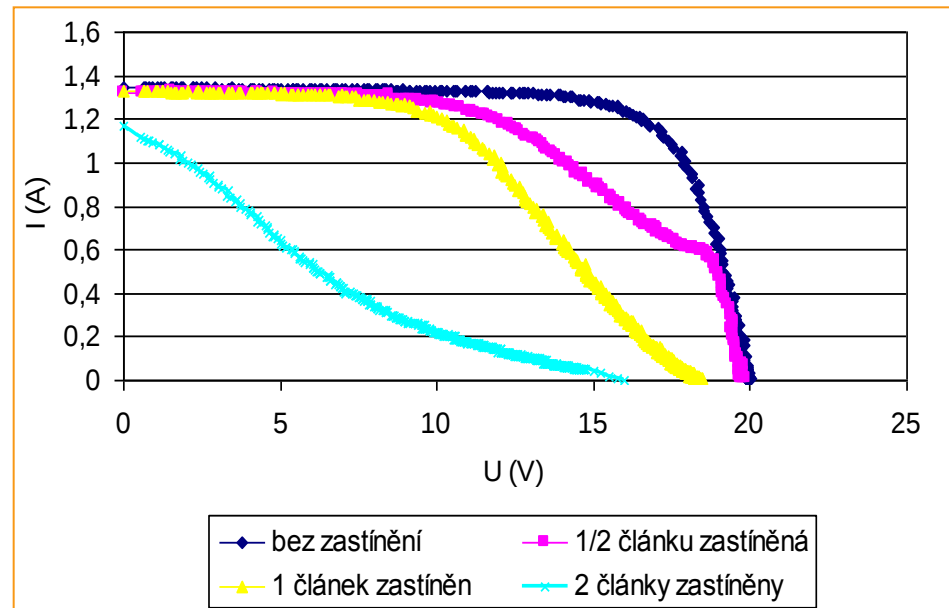


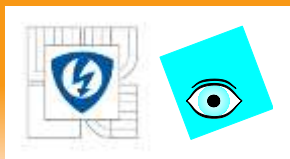
Vliv částečného zastínění – články v sérii



V případě spojení článků do série se zvyšuje sériový odpor

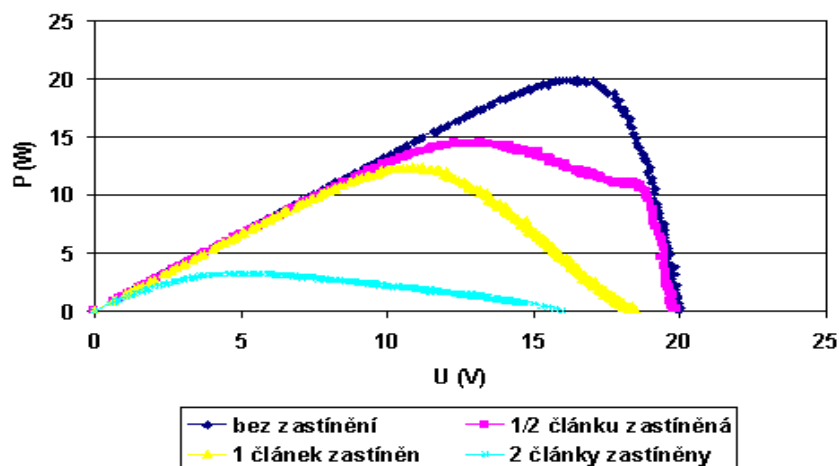
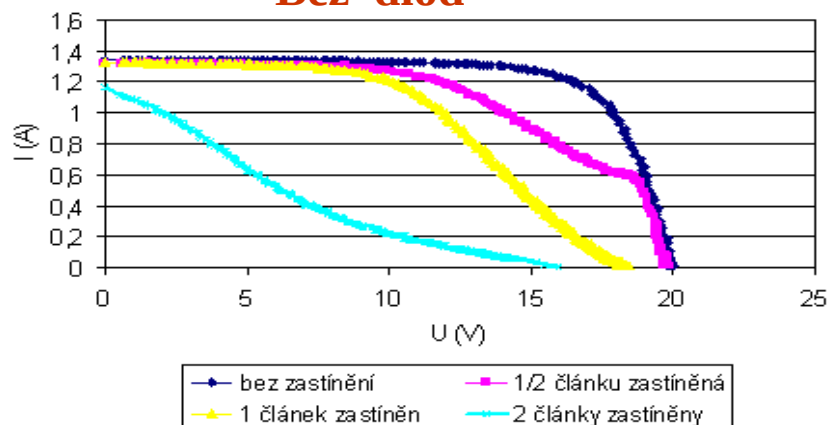
- pokles výstupního proudu
- pokles výstupního napětí
- pokles výstupního výkonu



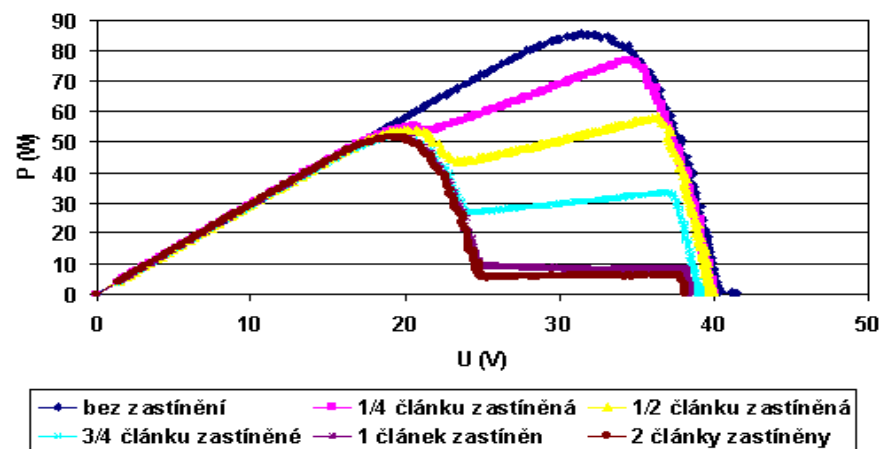
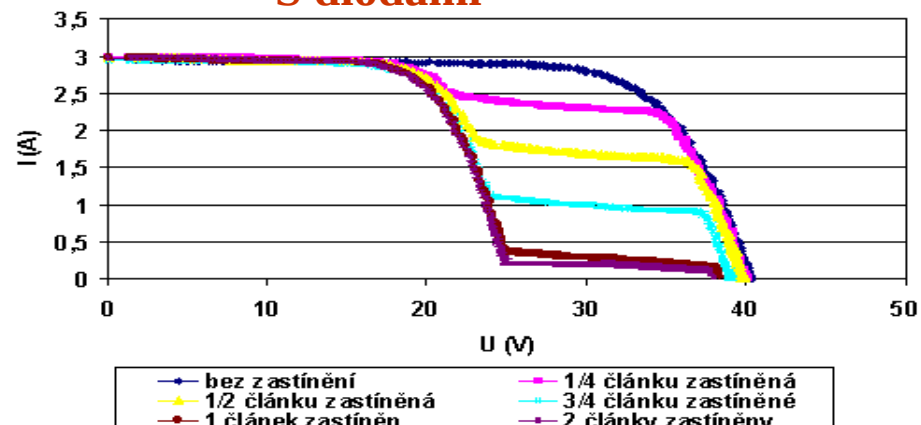


