

Ekonomické aspekty fotovoltaiky

Ekonomické hodnocení PV systémů

Cena elektřiny vyrobená nějakým systémem (např. fotovoltaickým) se obvykle stanoví pomocí analýzy z hlediska životnosti systému

Je-li životnost systému n let,

$$LCOE = \frac{PC \cdot CV + n \cdot PN + RN}{VE} \quad \text{Levelized Cost of Energy}$$

PC je pořizovací cena

PN jsou průměrné roční provozní náklady

RN jsou náklady na likvidaci zařízení po ukončení provozu

VE je celková energie vyrobená zařízením za dobu životnosti

CV je vyrovnávací koeficient, zahrnující úrokovou sazbu a inflaci

Prodloužení doby životnosti FV systému snižuje cenu vyrobené energie

Pořizovací cena fotovoltaického systému *PC* zahrnuje

- cenu projektu
- cenu FV modulů
- cenu měničů
- cenu monitorovacích a zabezpečovacích zařízení
- cenu konstrukcí a kabeláže (včetně montáže)
- cenu systému pro akumulaci energie

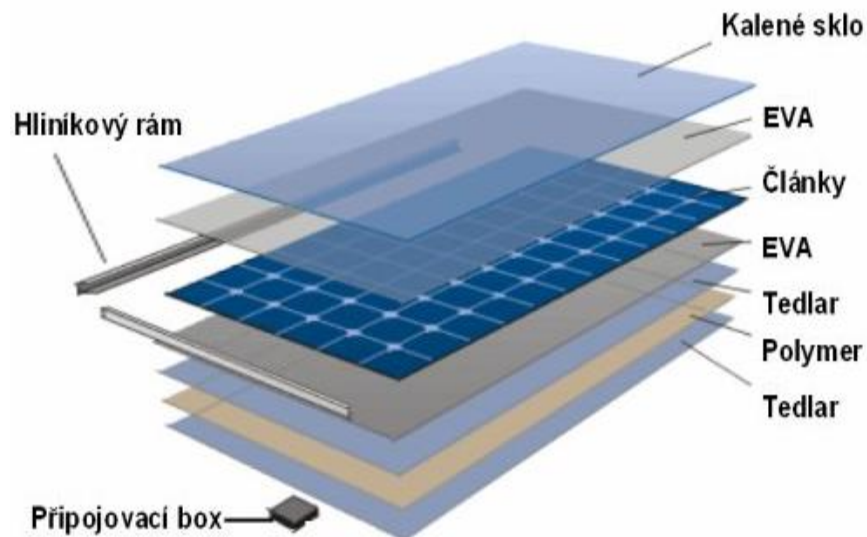
Provozní náklady fotovoltaického systému *PN* zahrnují

- náklady na údržbu (např. občasné čištění modulů, kontrola jednotlivých částí (případná výměna vadných dílů), údržba plochy, apod.
- náklady spojené s periodickou výměnou měničů (pokud je jejich životnost kratší než životnost celého systému)
- náklady spojené s periodickou výměnou akumulátorů (pokud je jejich životnost kratší než životnost celého systému)

Náklady na likvidaci zařízení po ukončení provozu zahrnují:

- demontáž modulů, odstranění konstrukcí, odstranění kotvicích prvků, rekultivace pozemku
- recyklace vyřazených částí ze zrušené fotovoltaické elektrárny

FV moduly z krystalického Si



- Hliníkový rám : 12%
- Sklo : 70%
- Plasty : 12%
- Křemík : 4%
- Kovy : 1%
(Cu,Ag,Al,Fe,Pb,Sn)
- z toho **Ag 0,06-0,2%**

Postupy recyklace

První operací je mechanická demontáž Al rámu. Následuje :

1. TERMICKÁ DEGRADACE PLASTU

Vhodné pro jednodruhové a nerozbité panely. U rozbitých se ztrácí výhoda snadného oddělení skla.

2. DRCENÍ A MLETÍ NA JEMNOU DRŤ (pod 1 mm)

elektrodynamické třídění vodičů (Si, kovy) a nevodičů (sklo, plast)
Efektivní z hlediska dělení, náročné provozně, výstupem jemná drť skla a jemná drť plastů

3. VÍCESTUPŇOVÉ DRCENÍ A TŘÍDĚNÍ

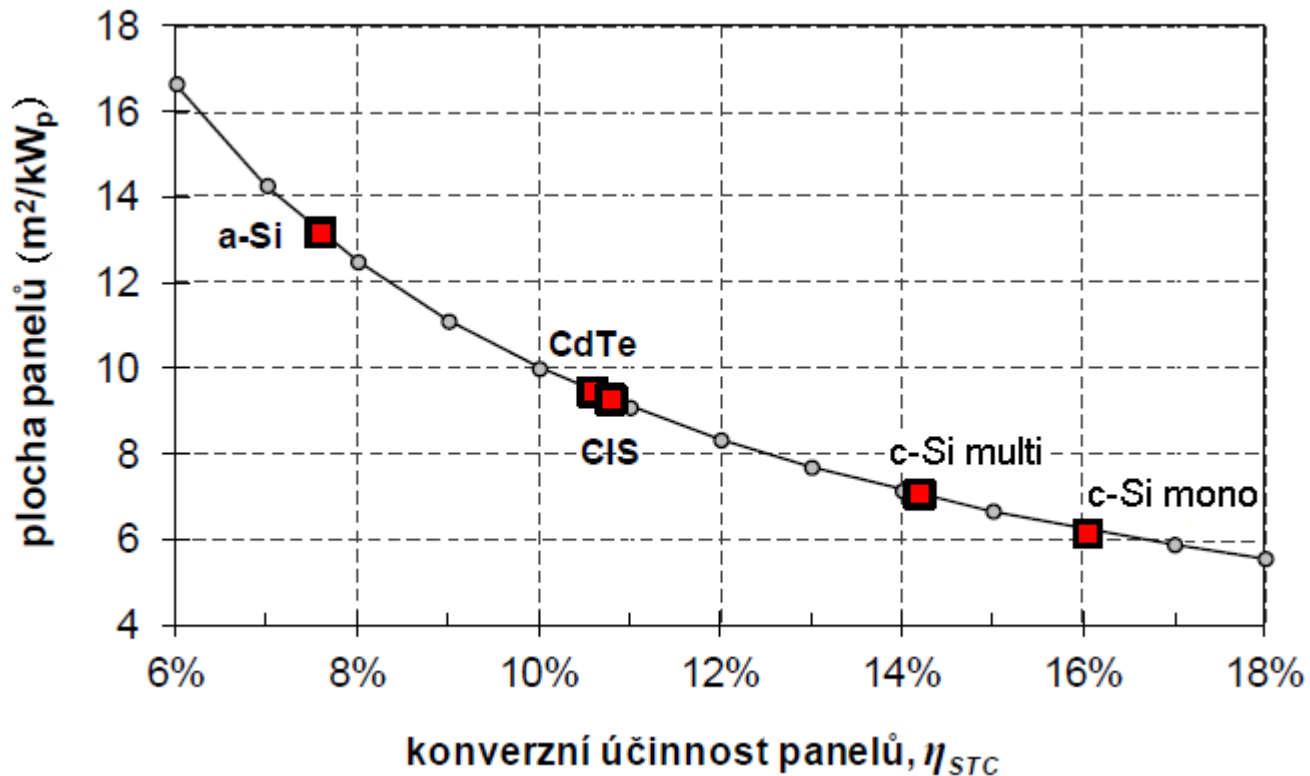
- Plně mechanizováno s vysokým výkonem, zpracování mokrou chemickou cestou (rozpouštění kovů v kyselinách).

•Výstupy		Kg	Náklady	Výnosy	Bilance
vstup 1000 kg FV			pořízení	Z prodeje	V Kč
Hliníkové rámy	demontáž	120	1200	3600	2400
Sklo hrubé	třídění	600	3000	1500	-1500
plasty+Si+drátky	spálení	120	1500	>1500	> 0
Sklo jemné+plast+Ag	třídění	160	800	0	-800
Náklady chemie		Ag	5000		
Obsah Ag 0,06%	rafinace	0,6	2500	9000	0
Obsah Ag 0,13%	rafinace	1,3	5000	19500	8.000 Kč zisk
Obsah Ag 0,20%	rafinace	2,0	7500	30000	16 000 Kč zisk

Pro výběr modulů mohou být různá kritéria:

- a) **Cena** – obvykle se vztahuje k maximálnímu výkonu při STC
udává se v ceně za jednotku výkonu; např. €/W_p
- b) Provozní výkonnost
- c) Potřeba plochy na jednotku výkonu (účinnost)
- d) Tíha modulů, montovatelnost
- e) Životnost modulů

Potřeba plochy na jednotku výkonu závisí na účinnosti modulů



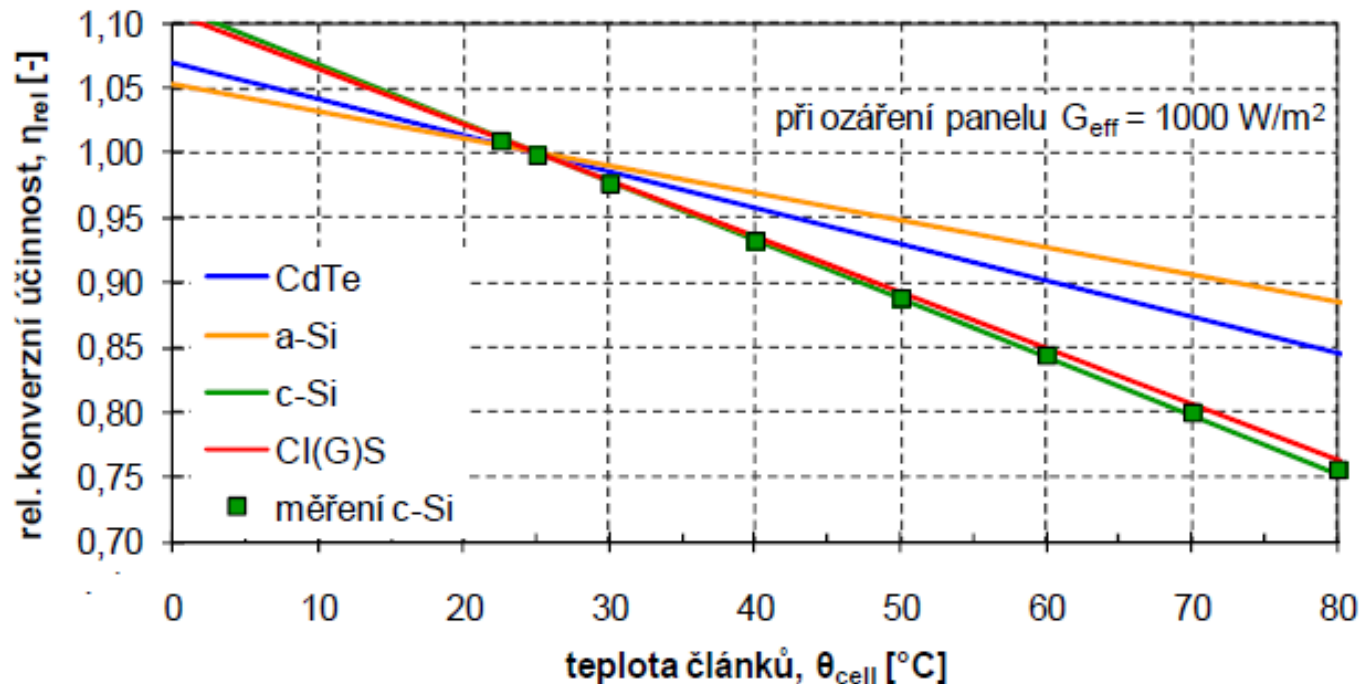
S potřebou plochy na jednotku výkonu souvisí
potřebná plocha konstrukcí a délka kabeláže

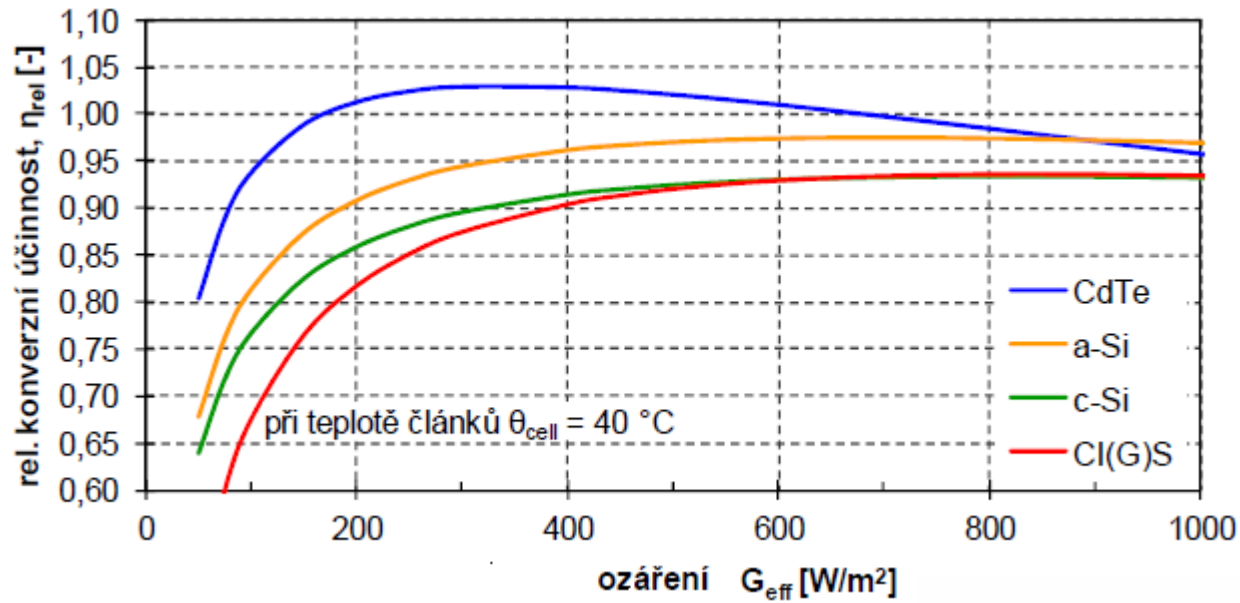
Udává se, že nárůst účinnosti modulů o 1% snižuje náklady na BOS až o 6 %