Vliv překlenovacích diod

Bez diod



S diodami

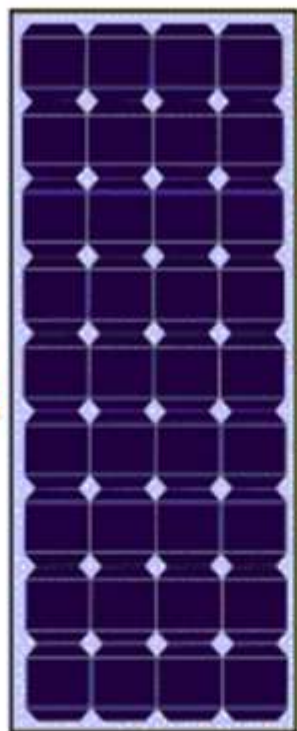


15.4.2011

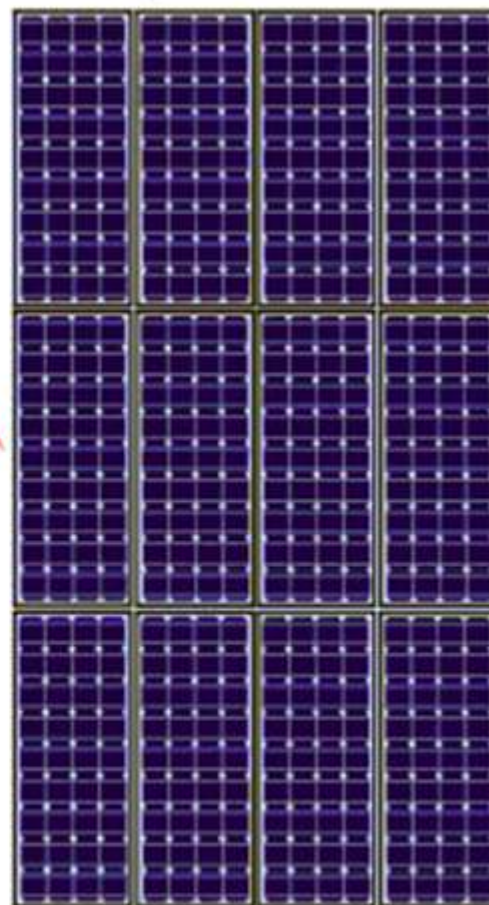
Řazení článků



FV článek



FV modul



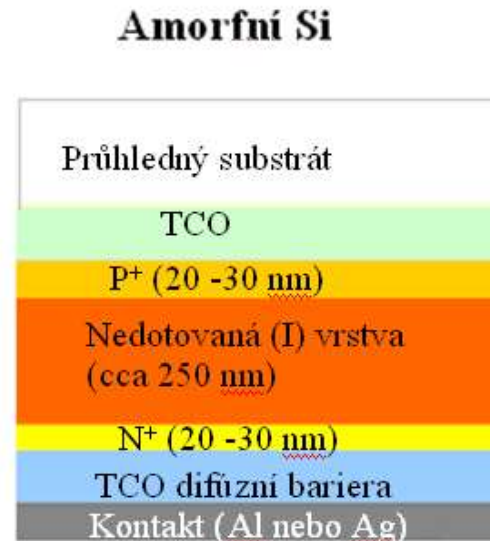
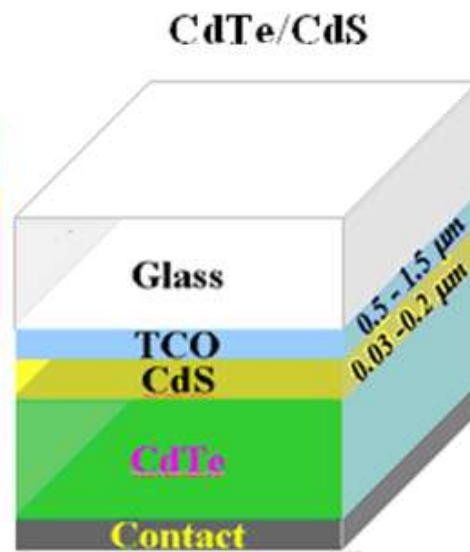
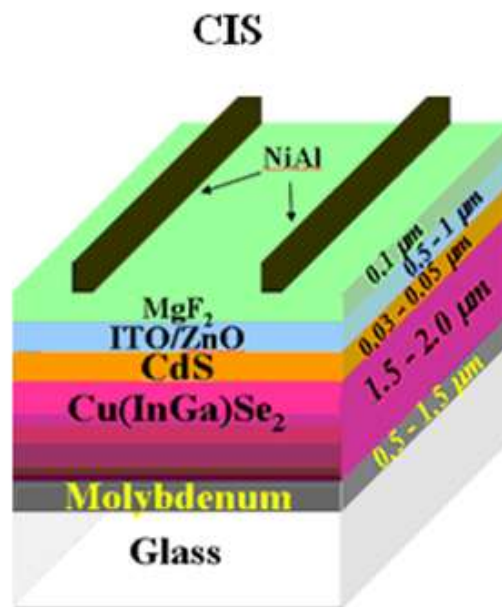
FV pole

15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Tenkovrstvé články



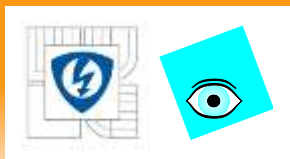
TCO (transparent conducting oxide)

SnO_2

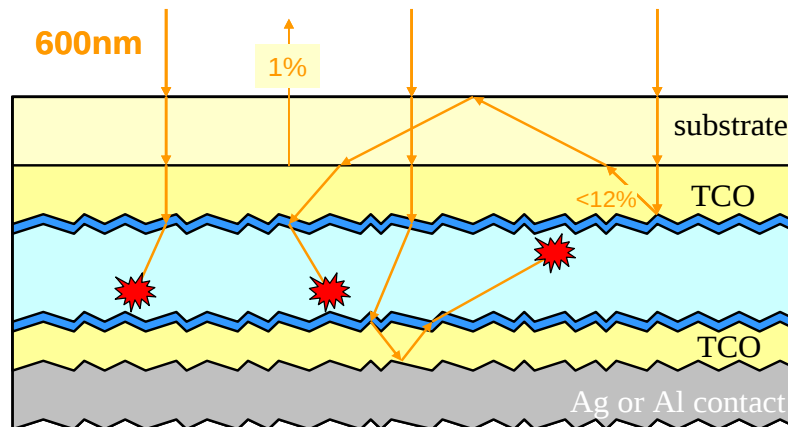
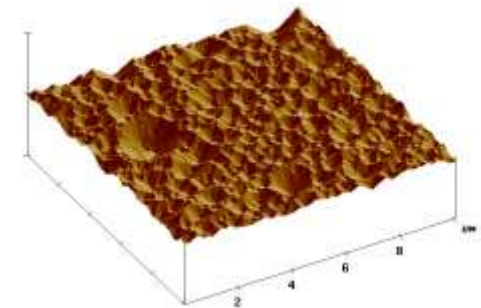
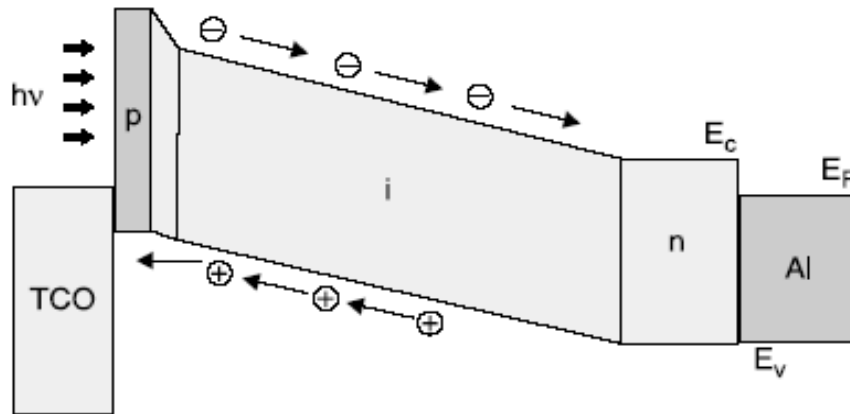
ITO

Nutný pro dosažení přijatelné hodnoty R_s

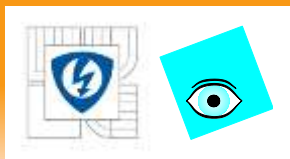
ZnO



Tenkovrstvé články



**Antireflexní vrstva
(Light trapping)**



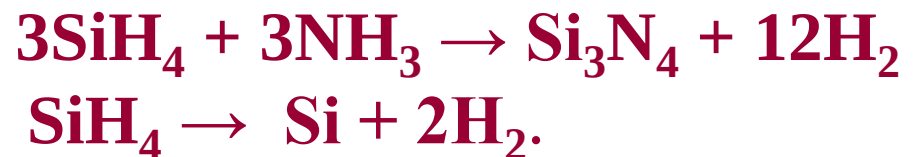
Technologie tenkovrstvých článků

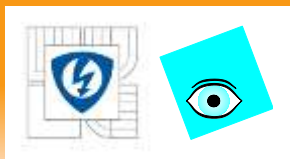
- A) Vakuové deposice
- *Napařování*
 - *Naprašování*

- B) CVD (Chemical vapour deposition)
- Chemická depozice z plynné fáze

CVD vytvoření stabilní sloučeniny na vyhřívané podložce chemickou reakcí nebo rozkladem směsi plynů

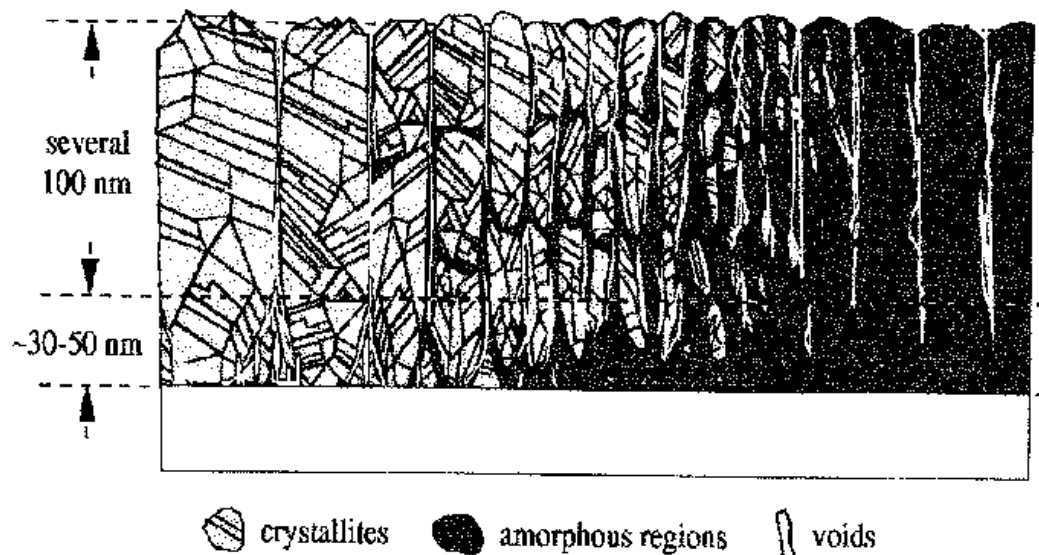
depozice nitridu křemíku
depozice křemíku





Technologie tenkovrstvých článků

Struktura deponované vrstvy závisí na složení plynu a na teplotě substrátu

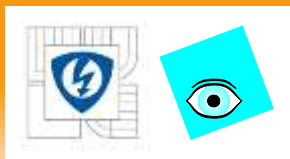


zředění

$$rH = ([H_2] + [SiH_4])/[SiH_4].$$

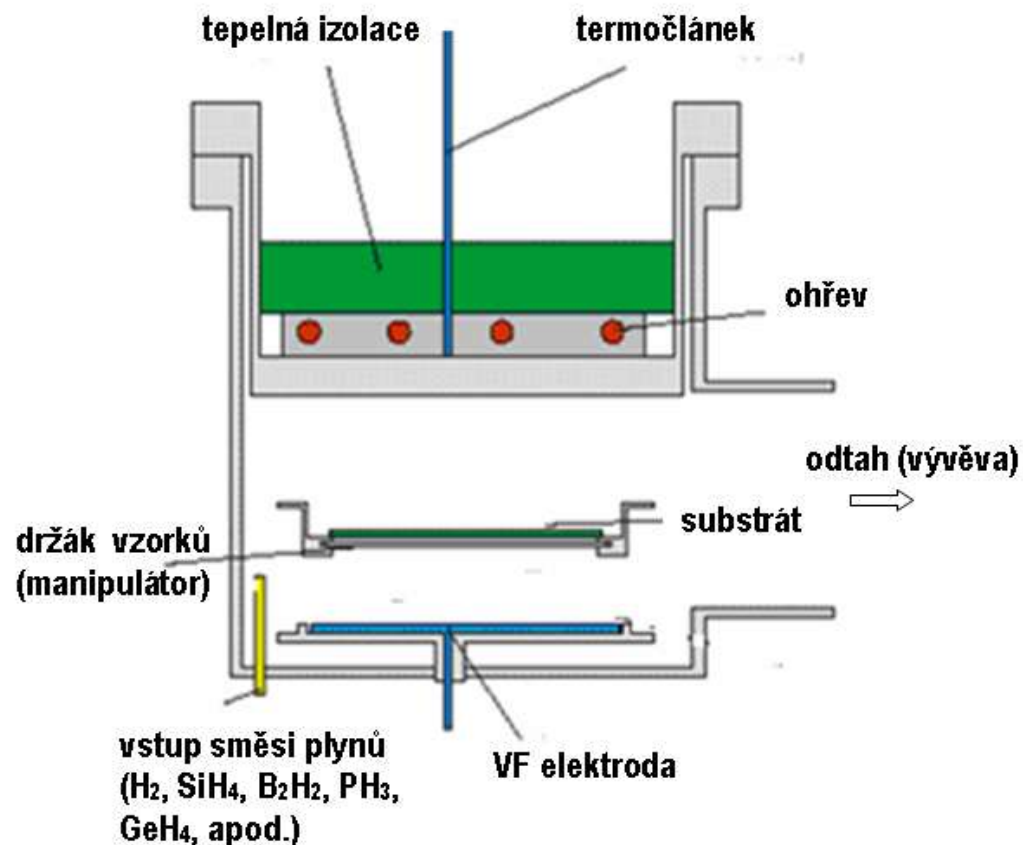
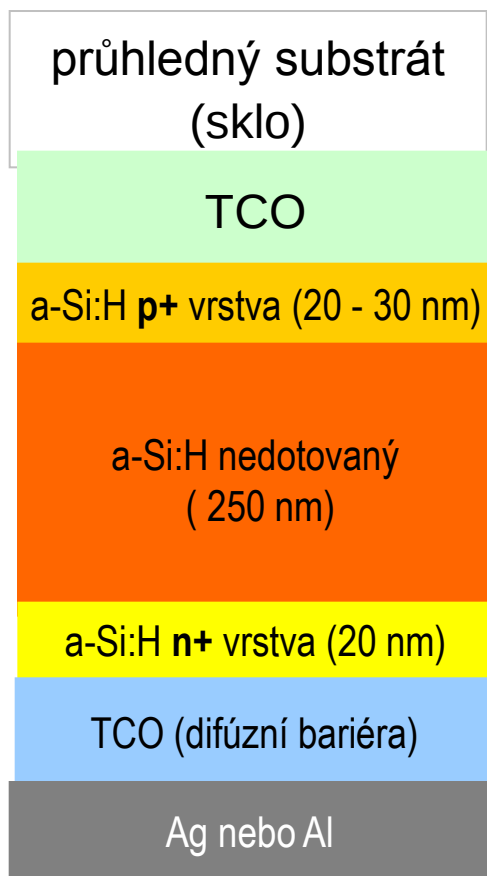
$rH < 30$, roste amorfnní vrstva