Energetická výtěžnost

Udává se jako poměr energie vyrobené modulem
(v dané lokalitě) za rok a výkonu modulu při STC (kWh/kW_p)

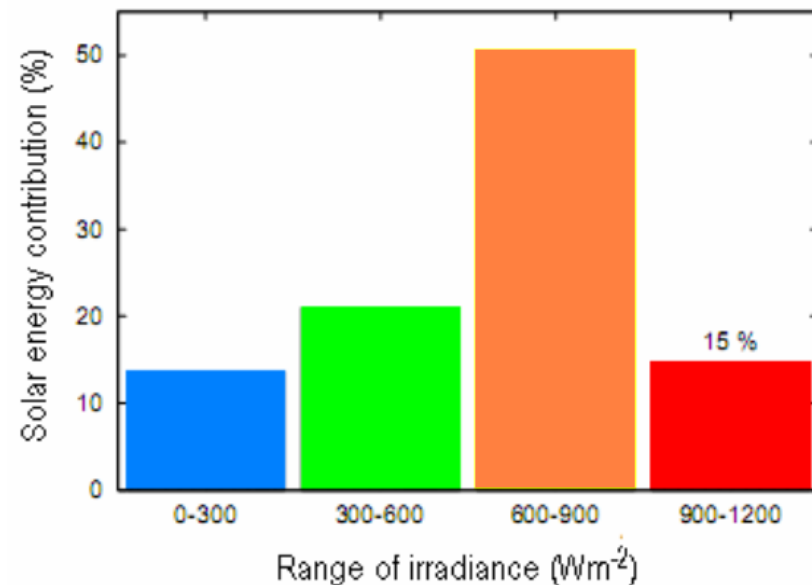
U jednotlivých typů modulů je různá závislost účinnosti na teplotě a ozáření
v závislosti na materiálu a technologii

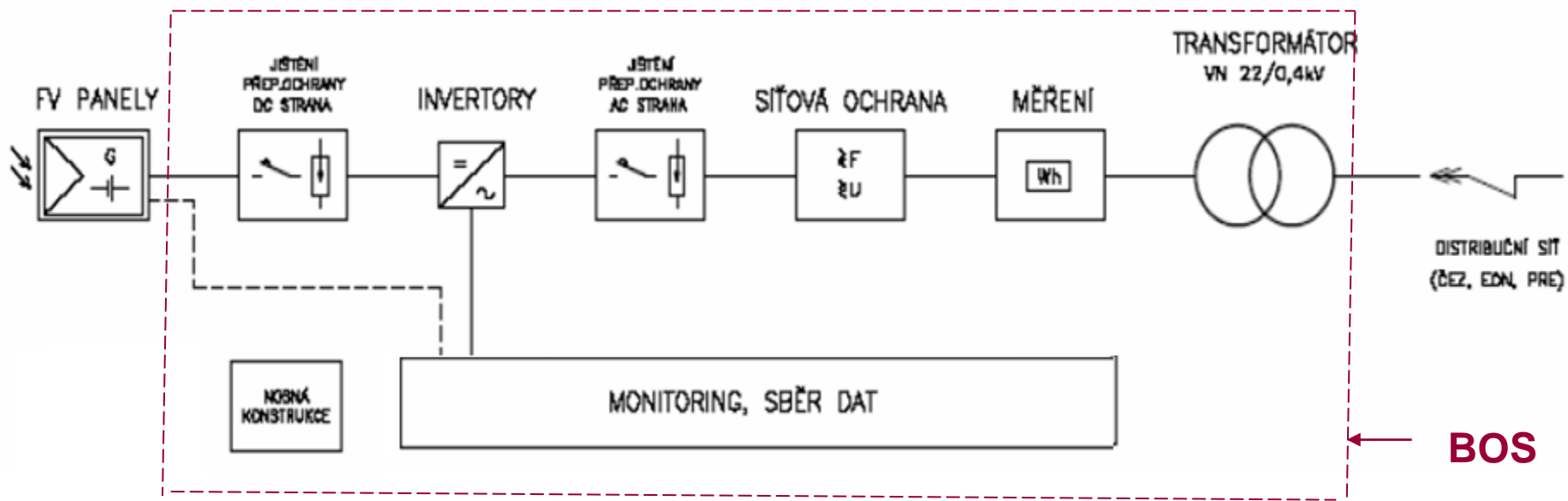




Relativní energetická výtěžnost je při nízkých úrovních ozáření nejvyšší u modulů z CdTe

Vzhledem k tomu, že nejvíce energie dopadá při ozáření vyšším než $600 \text{ } W/m^2$, není to příliš velká výhoda

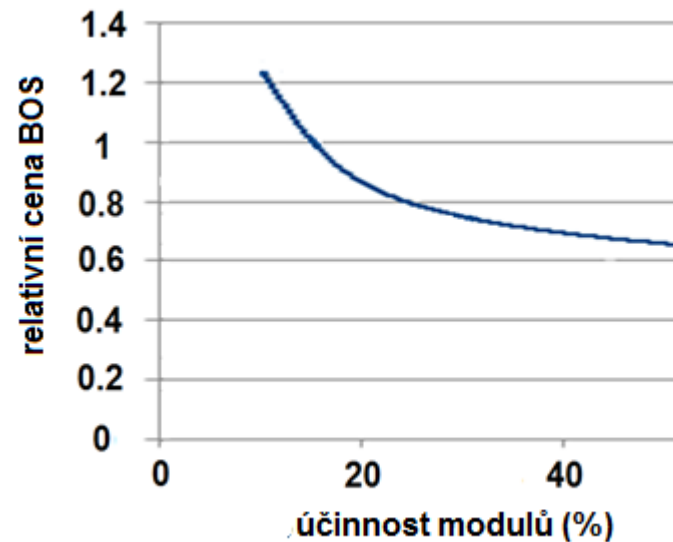




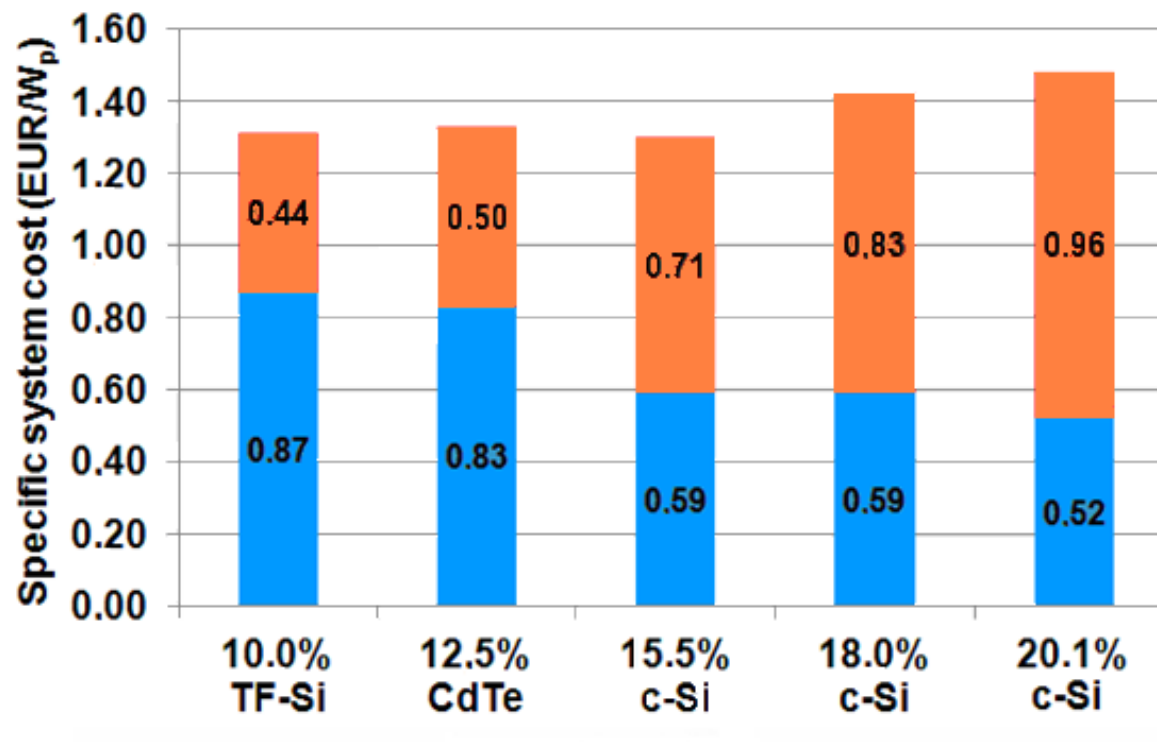
Zvýšením účinnosti modulů se snižuje spotřeba materiálů

Cena BOS roste s plochou systému

Zvýšením účinnosti modulů klesá cena BOS



10 MW_p, na pevných konstrukcích, Evropa, 2012



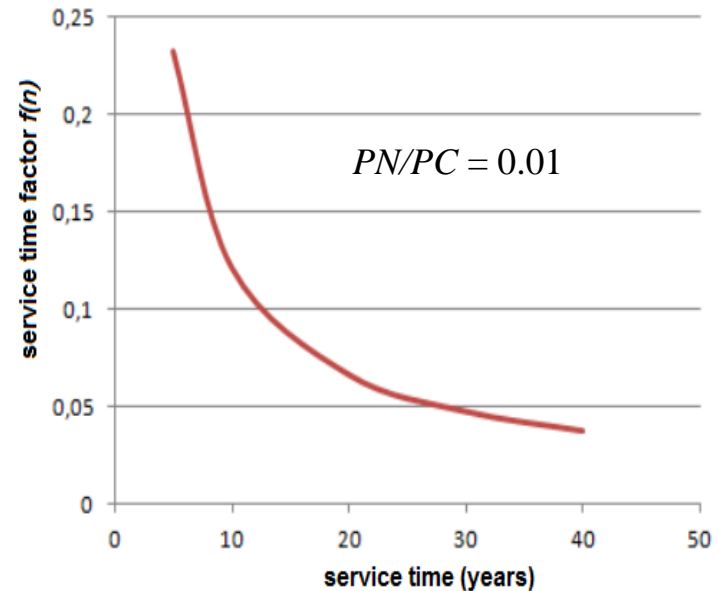
Důležité:

Zvyšovat účinnost modulů bez výrazného zvýšení ceny za jednotku výkonu

Vliv doby provozu (životnost)

$$LEOC \approx \frac{PC \left(1 + \frac{PN}{PC} n \right)}{VE_1 \times 0.9n} = \frac{PC}{VE_1} f(n)$$

$f(n)$ je faktor doby provozu



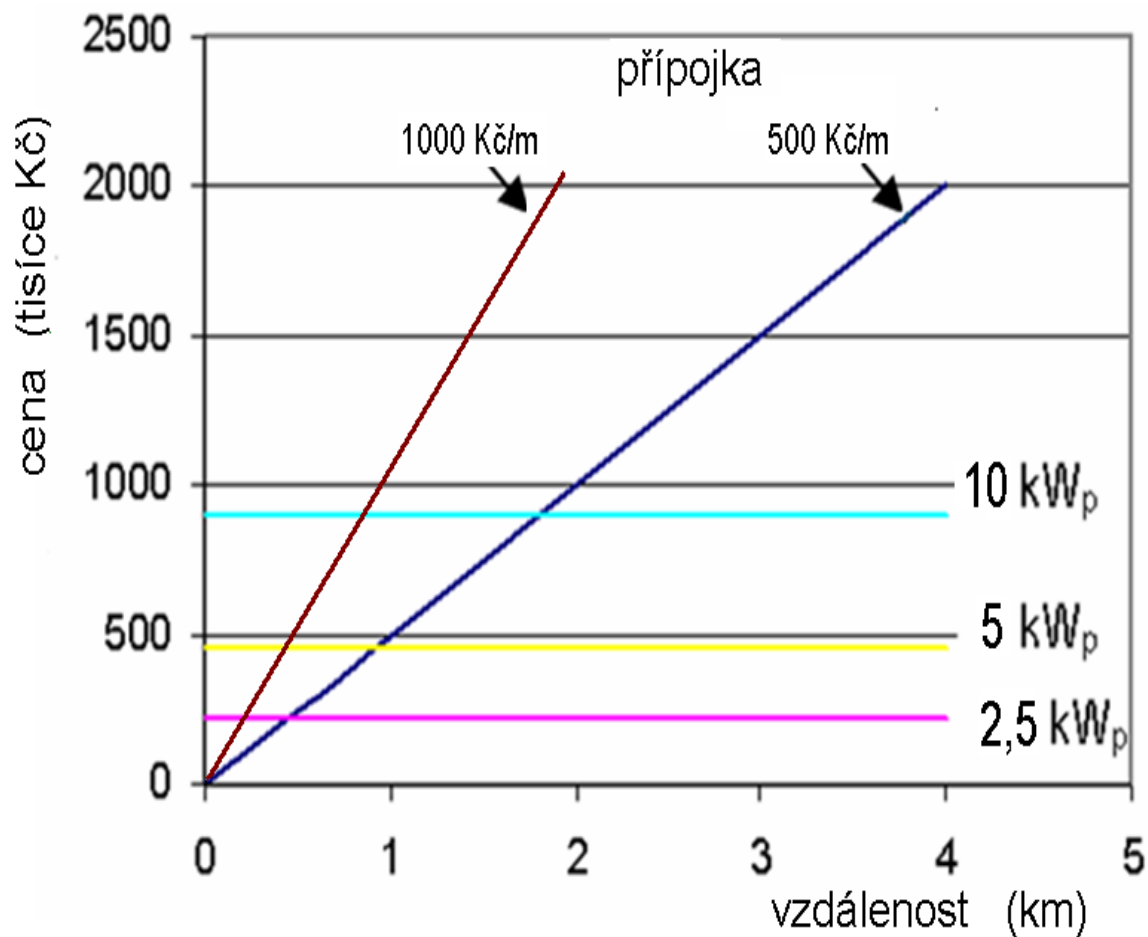
Požadavky na PV moduly:

- **nízká cena**
- **vysoká účinnost**
- **dlouhá životnost**

Články z polymerových materiálů a DSSC dosud nemají dostatečnou životnost

Energetická výtěžnost

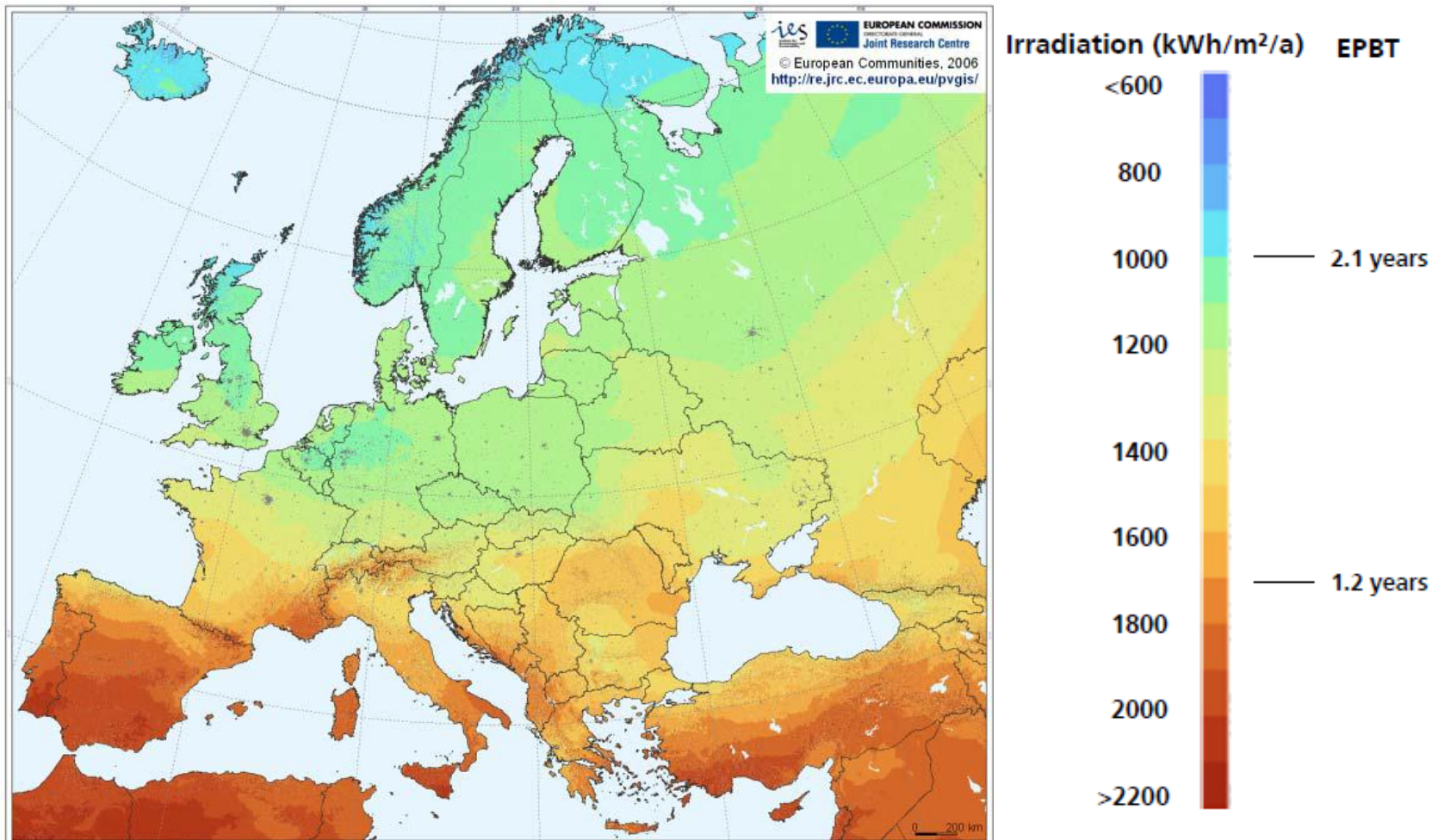
Porovnání ceny autonomního FV systému s cenou přípojky

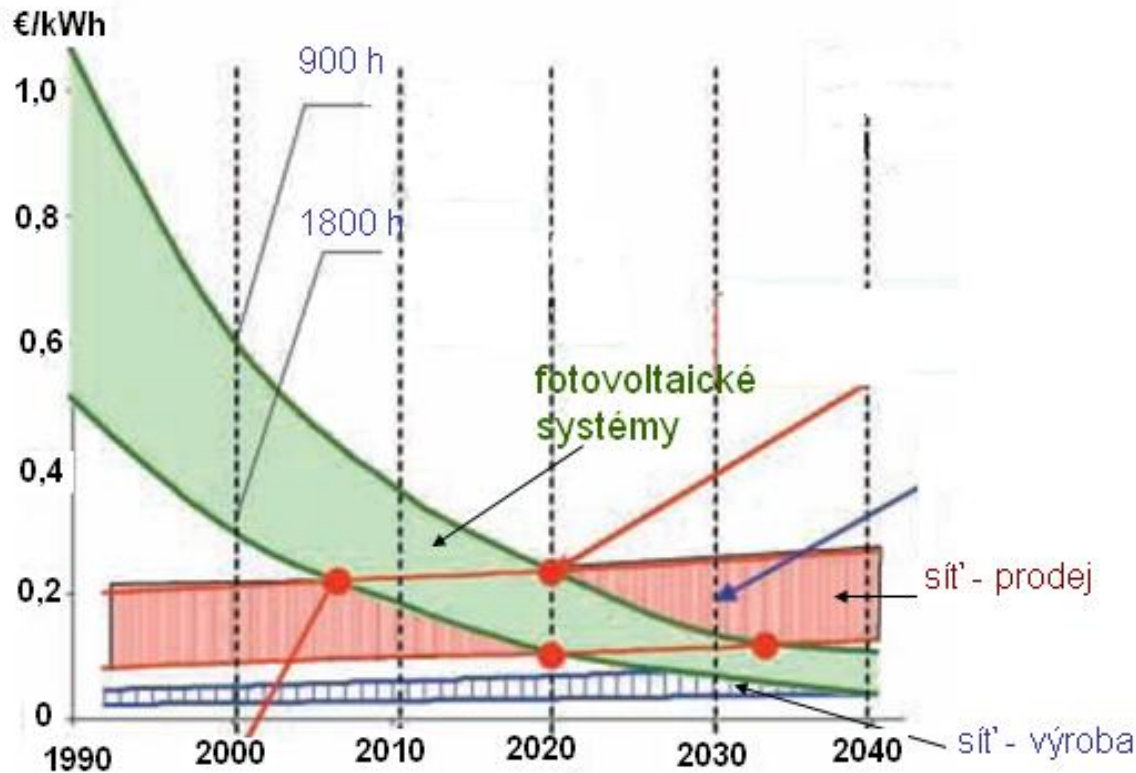
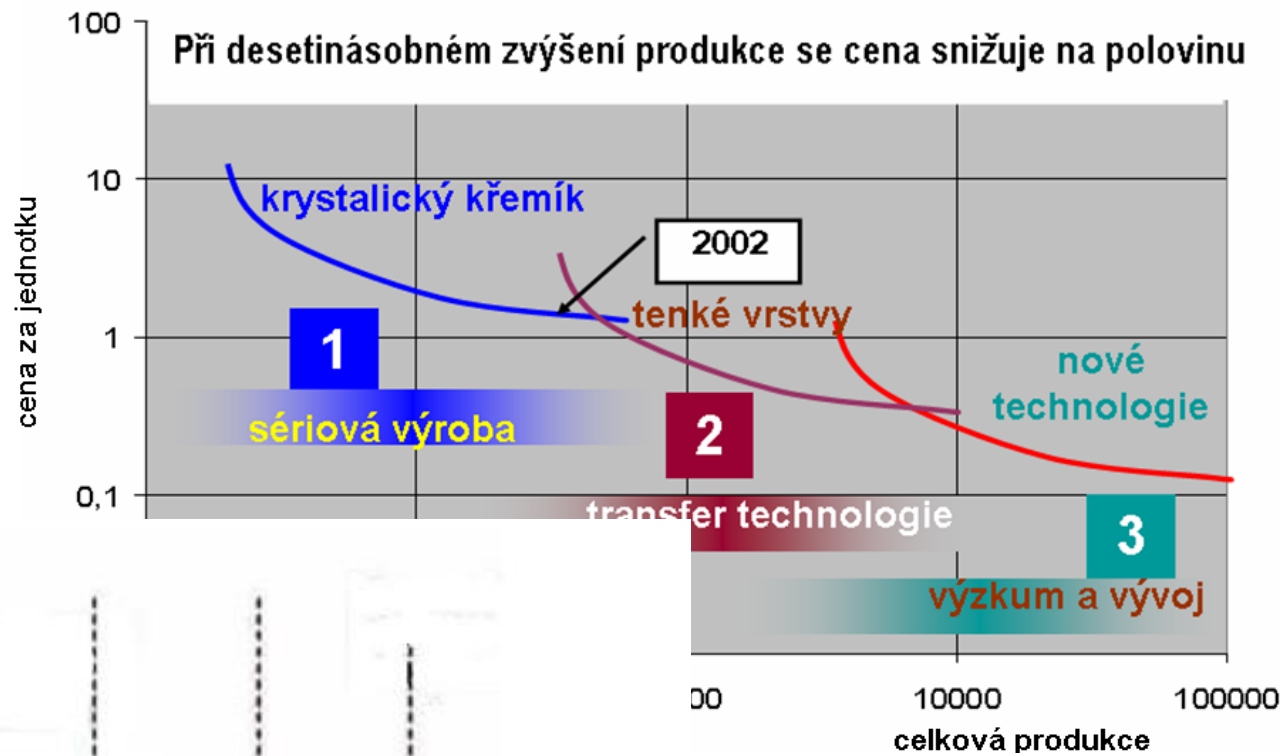


Doba energetické návratnosti

Závisí na množství sluneční energie v dané lokalitě a na způsobu aplikace

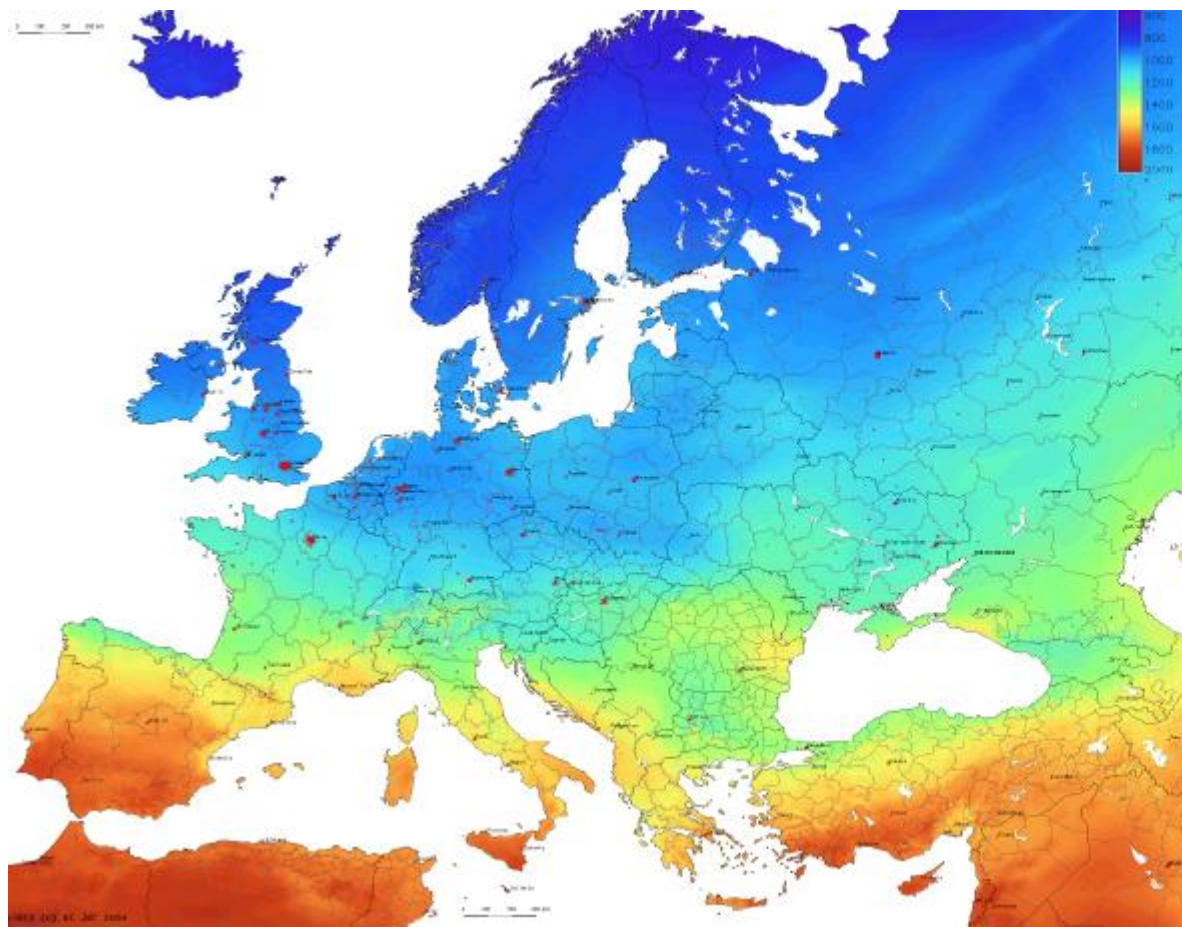
V případě střešních systémů s moduly z multikrystalického Si (stav 2013)