$rH > 45$, roste vrstva c-Si



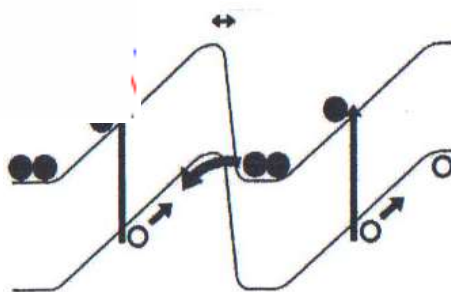
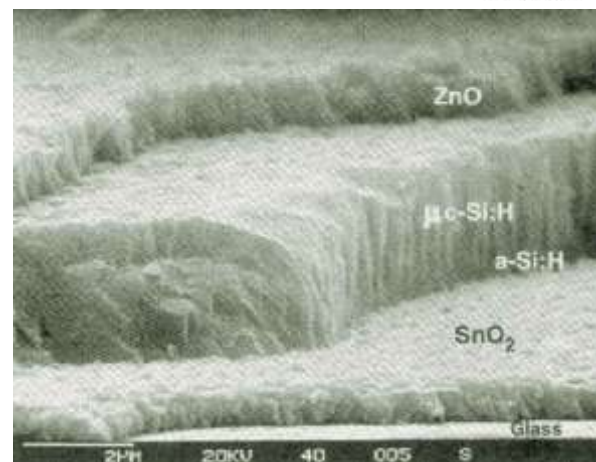
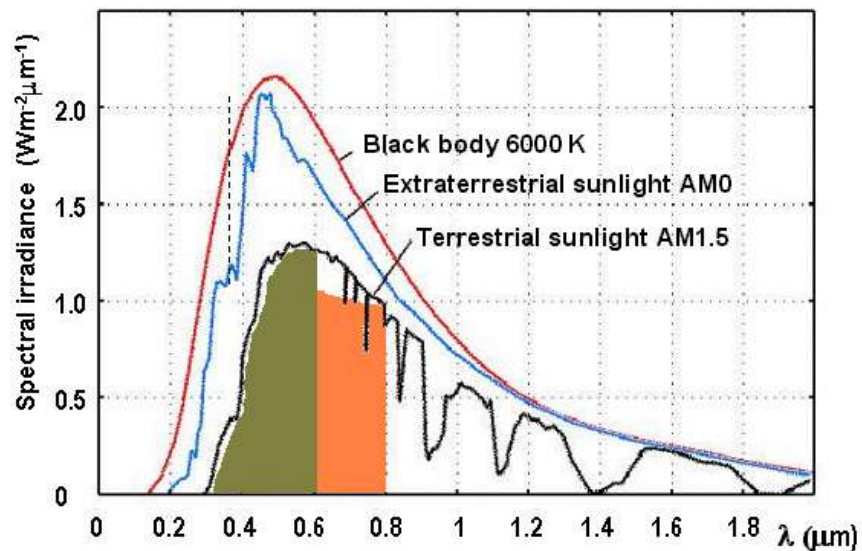
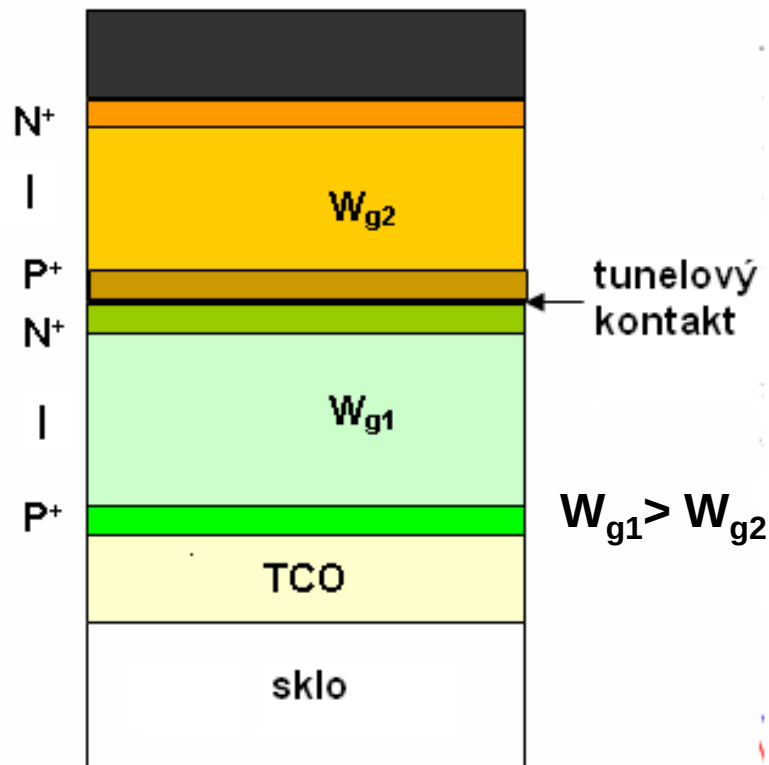
Technologie tenkovrstvých článků

Články z amorfního (mikrokystalického) Si



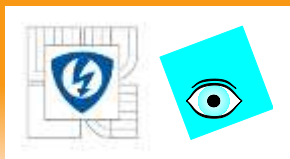


Tandemové články

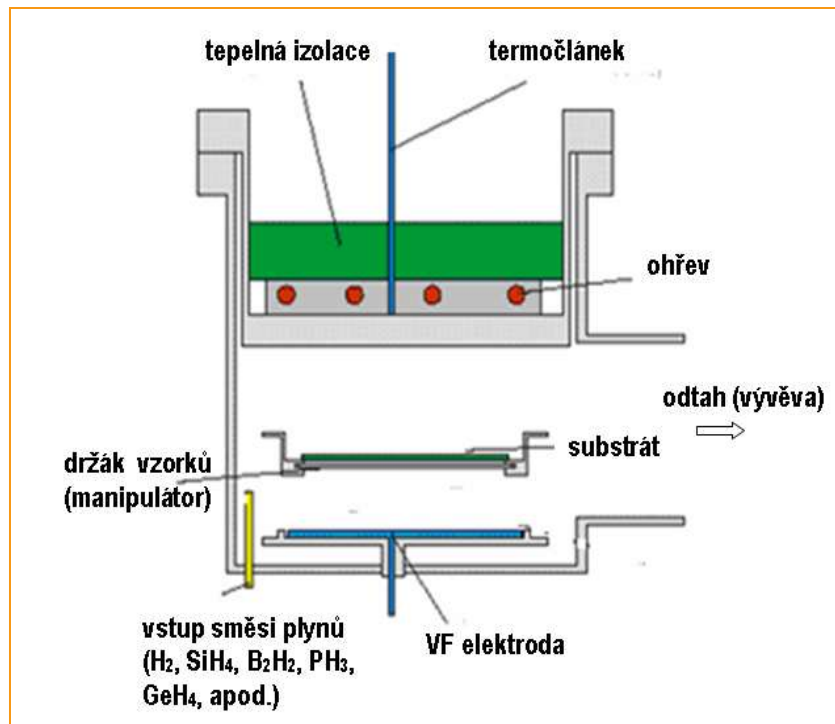
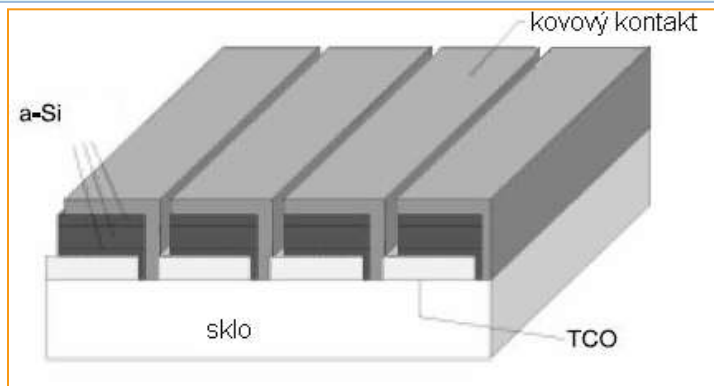
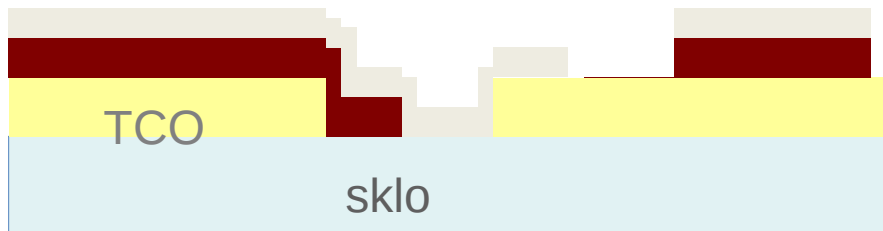


15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

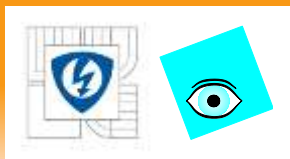


Tenkovrstvé moduly na skleněném substrátu

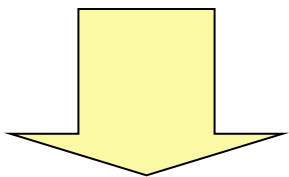


Rozměr pracovní komory depozičního zařízení musí odpovídat rozměrům modulu.

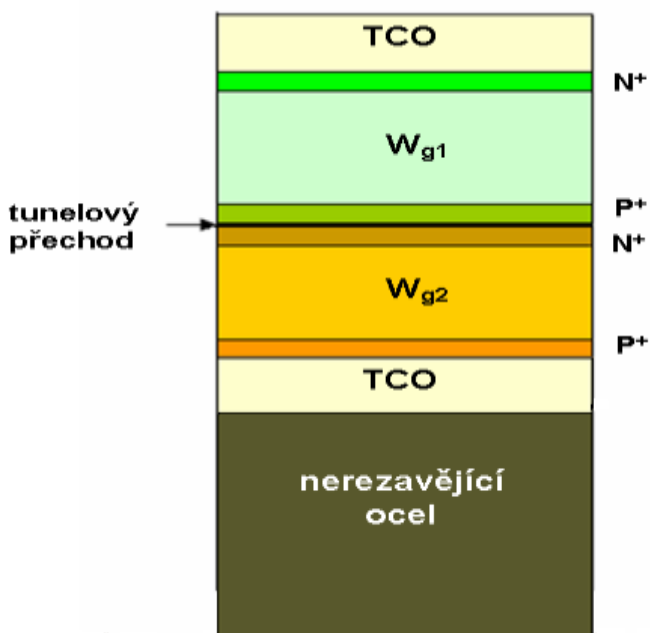
(Maximální dosažená plocha 5 m².)



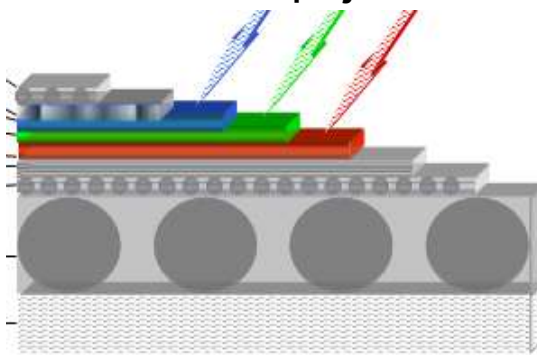
Tenkovrstvé FV články na pružném substrátu



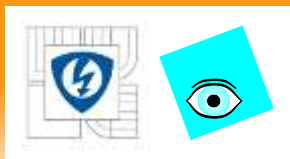
„Roll to roll“ technologie



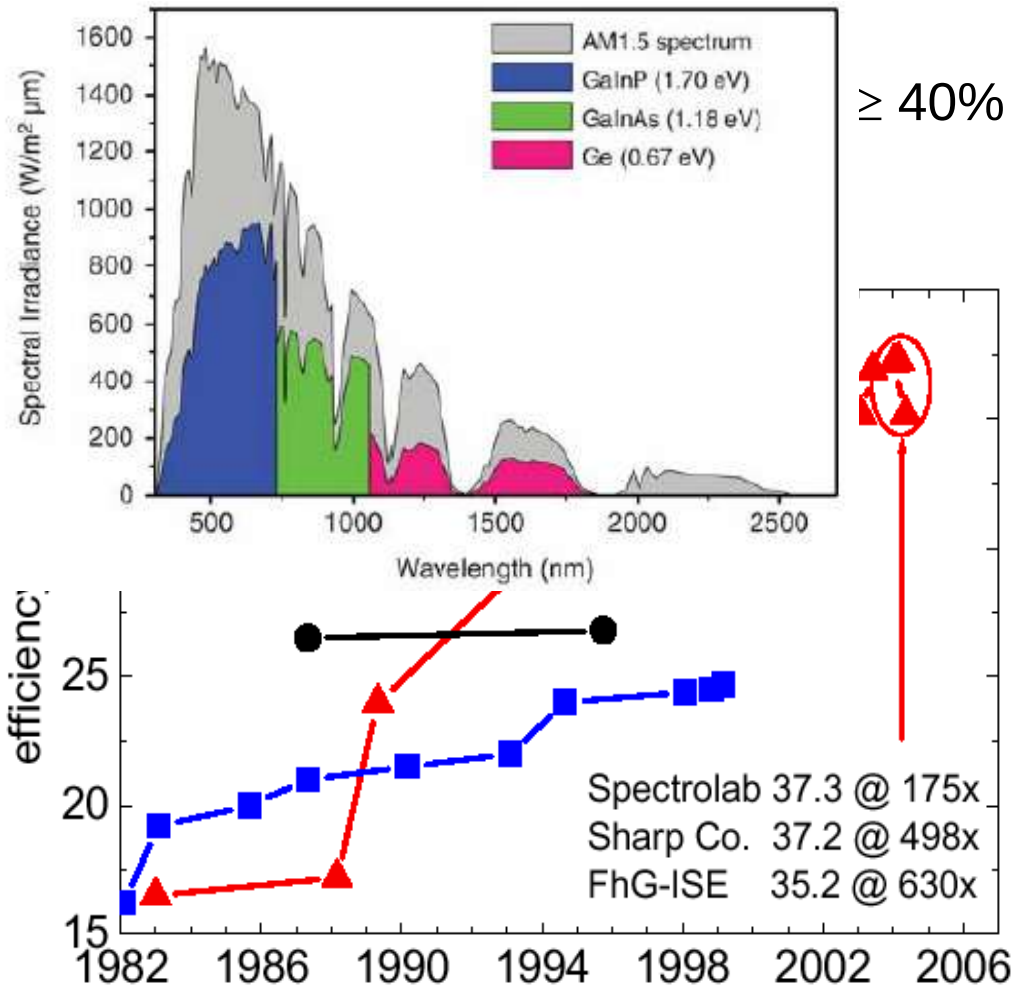
Po rozčlenění pásu se jednotlivé články spojí do modulu a zapouzdří polymery