Ekonomický nástroj – FiT (feed-in tariff)

(výkupní cena energie taková, aby se investice vrátila do 15 let)



irradiation
(kWh/m².yr)

PV generation
cost (€/kWh)

2007 2010

600 0.83 0.50

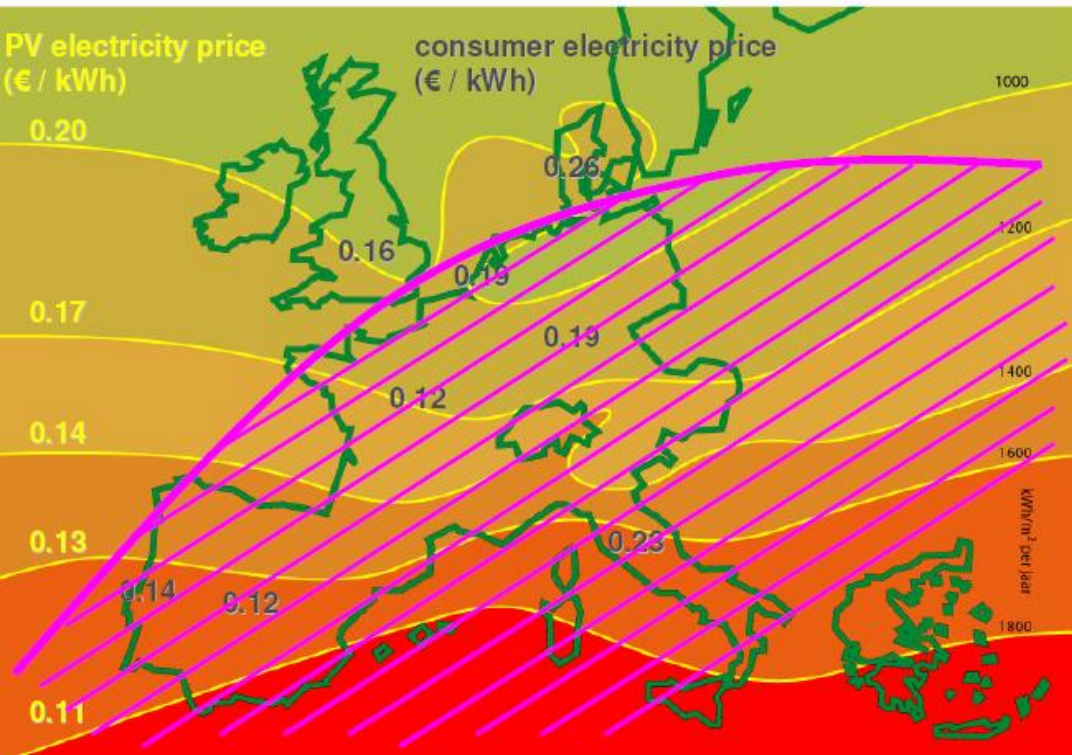
1000 0.50 0.29

1400 0.36 0.24

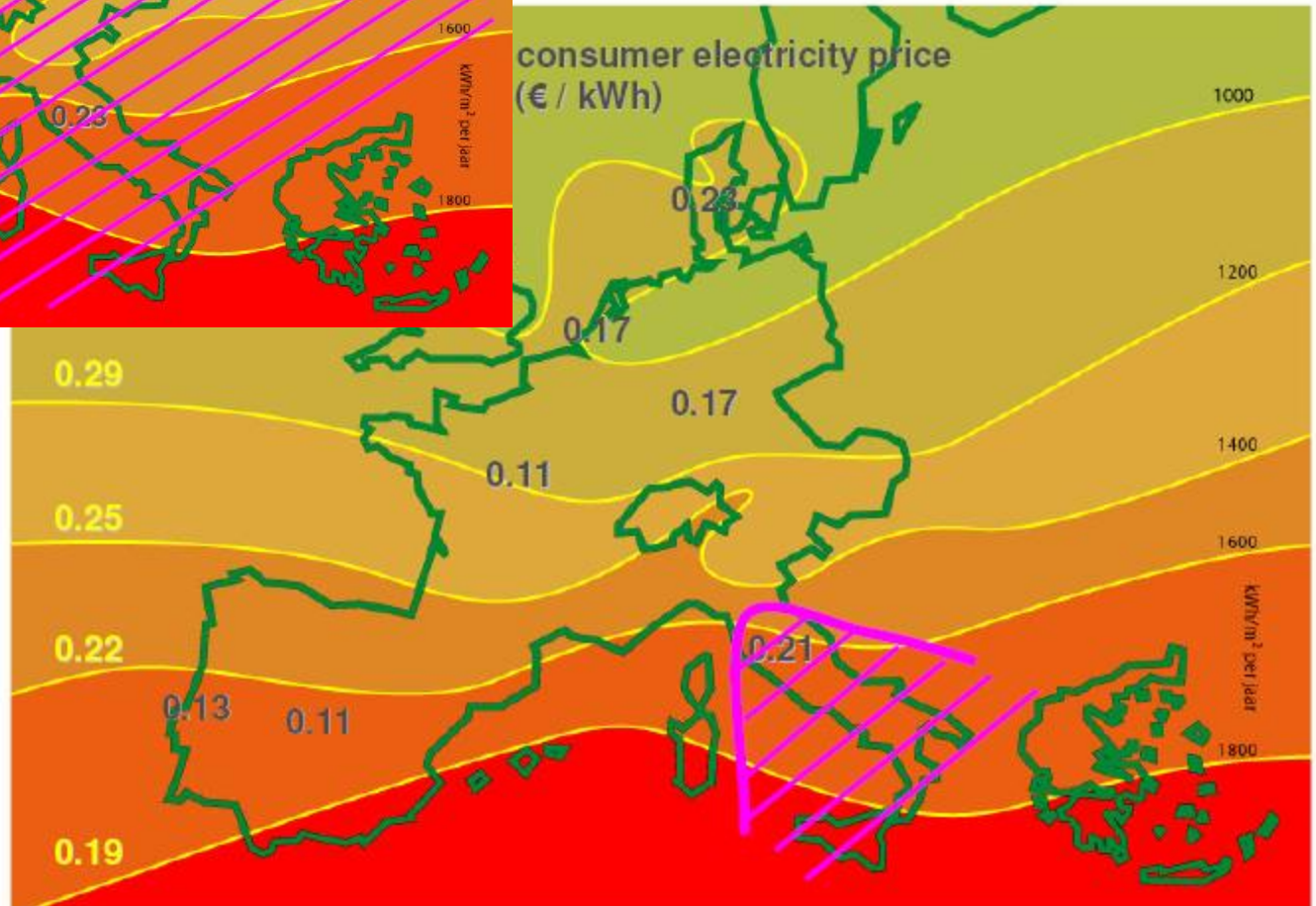
1800 0.28 0.19

Potential of solar electricity
generation in the European Union
member states and candidate
countries. [Solar Energy](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/),
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

2020



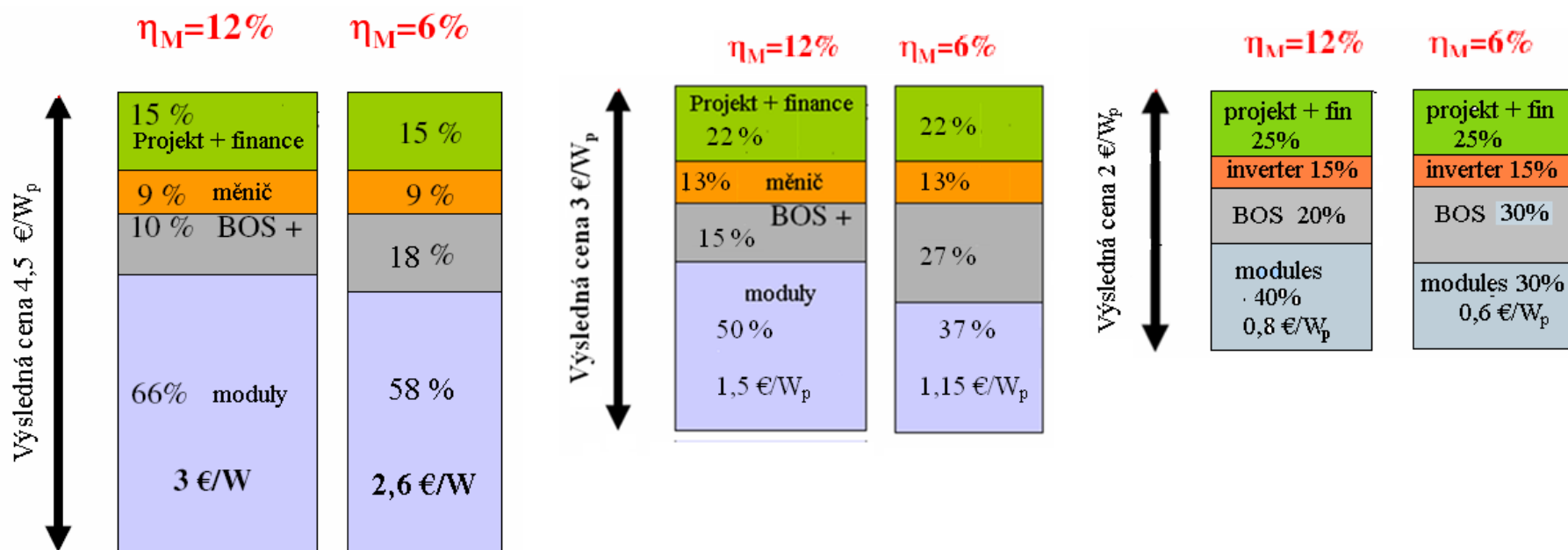
2010



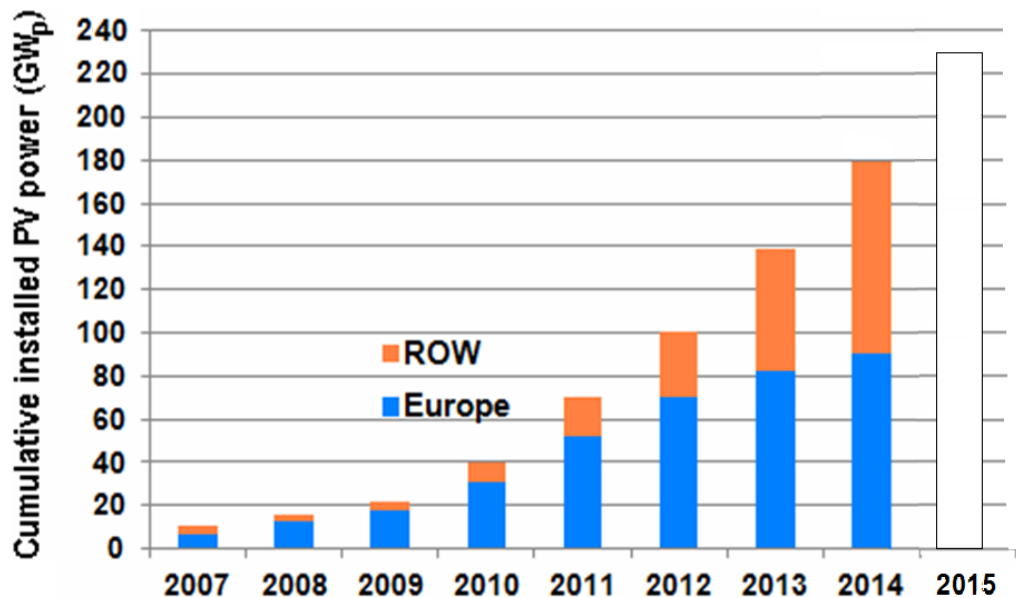
Ekonomické porovnání a trendy

Účinnost panelů a článků

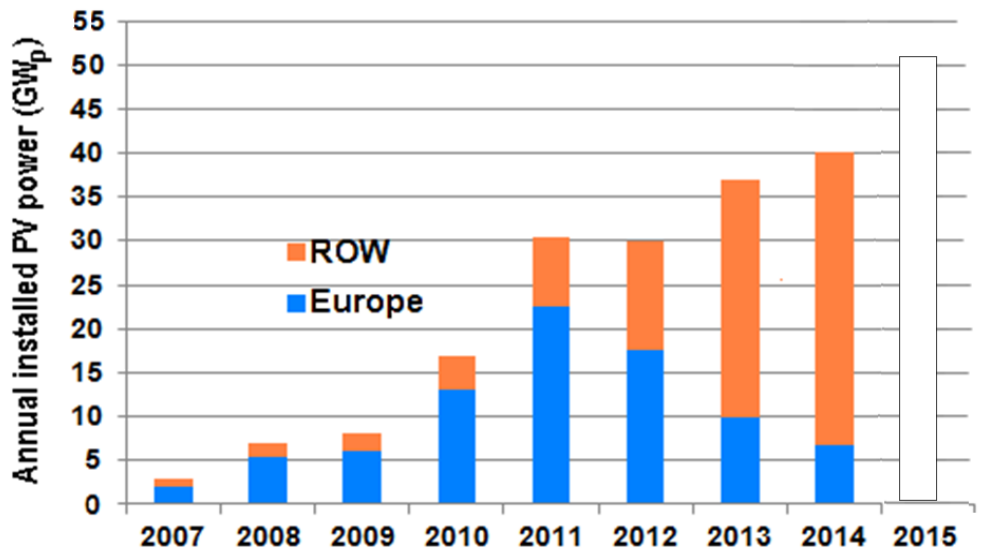
Technologie	Tenkovrstvé				Krystalické	
	Amorfní Si	CdTe	CIS	am/mikro Si	Monokrystal	Multikrystal
Účinnost za STC*	6-7 %	8-10 %	10-11%	8%	17-18 %	15-18 %
Účinnost panelů					15-18 %	13-16 %
Potřebná plocha na kWp	15 m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	cca 6 m ²	cca 7 m ²