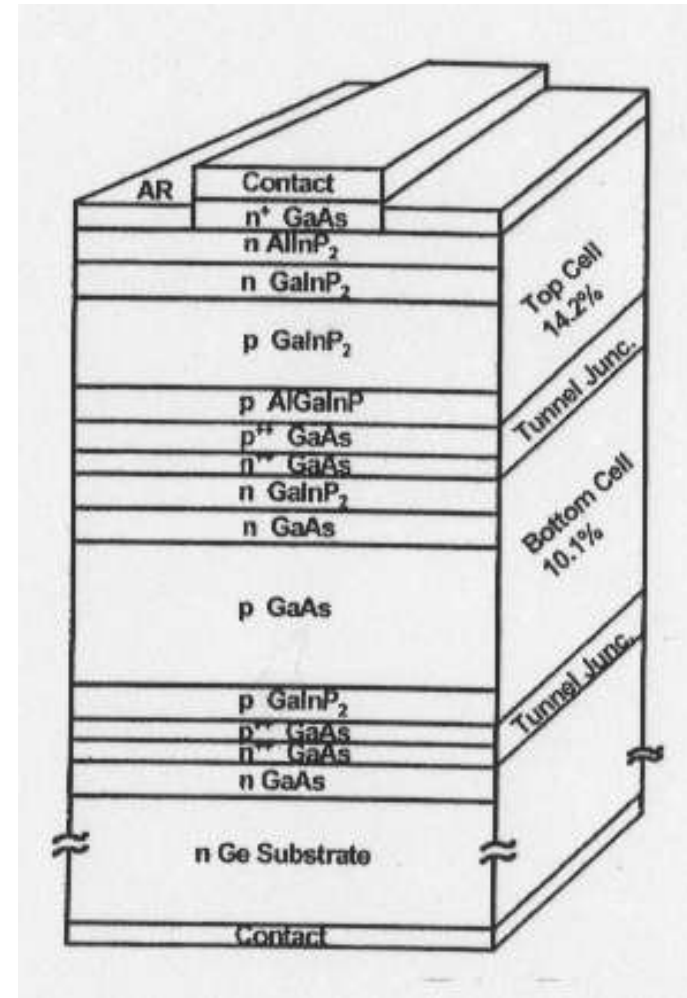
$\eta \approx 7\%$



A^{III}B^V články s vysokou účinností



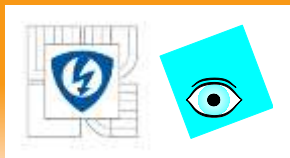
≥ 40%



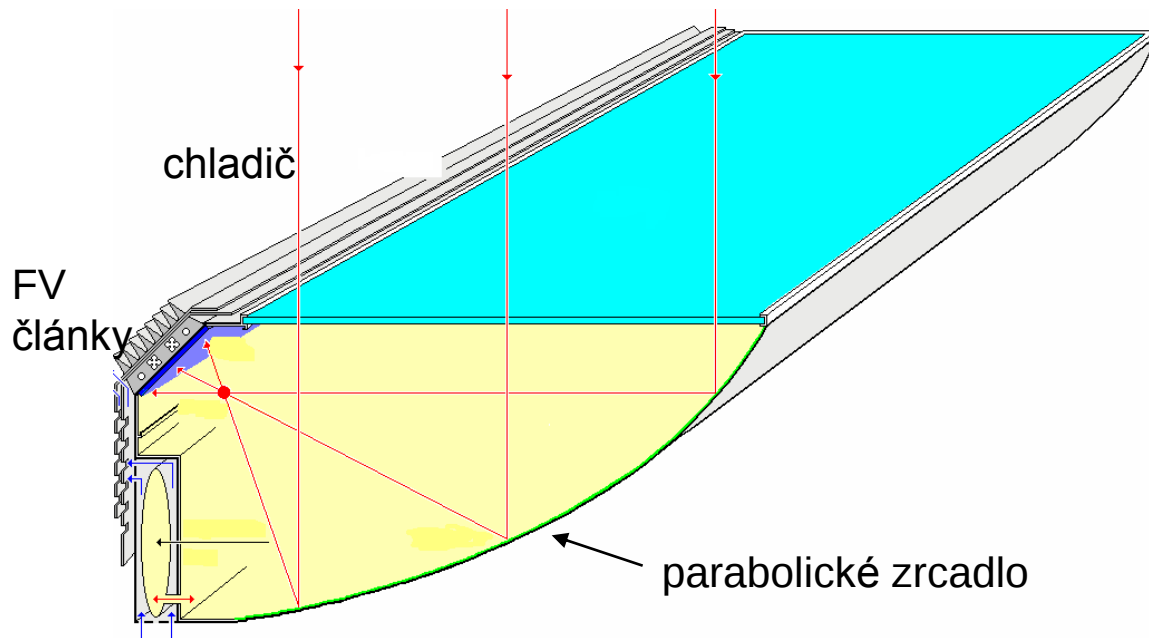
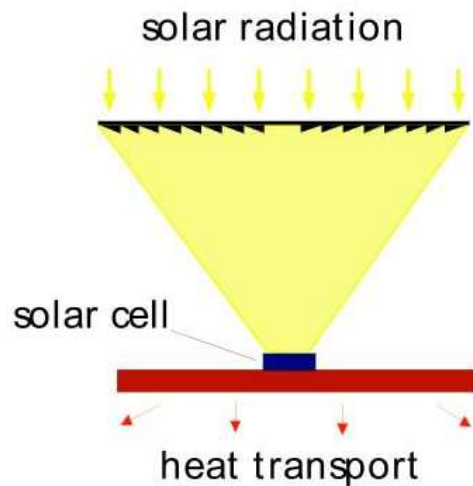
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



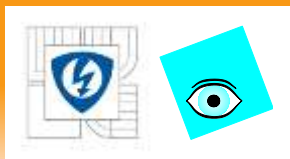


Koncentrátorové moduly

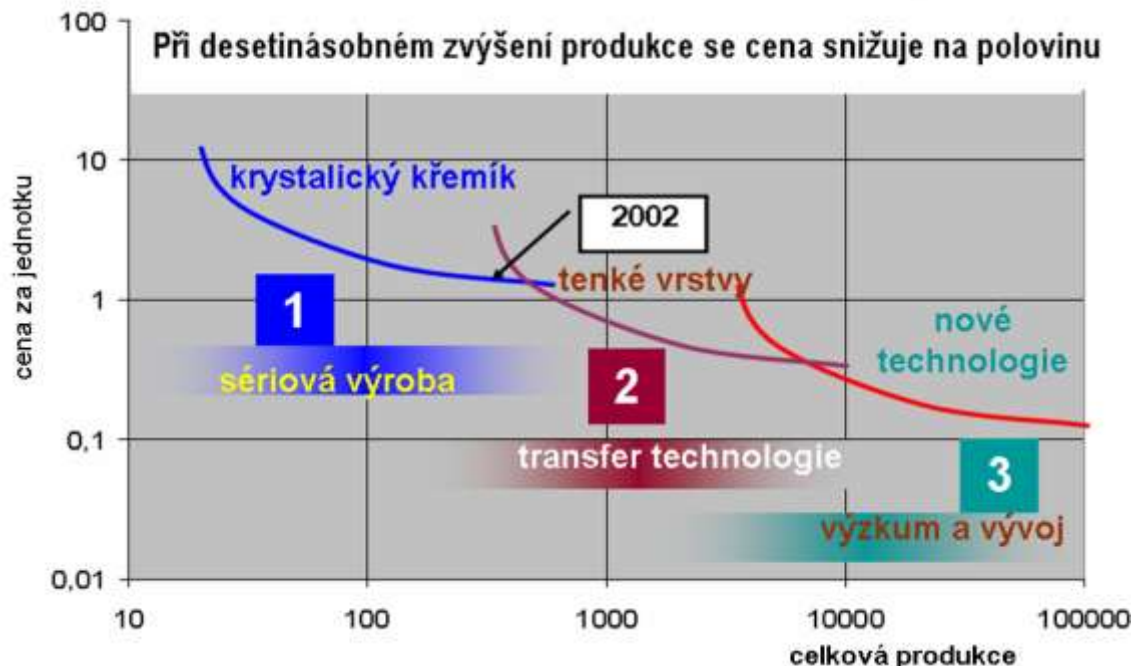
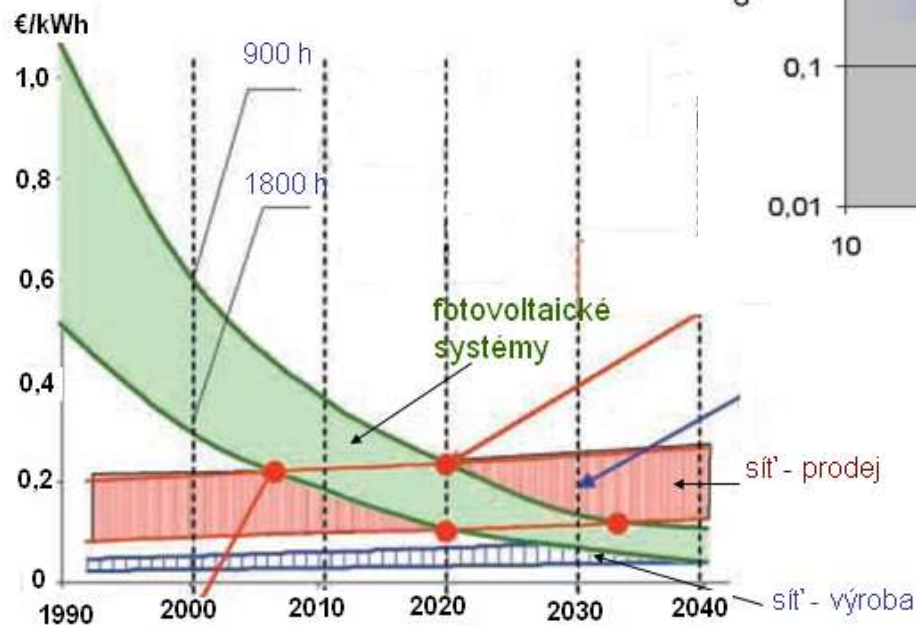