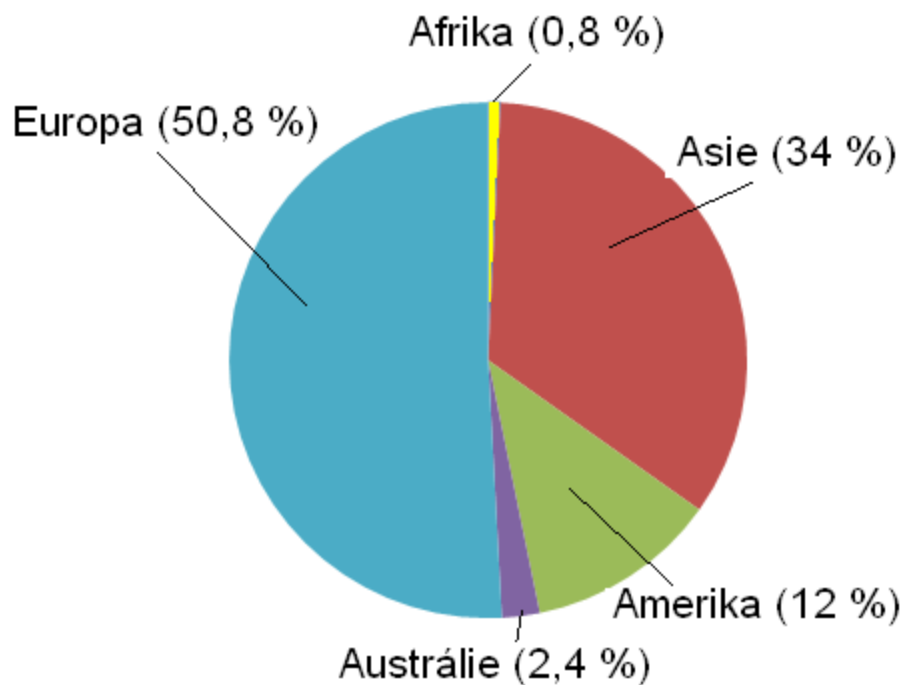
Vývoj globálního instalovaného výkonu 2007-2015



Výkon instalovaný v jednotlivých letech



Celkový nainstalovaný výkon 2014



Čína 28 GW_p
Japonsko 23,3 GW_p
USA 20,1 GW_p

Stát	Instalace (GW _p)	
	2013	2014
Belgie	2,98	3,1
Bulharsko	1,02	1,02
Česká republika	2,18	2,18
Francie	4,67	5,63
Německo	35,72	38,24
Řecko	2,58	2,60
Itálie	17,93	18,31
Rumunsko	1,15	1,22
Španělsko	5,34	5,39
U.K.	3,38	5,23
ROE	3,94	4,55

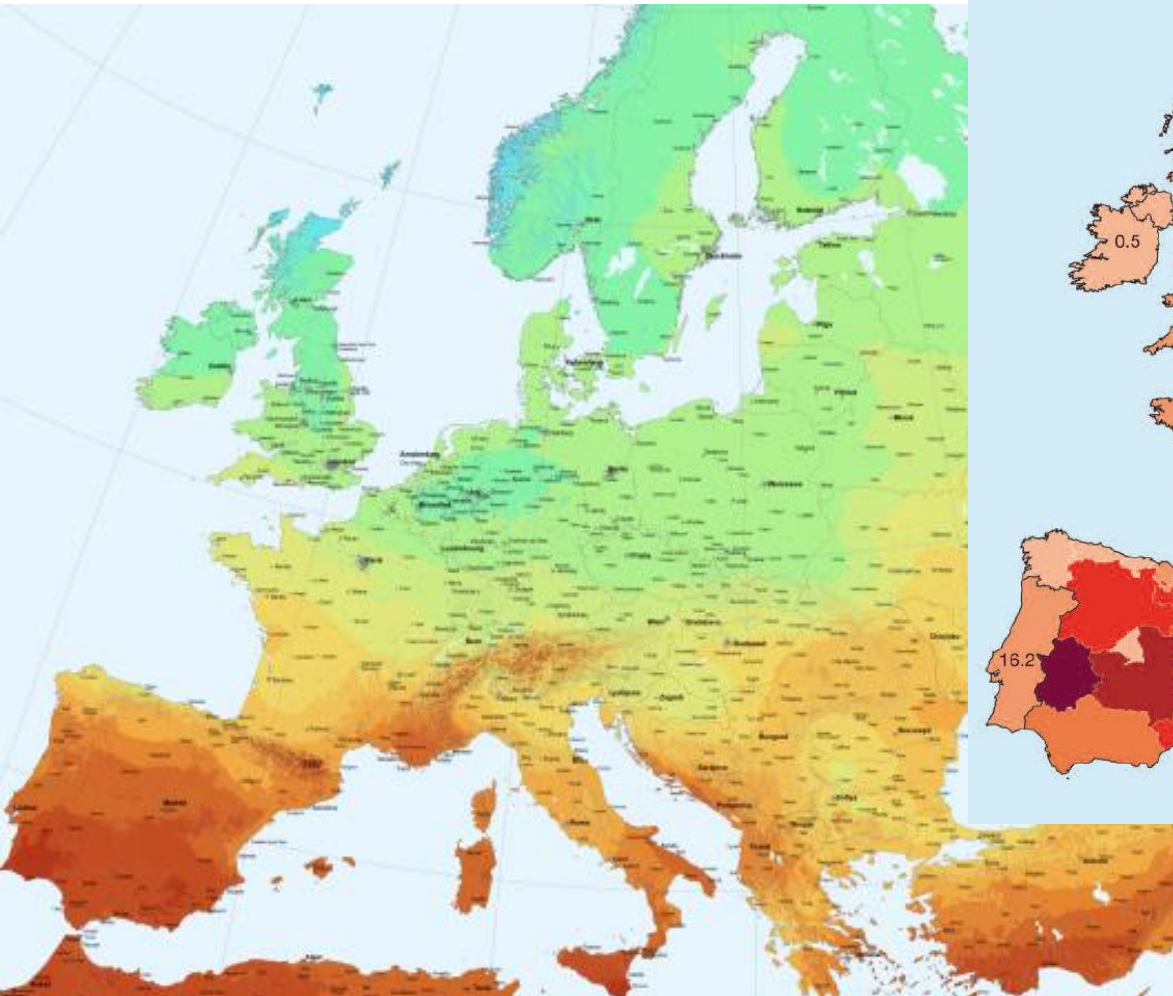
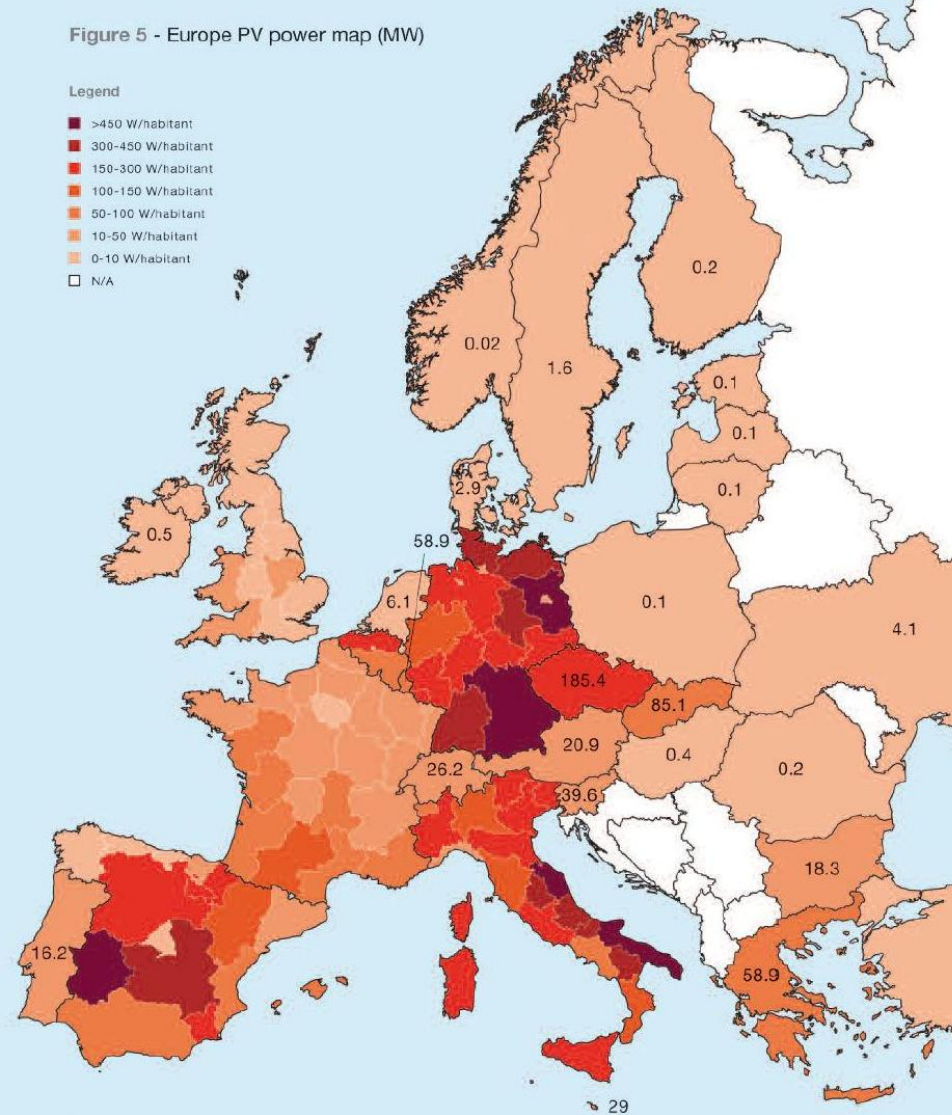


Figure 5 - Europe PV power map (MW)