Sluneční záření musí být v optické ose

Musí být zajištěn odvod ztrátového tepla



Rozvoj fotovoltaických systémů



Ekonomický nástroj – FiT (feed-in tariff)

(výkupní cena energie taková,
aby se investice vrátila za
dobu kratší než 15 let)

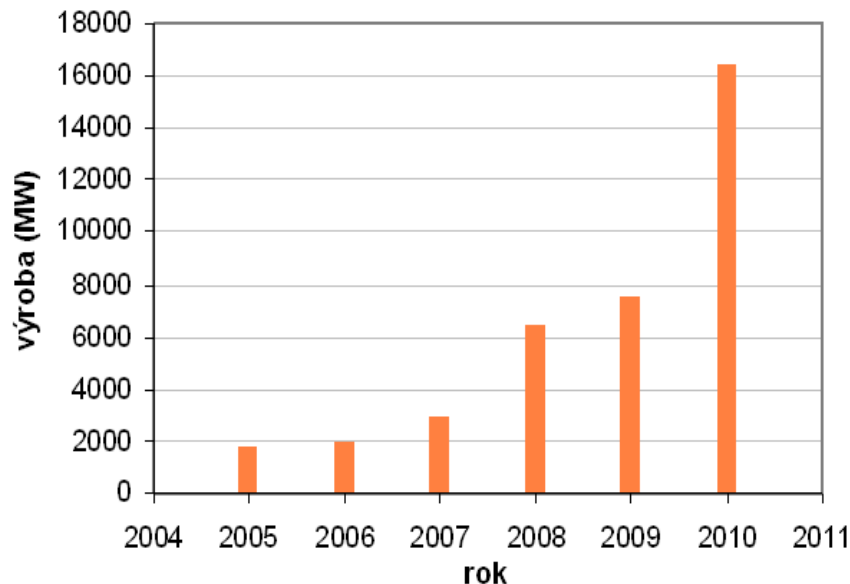
15.4.2011

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



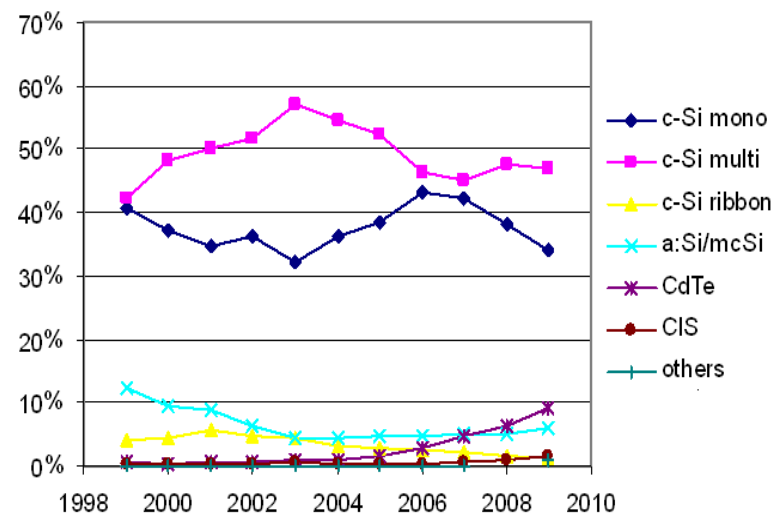
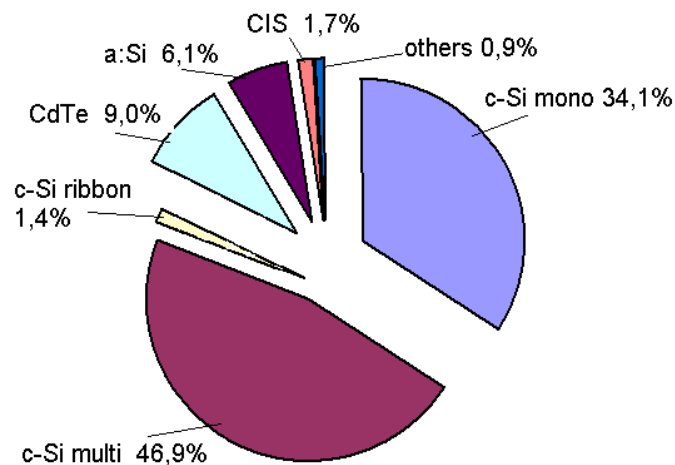