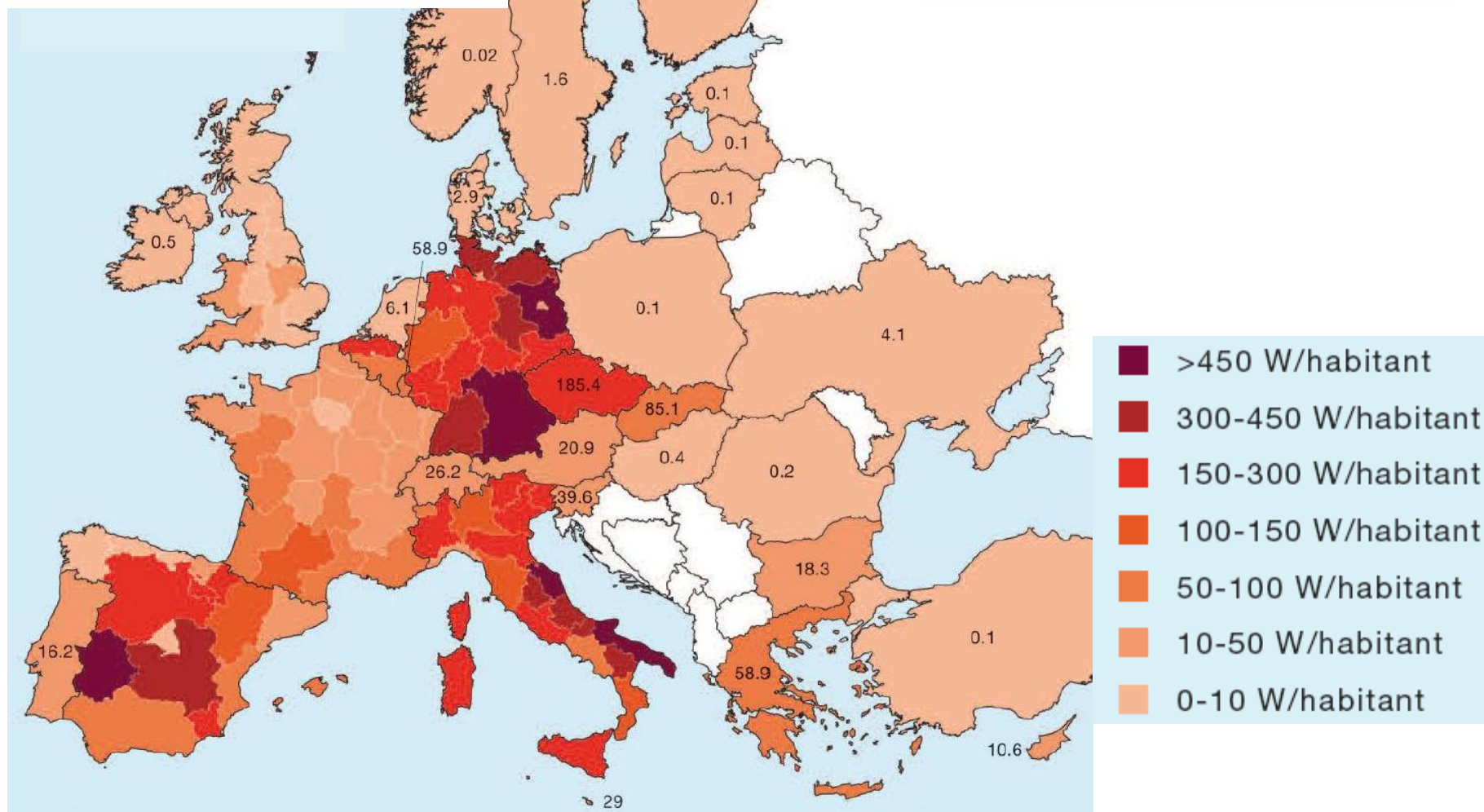
Legend

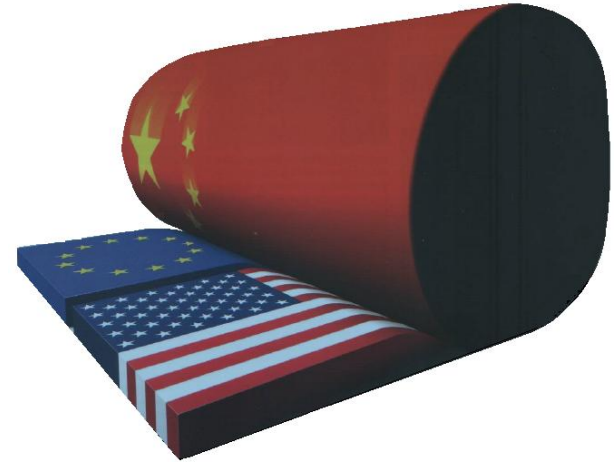
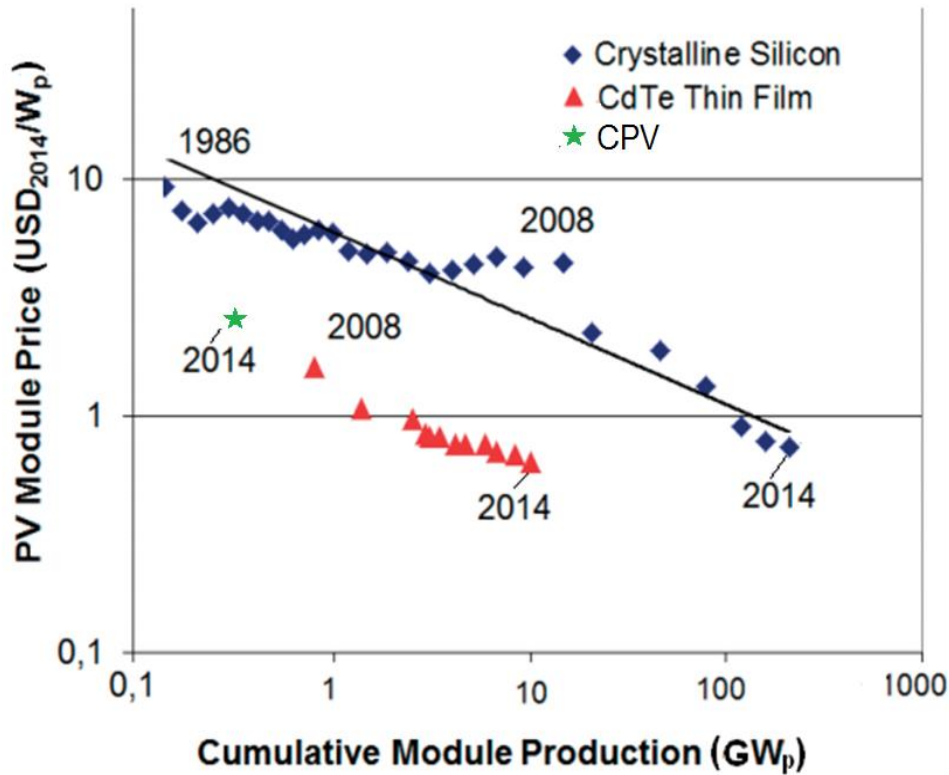
- >450 W/habitant
- 300-450 W/habitant
- 150-300 W/habitant
- 100-150 W/habitant
- 50-100 W/habitant
- 10-50 W/habitant
- 0-10 W/habitant
- N/A



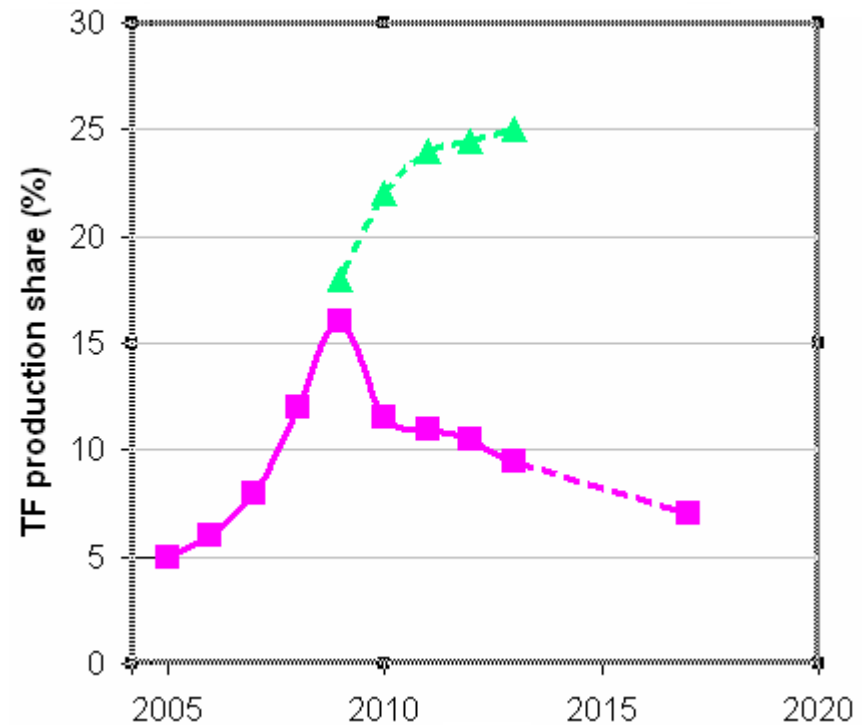
Stát	2012 PV instalace na 1 obyvatele (W_p)
Německo	396
Itálie	267
Belgie	236
ČR	190

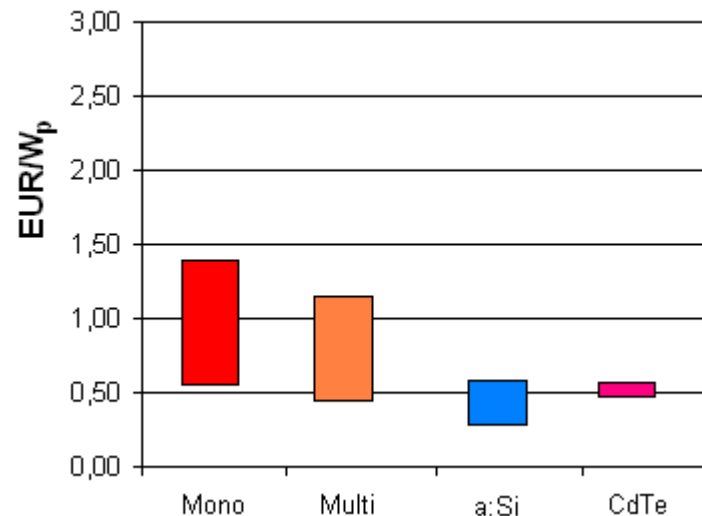
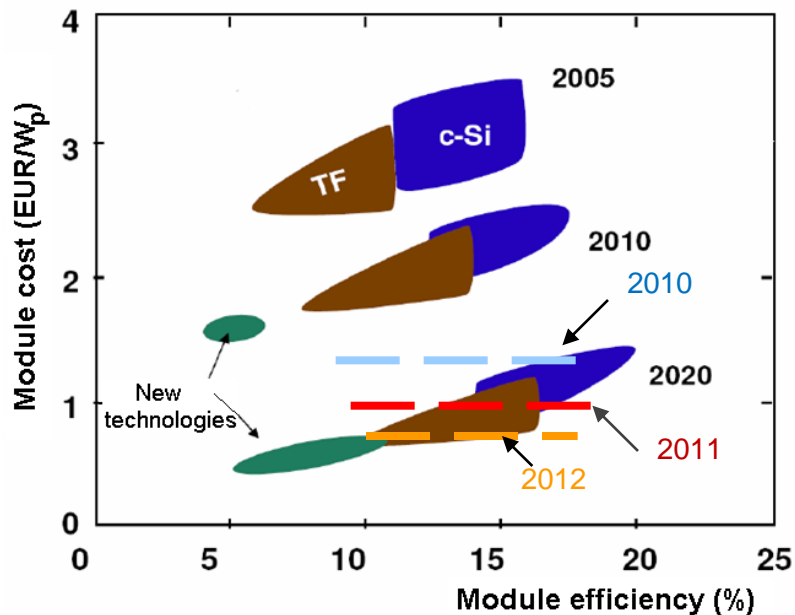
Stát	2013 PV instalace na 1 obyvatele (W_p)
Německo	436
Itálie	287
Belgie	259
ČR	200





- 2007..... 300 USD/kg
- 2008..... 500 USD/kg
- 2009 120 USD/kg
- 2010 55 USD/kg
- 2011 28 USD/kg





Pokles cen modulů z c-Si

Systemy s tenkovrstvými moduly nejsou levnější než systémy s moduly z c-Si

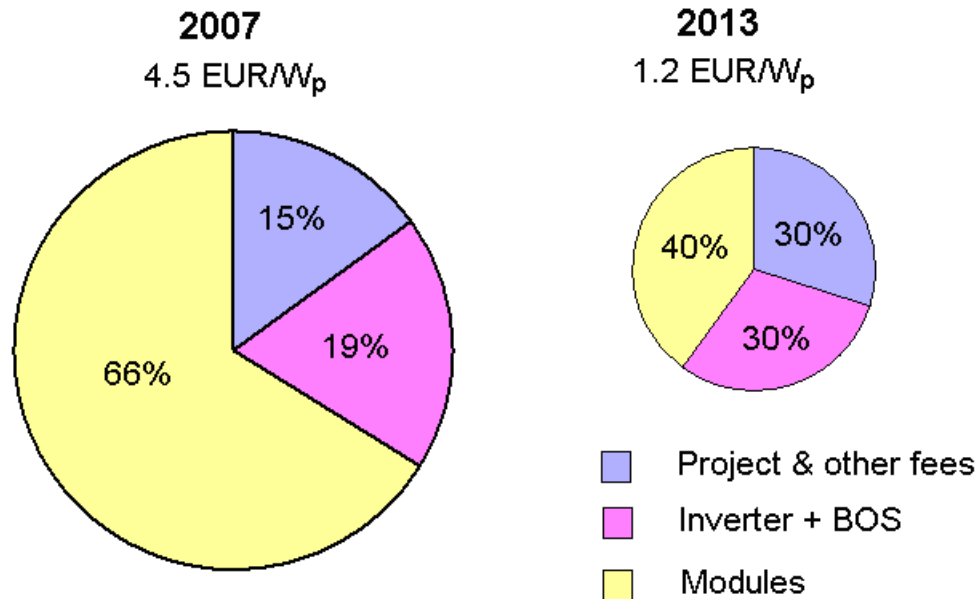
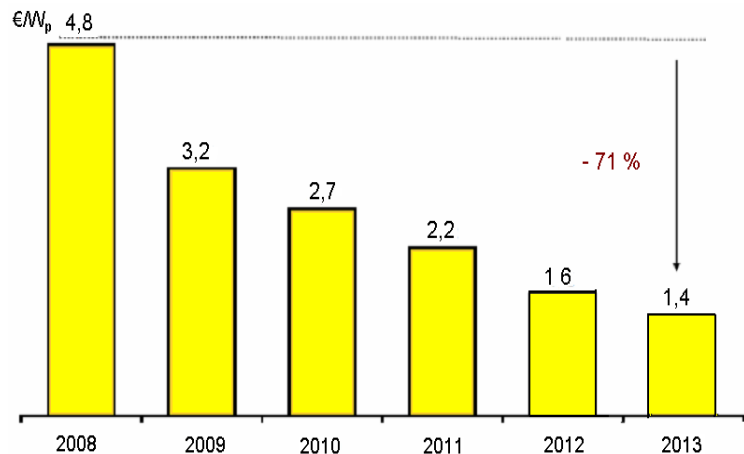
Výraznější rozvoj tenkovrstvých technologií může nastat po poklesu cen invertorů a BOS

Další vývoj: zvyšování účinnosti

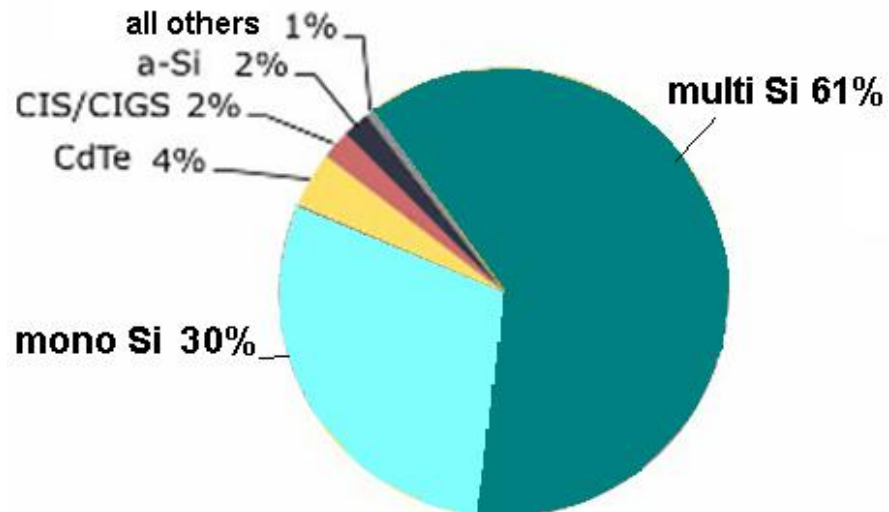
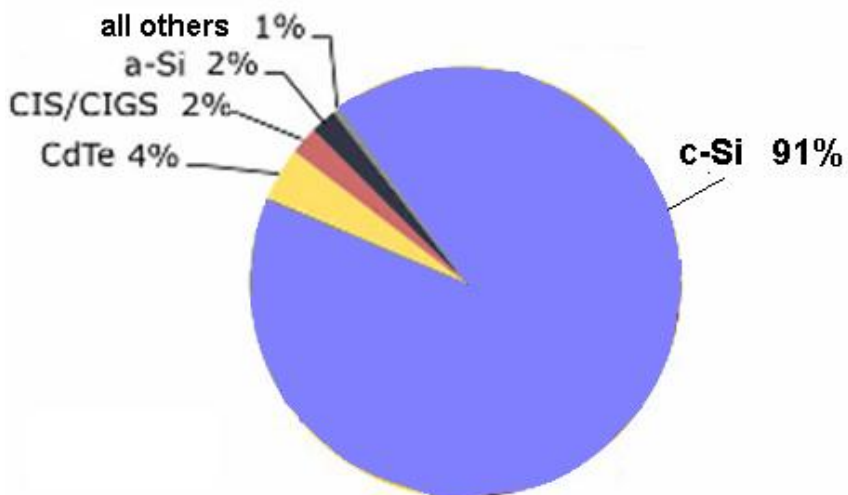
Vývoj složek ceny modulů z krystalického křemíku



Vývoj ceny fotovoltaických systémů (střešní instalace)



Produkce v roce 2013

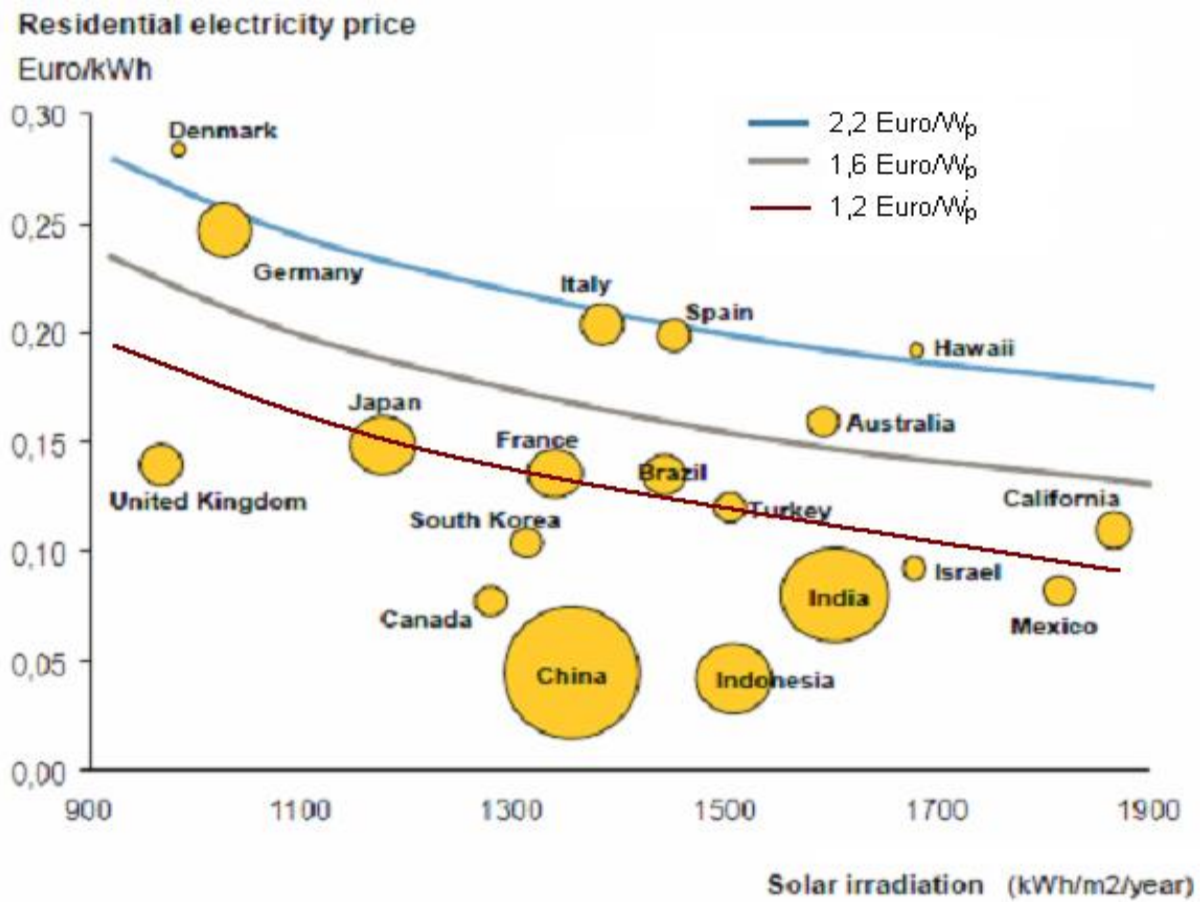


U tenkovrstvých technologií je trend ke zvyšování účinnosti (na maloplošných vzorcích CdTe i CIGS bylo dosažena účinnost 20%)
Rovněž je snižována diversibilita velkoplošné depozice

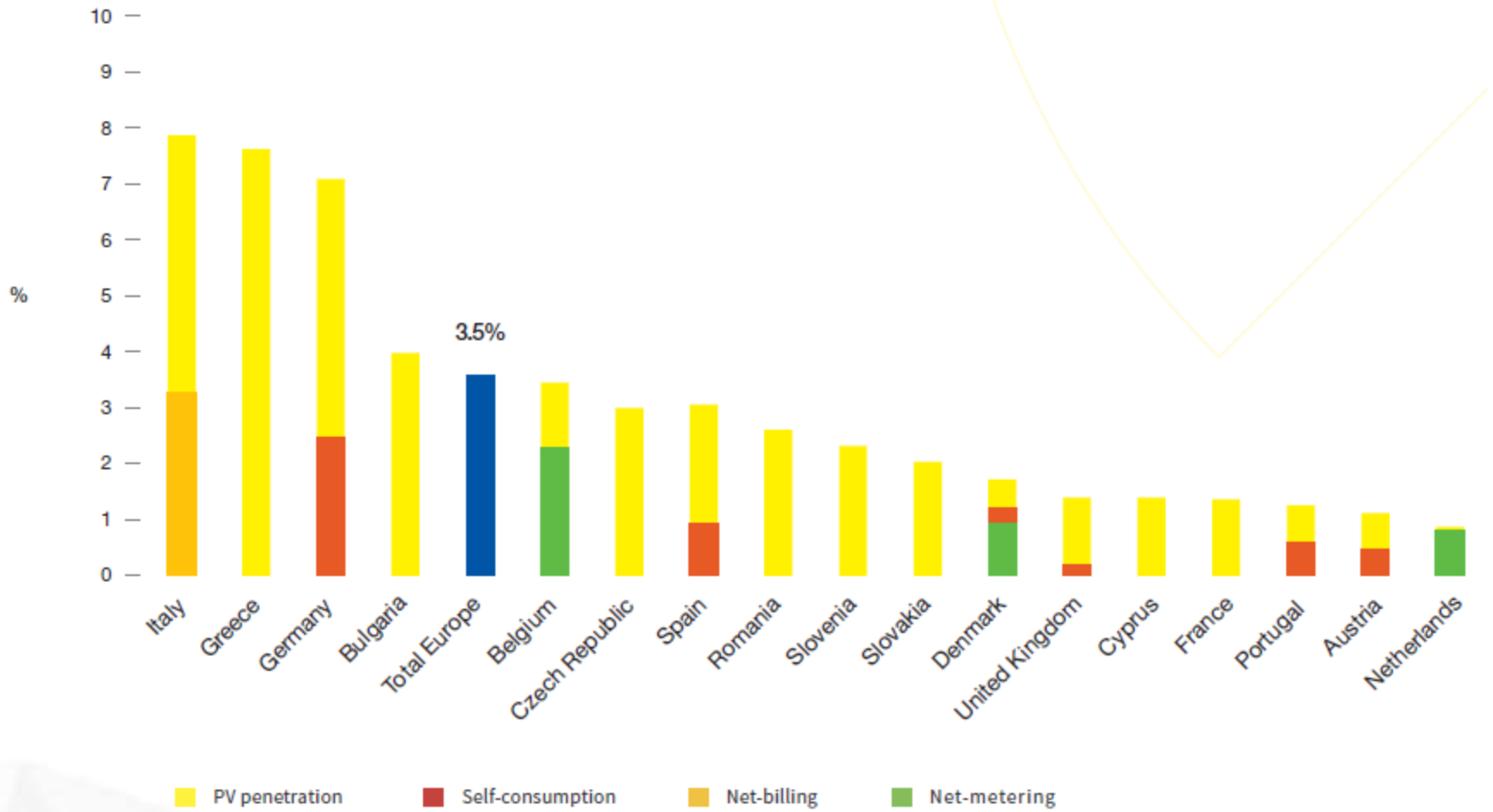
PV články			Moduly	BOS
Si	CIGS	CdTe		
křemík	měď	kadmium	sklo	měď
stříbro	indium	tellur	hliník	hliník
	gallium		plasty	ocel
	selen			beton
omezení zdrojů ■ žádné ■ mírné ■ výraznější				

Tenkovrstvé články na bázi Cu, Zn, Sn a S (CZTS) mohou být perspektivní

Síťová parita



Podíl fotovoltaiky na energetickém mixu – Evropa 2014



€ cts / Kwh	Germany	Italy	France	Spain
Generation costs	8	12	5	10
Grid utilization	6	5	4	4
Taxes	10	3	4	3
Public prices	24	20	13	17



Source: Gaetan Masson

	Německo	Itálie	Francie	Španělsko	ČR
Silová elektřina	33%	60%	38%	59%	29%
Distribuce	25%	25%	31%	23%	43%
Další taxy	43%	15%	31%	18%	28%

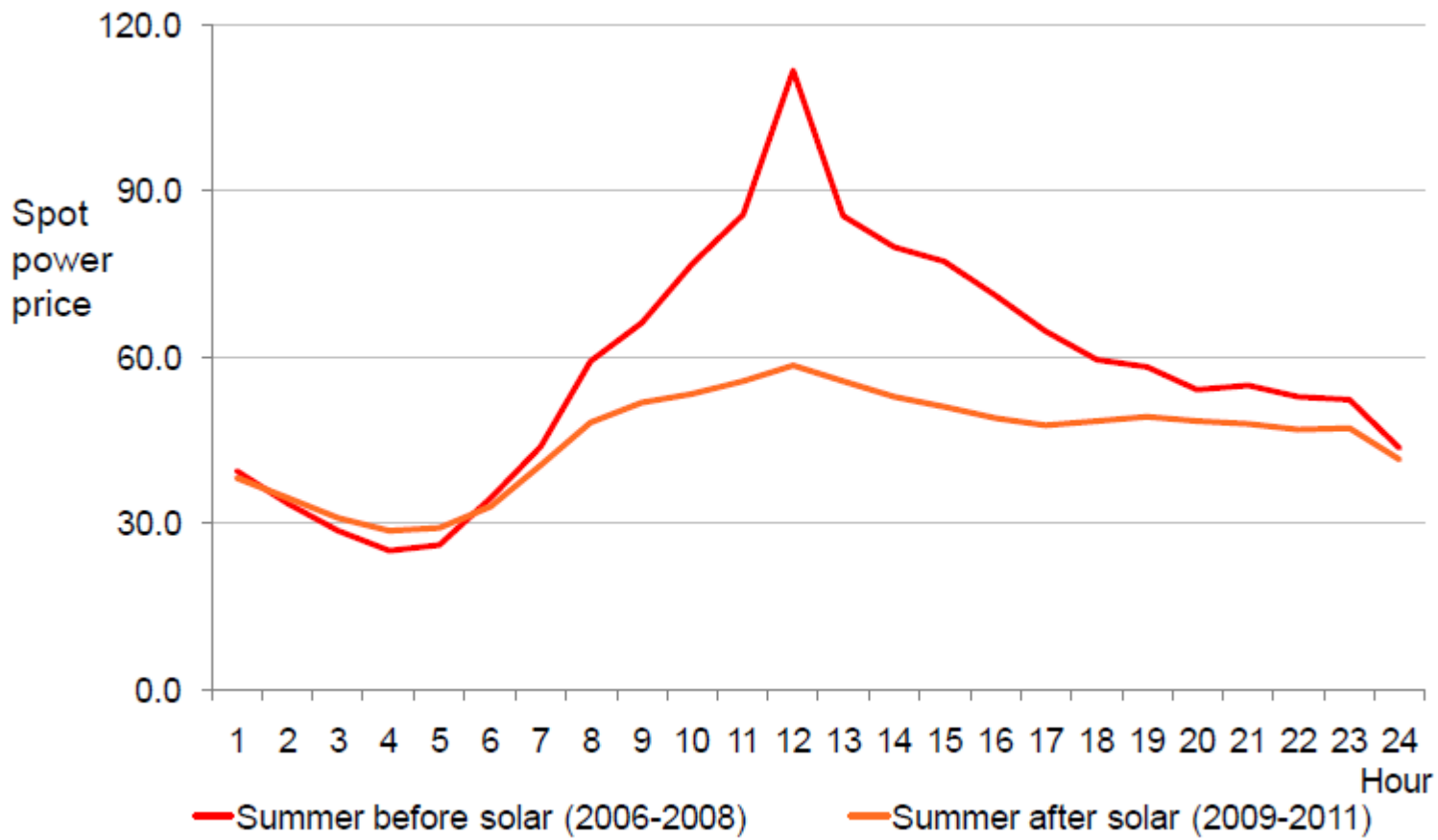
Sít'ová parita

LCOE = prodejní cena el. energie

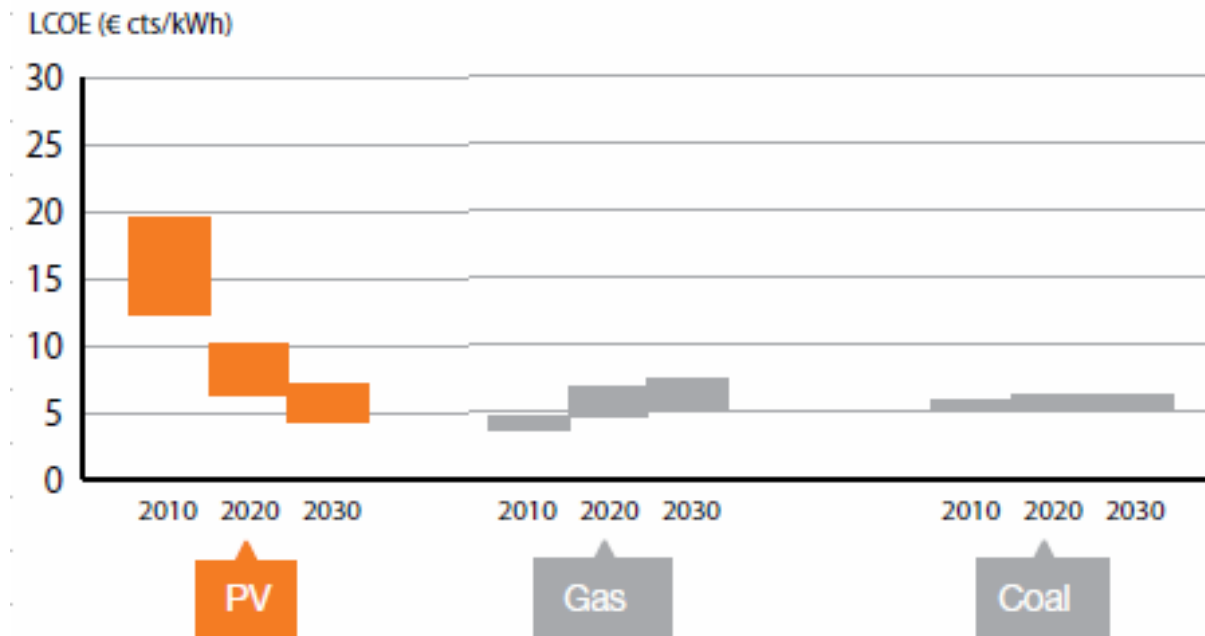
V tomto případě se předpokládá, že veškerá vyrobená energie je vykoupena

Dynamická sít'ová parita

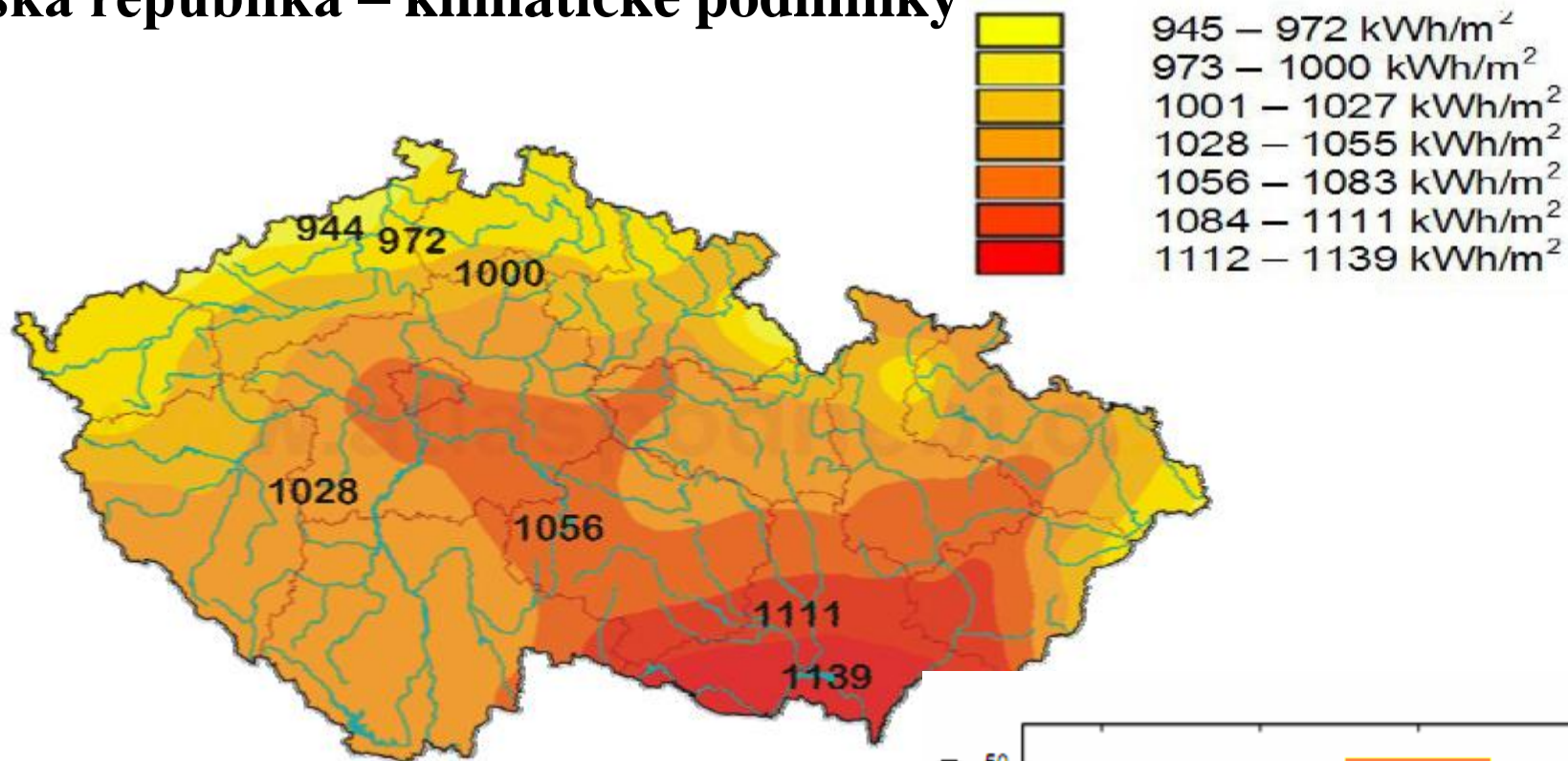
LCOE = tržní cena silové elektřiny



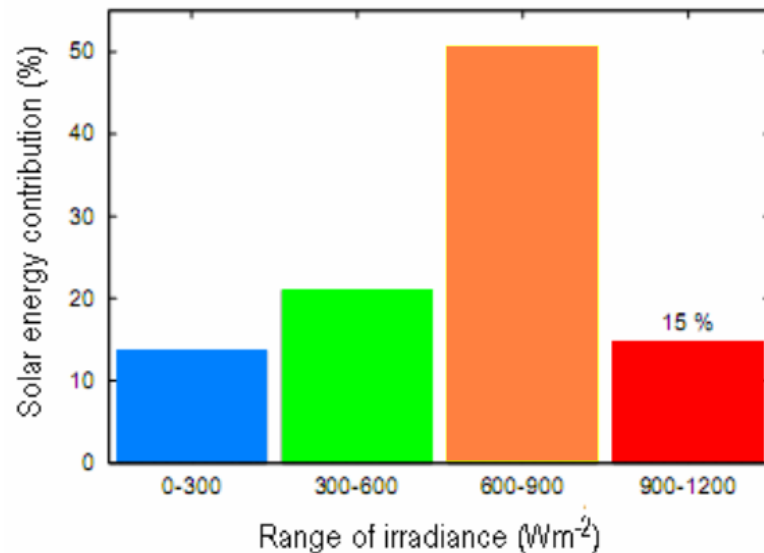
Předpokládaný vývoj ceny elektrické energie vyráběné FV systémy



Česká republika – klimatické podmínky



Z hlediska energie dopadajícího slunečního záření jsou podmínky srovnatelné s Německem



Stav v ČR

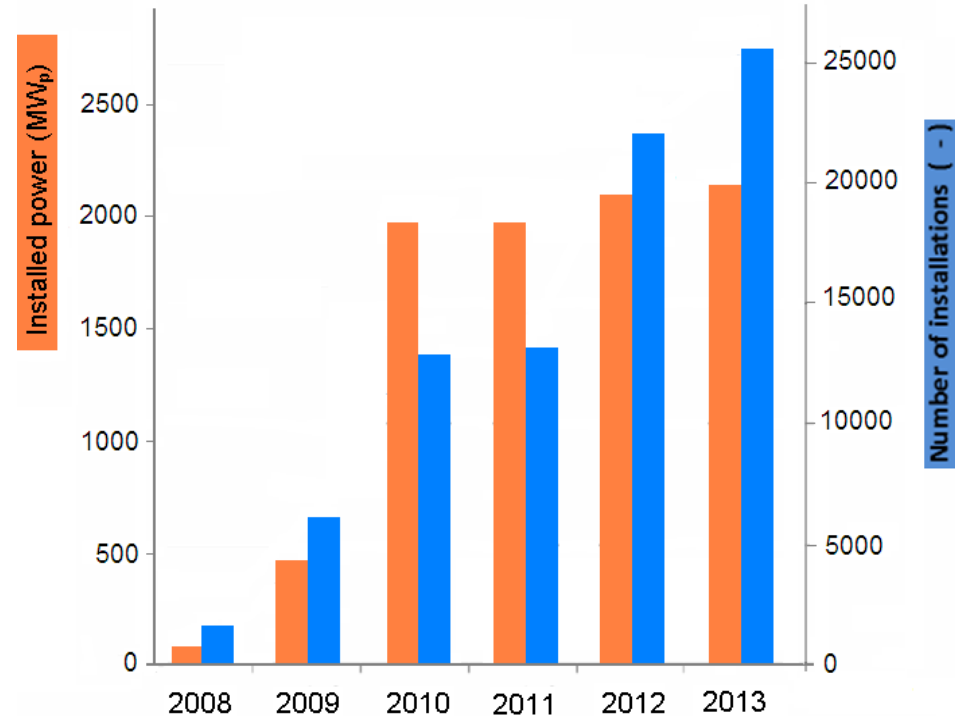
Plán stanovený EU:

realizovat v ČR do roku 2010 fotovoltaické elektrárny o celkovém instalovaném výkonu minimálně **25 MW_p**

Realita:

Instalovaný výkon

2006	0,4 MW_p
2007	4,7 MW_p
2008	58 MW_p
2009	485 MW_p
2010	1980 MW_p
2012	2180 MW_p



Důležitou otázkou je odstranění problémů s variabilitou výkonu

Vývoj fotovoltaiky

1839 - objev fotovoltaického jevu (A. E. Becquerel)

1877 – první selénový FV článek (W. G. Adams a R. E. Day)

1954 – křemíkový FV článek (D. M. Chapin, C. S. Fuller a G. L. Pearson)

1970 – první FV článek na bázi GaAs heterostruktury (Alferov, Andreev a kol.)

1972 – první FV článek na bázi CdTe/CdS (D. Bonet a H. Rabenhorst)

1976 – první FV článek na bázi amorfního Si (D. Carlson and C. Wronski)

1983 - první FV články na bázi CuInSe₂

1995 – první fotovoltaické články z organických materiálů (J.J.M.Halls, et al)

1992 – instalovaný výkon FV systémů překročil 100 MW_p

2001 - instalovaný výkon FV elektráren překročil 1 GW_p

2007 - instalovaný výkon FV elektráren překročil 10 GW_p

2012 - instalovaný výkon FV elektráren překročil 100 GW_p

2014 - instalovaný výkon FV elektráren překročil 180 GW_p

2015– očekává se dosažení celkového instalovaného výkonu 230 GW_p