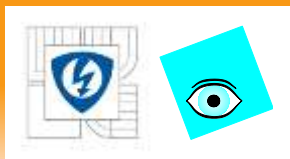
Stav výroby FV článků a modulů



V současné době instalováno

Německo 16 GW_p
Zbytek Evropy 12 GW_p
Zbytek světa 10 GW_p





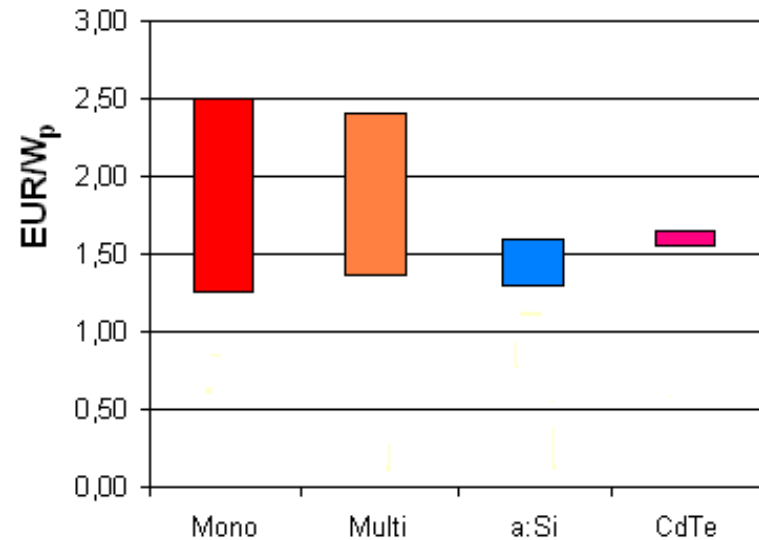
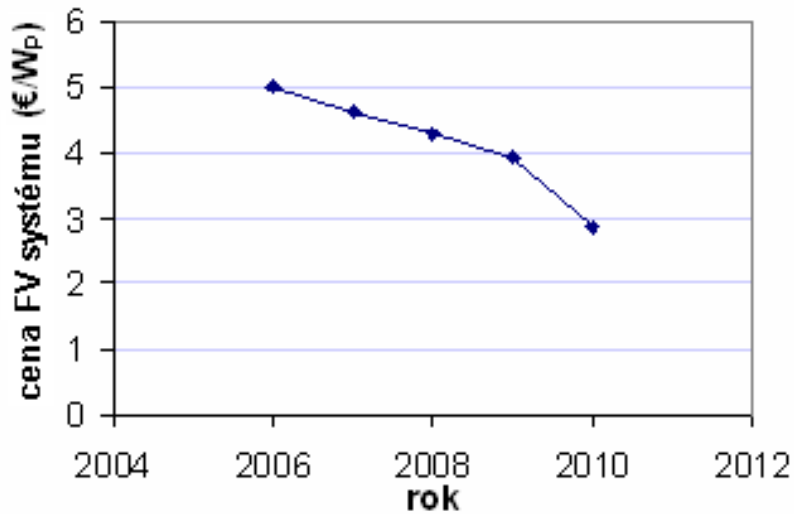
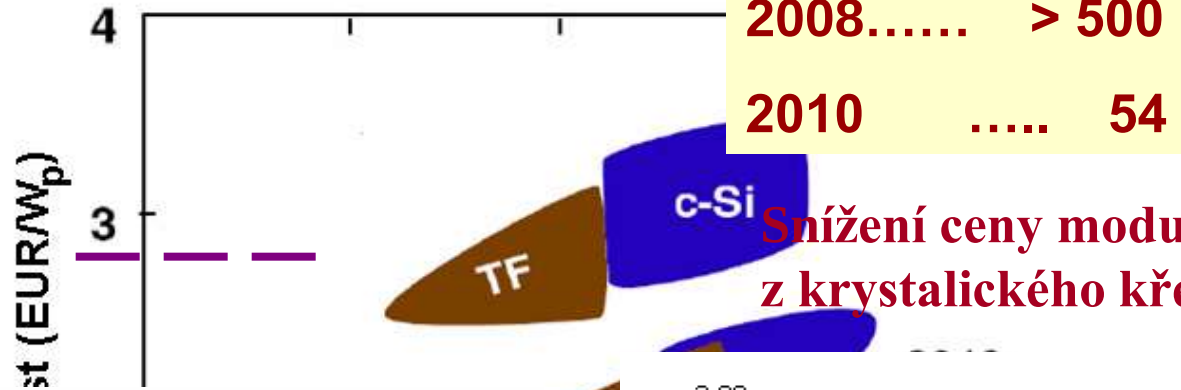
Vývoj ceny FV modulů

Podstatné snížení ceny Si:

2008..... > 500 USD/kg

2010 54 USD/kg

**Snížení ceny modulů
z krystalického křemíku**



15.4.2011

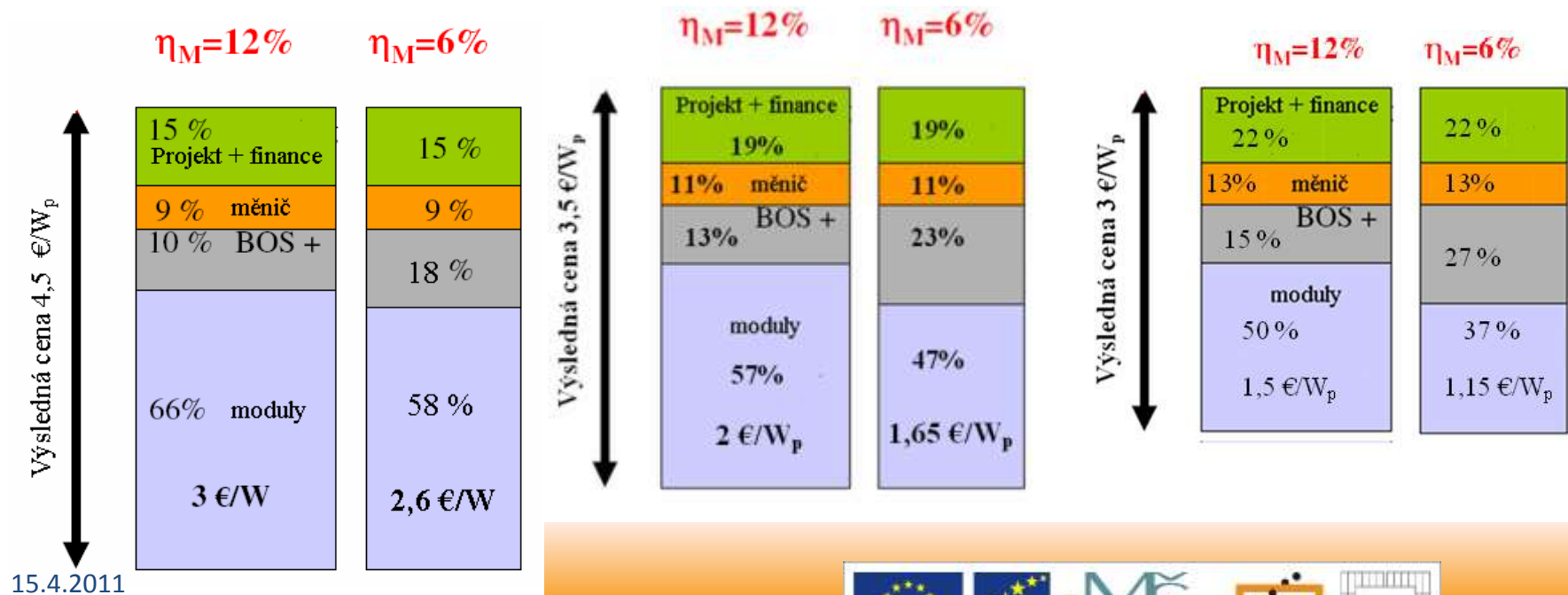
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

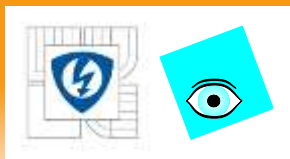




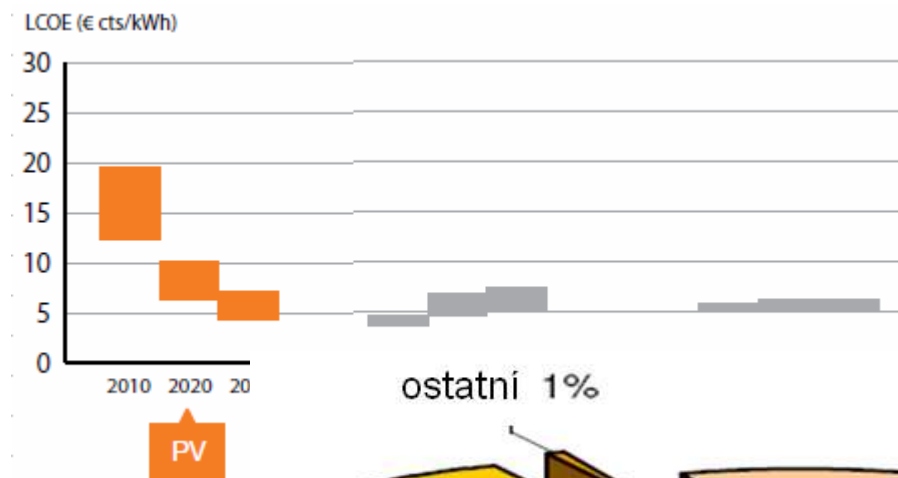
Účinnost panelů a článků

Účinnost panelů a článků						
Technologie	Tenkovrstvé				Krystalické	
	Amorfní Si	CdTe	CIS	am/mikro Si	Monokrystal	Multikrystal
Účinnost za STC*	6-7 %	8-10 %	10-11%	8%	16-17%	14-15%
Účinnost panelů					13-15%	12-14%
Potřebná plocha na kWp	15 m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	cca 7 m ²	cca 8 m ²





Předpokládaný vývoj ceny elektrické energie vyráběné FV systémy



Terrawattová éra:

