
Fotovoltaické využití energie světla ze Slunce

A. Fejfar

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v.v.i.
Cukrovarnická 10, 162 53 Praha 6, * e-mail: fejfar@fzu.cz



Věnování





Od roku 1814
4240 parních turbín
Celkem o výkonu **18 000 MW**

~ inst. elektrický výkon v ČR k 31.11.2010
19 407 MW celkem, z toho
10 769 MW parní
3 830 MW jaderné
1 383 MW fotovoltaické

[€ct/kWh]

0 10 20 30 40 50

Česká republika

Slovensko

Slovinsko

Řecko

Itálie

Švýcarsko

Francie

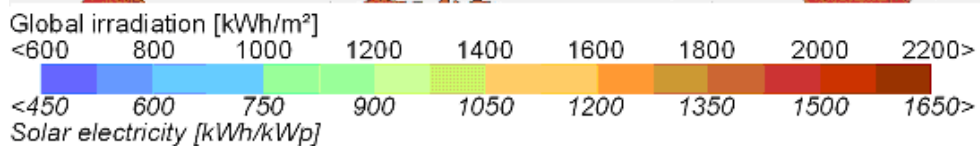
Rakousko

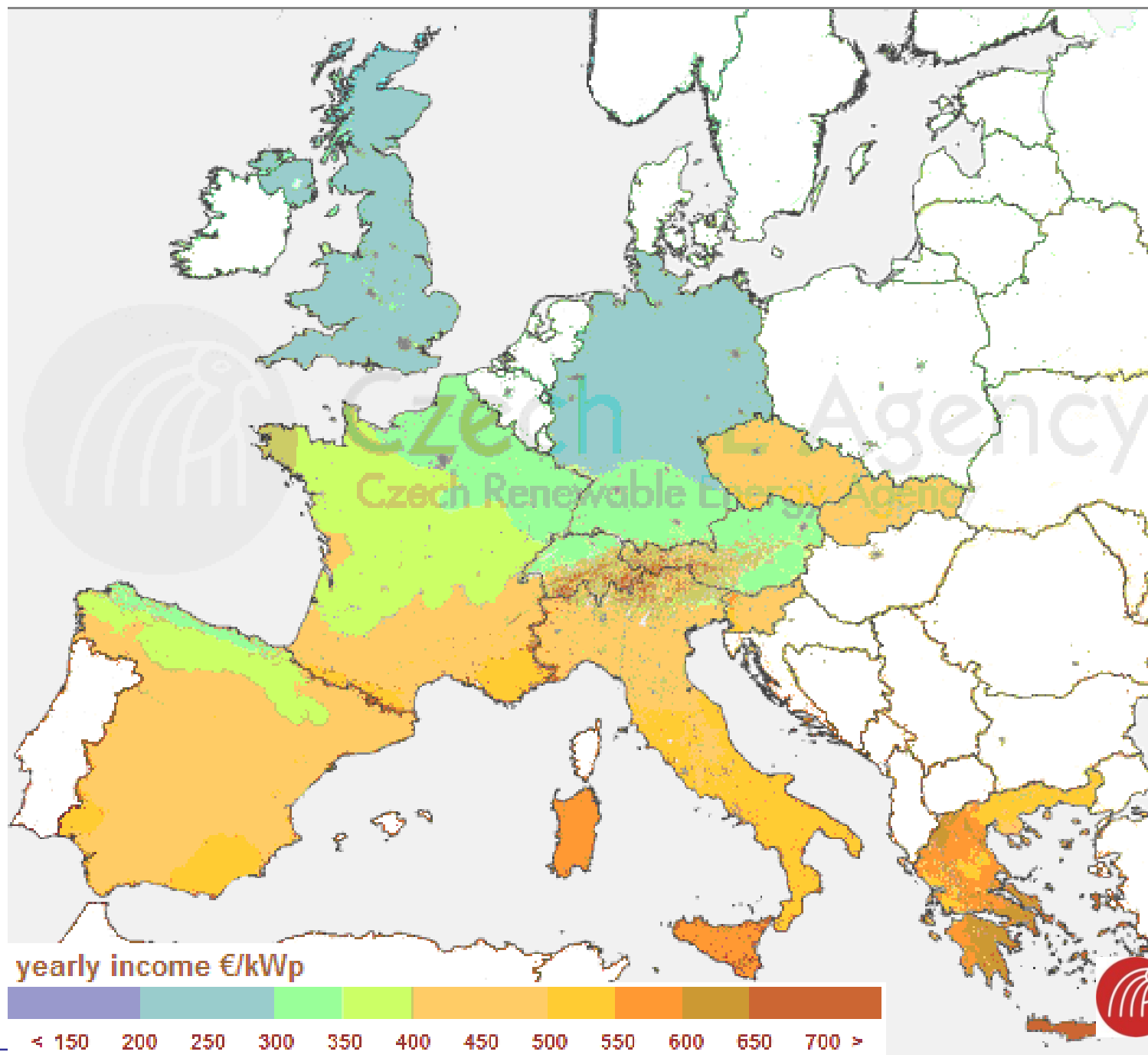
Španělsko

Německo

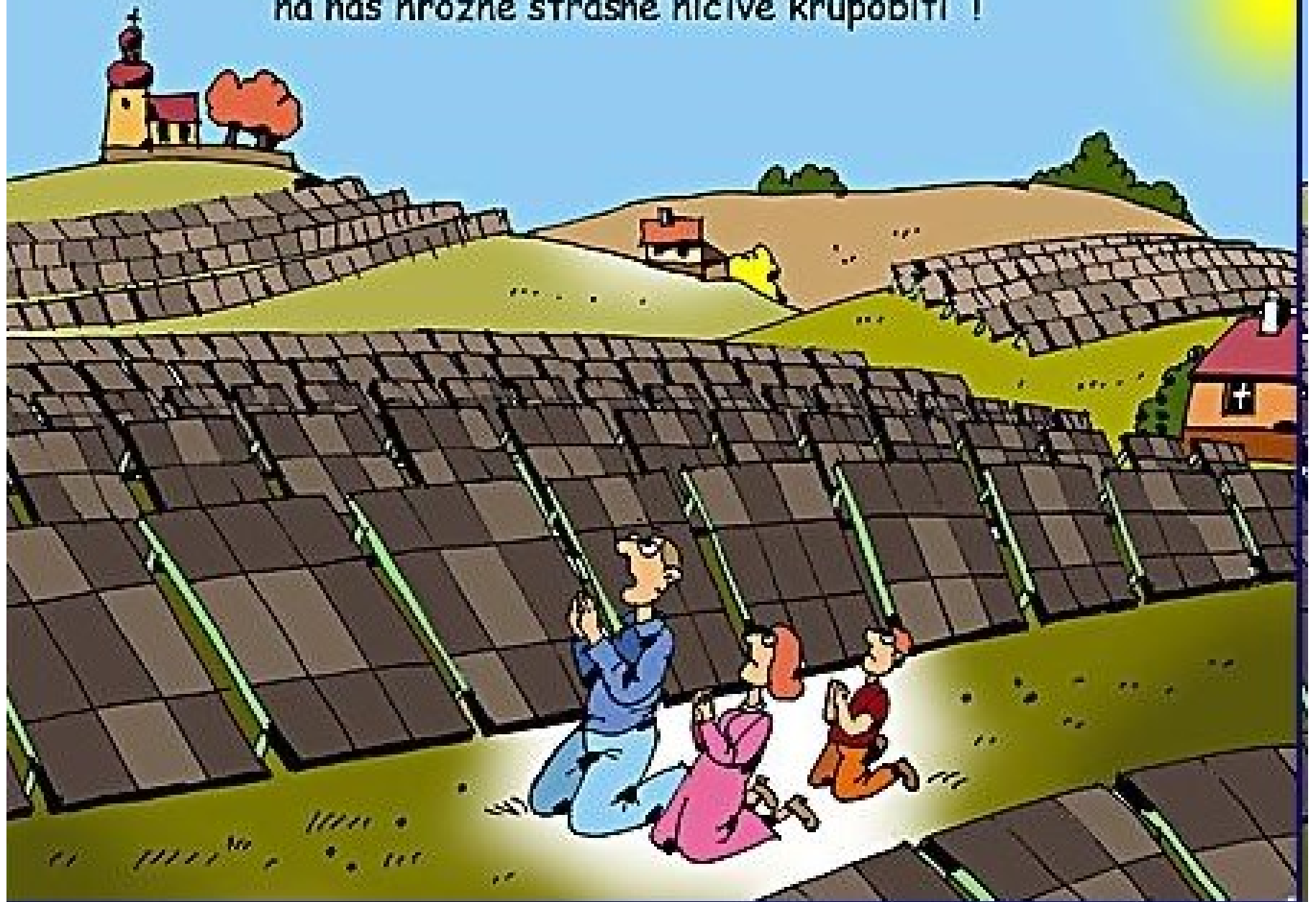
Velká Británie

Německo





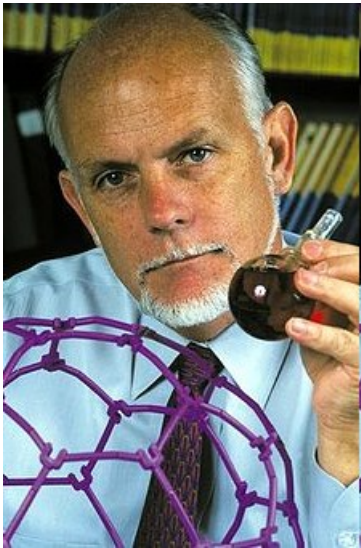
Ó, Pane náš , pomoz této zemi a sešli
na nás hrozně strašné ničivé krupobití !



10 naléhavých problémů

R.E. Smalley, MRS Bulletin **30**, 412 - 417 (2005).

**Future Global Energy Prosperity:
The Terawatt Challenge**



Prof. Richard Smalley,
objevitel fullerenu
Nobelova cena 1996

- Energie
- Voda
- Jídlo
- Životní prostředí
- Chudoba
- Terorismus
- Nemoci
- Vzdělání
- Demokracie
- Populace

Energie



Průměrná americká rodina
obklopená barely ropy, které
spotřebuje za rok.

Obrázek je z roku 1970.

Dnes by jejich spotřeba byla asi o
40% větší.

A každý chce žít jako Američan.

Terawattová výzva

Průměrná spotřeba lidské civilizace je 15 TW (15000 GW).

Průměrně spotřebuje průměrný občan:

~11 kW / U.S.A

3 – 5 kW / Evropan

~ 1 kW / Číňan

2 kW / průměrný obyvatel planety

Dobrá zpráva: Počet obyvatel Země se ustálí na cca 10 mld.

Špatná zpráva: většina z nich bude spotřebovávat víc energie.

Při odhadovaných 4 kW / člověka = 40 TW.

Přidání 10 TW znamená:

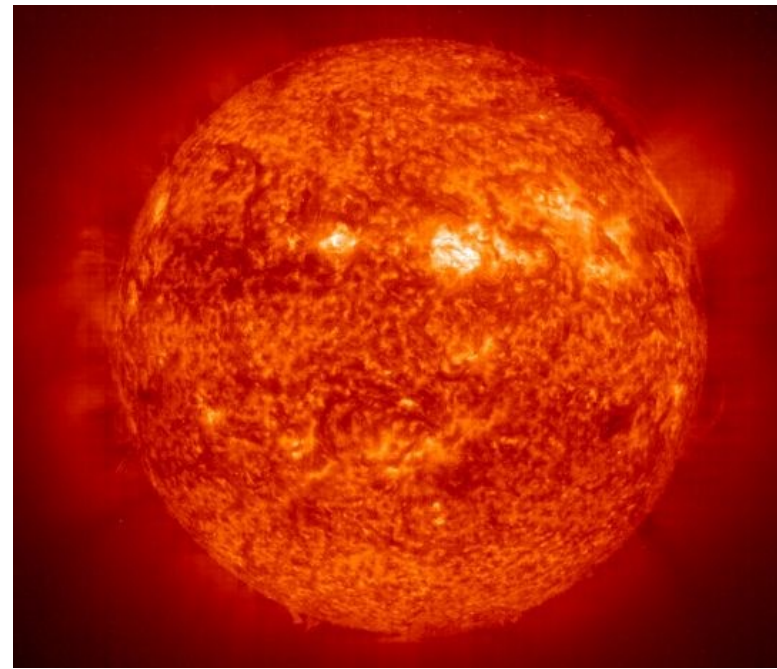
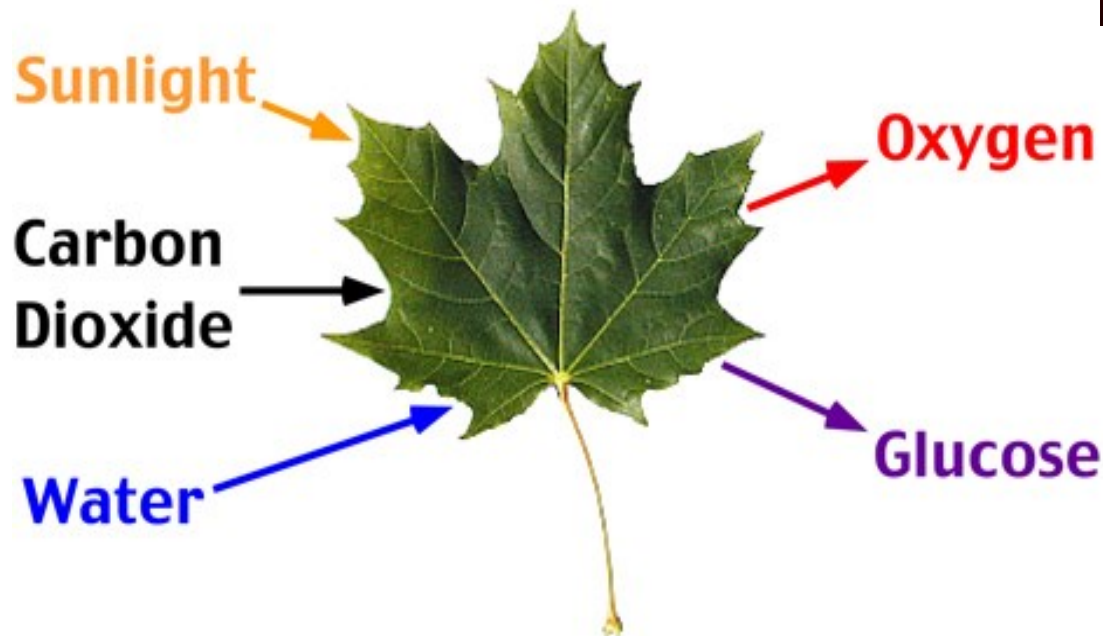
- Spuštění 1 GW elektrárny každý den po dobu 27.5 roků



2 MW FV elektrárna
Každých 10 minut
po dobu 81 roků



125 000 TW



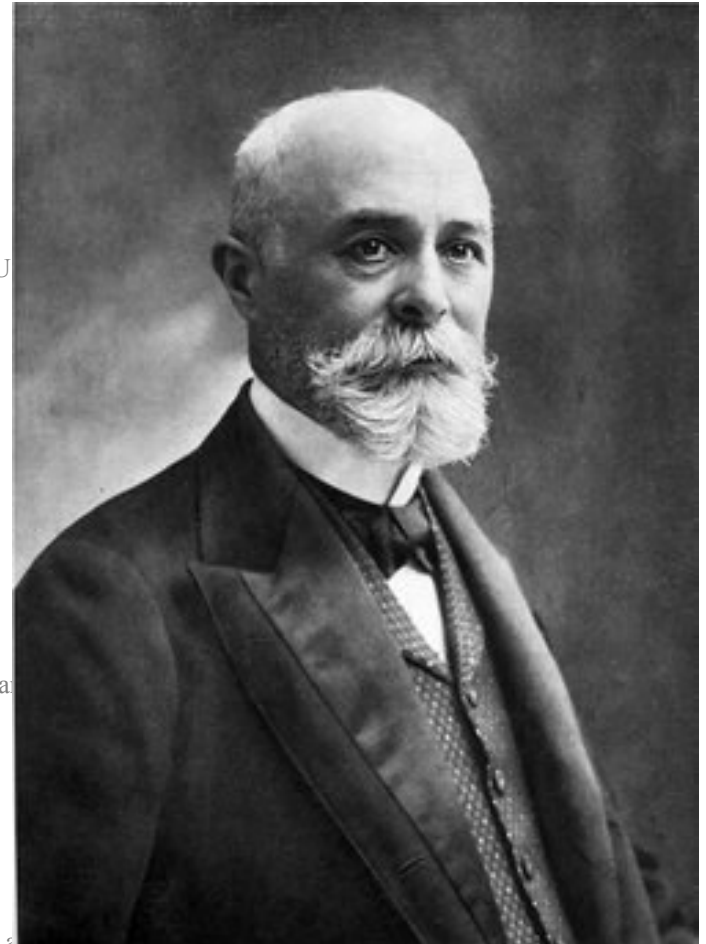
This photograph of Earth was taken by Apollo 17 astronauts in 1972 and

Fotovoltaické (FV) články:

- 1) Jak se na ně přišlo?
- 2) Jak fungují?
- 3) Jak se dělají?
- 4) Kolik stojí?
- 5) Stojí to za to?
- 6) Jak to udělat lépe?

1839 - Alexandre Edmond Becquerel

- 1839 - Alexandre Edmond Becquerel - PV efekt
- 1873 - Willoughby Smith - Se
- 1877 - Charles Fritts - první Se sluneční článěk
- 1887 - Heinrich Hertz - UV fotovodivost
- 1888 - Edward Weston patent US389124, "Solar cell", and US389125, "Solar cell".
- 1894 - Melvin Severy patent US527377, "Solar cell", and US527379, "Solar cell".
- 1897 - Harry Reagan patent US588177, "Solar cell".
- 1901 - Nikola Tesla the patent US685957, "Apparatus for the Utilization of Radiant Energy", and U
- 1902 - Philipp von Lenard - vnější fotoefekt v závislosti na barvě světla
- 1904 - Wilhelm Hallwachs sluneční článěk Cu/Cu₂O.
- 1905 - Albert Einstein
- 1913 - William Coblentz patent US1077219, "Solar cell".
- 1914 - Sven Ason Berglund patents "methods of increasing the capacity of photosensitive cells".
- 1916 - Robert Millikan potvrdil Einsteinovo vysvětlení
- 1916 - Jan Czochralski
- 1946 - Russell Ohl patent US2402662, "Light sensitive device".
- 1950s - Bell Lab.
- 1953 - Gerald Pearson lithium-silicon photovoltaic cells
- 1954 - AT&T exhibits solar cells at Murray Hill, New Jersey.
- 1955 - Western Electric licence commercially solar cell technologies.
- 1957 - Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin, and Calvin S. Fuller (AT&T) patent US2780765, "Solar
- 1962 - The Telstar satellite
- 1963 - Sharp Corporation - photovoltaic module of silicon solar cells.
- 1971 - Salyut 1 is powered by solar cells.
- 1973 - Skylab is powered by solar cells.
- 1977 - The Solar Energy Research Institute is established at Golden, Colorado.
- 1980s - efficient silicon cells are in production.
- 1989 - efficient concentrator solar cell are in use.
- 1990 - The Cathedral of Magdeburg installs solar cells on the roof, marking the first installation on a church in East Germany.
- 1991 - President George H. W. Bush directs the U.S. Department of Energy to establish the National Renewable Energy Laboratory
- 1993 - National Renewable Energy Laboratory
- 2001 - Helios



1905 Albert Einstein:

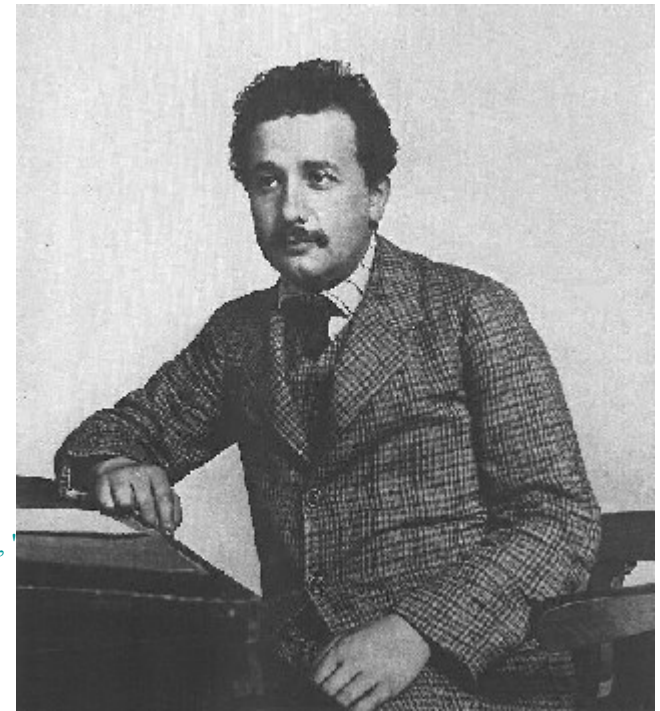
1902 - Philipp von Lenard

- Vnější fotoefekt

1916 - Robert Millikan

Experimentální potvrzení Einsteinovy teorie

1921 – Nobelova cena



1901 - Nikola Tesla the patent US685527, "Apparatus for the Utilization of Radiant Energy", and US685528, "Method of Converting Radiant Energy into Electric Energy".

1902 - Philipp von Lenard - vnější fotoefekt v závislosti na barvě světla

1904 - Wilhelm Hallwachs sluneční článek $\text{Cu/Cu}_2\text{O}$.

1905 - Albert Einstein

1913 - William Coblentz patent US1077219, "Solar cell".

1914 - Sven Ason Berglund patents "methods of increasing the capacity of photosensitive cells".

1916 - Robert Millikan potvrdil Einsteinovo vysvětlení

1916 - Jan Czochralski

1946 - Russell Ohl patent US2402662, "Light sensitive device".

1950s - Bell Lab.

1953 - Gerald Pearson lithium-silicon photovoltaic cells

1954 - AT&T exhibits solar cells at Murray Hill, New Jersey.

1955 - Western Electric licence commercially solar cell technologies.

1957 - Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin, and Calvin S. Fuller (AT&T) patent US2780765, "Solar cell".

1962 - The Telstar satellite

1963 - Sharp Corporation - photovoltaic module of silicon solar cells.

1971 - Salyut 1 is powered by solar cells.

1973 - Skylab is powered by solar cells.

1977 - The Solar Energy Research Institute is established at Golden, Colorado.

1980s - efficient silicon cells are in production.

1989 - efficient concentrator solar cell are in use.

1990 - The Cathedral of Magdeburg installs solar cells on the roof, marking the first installation on a building.

1991 - President George H. W. Bush directs the U.S. Department of Energy to establish the National Renewable Energy Laboratory

1993 - National Renewable Energy Laboratory

2001 - Helios



1918 - Jan Czochralski

1839 - Alexandre Edmond Becquerel - PV efekt
1873 - Willoughby Smith - Se
1877 - Charles Fritts - první Se sluneční článek
1887 - Heinrich Hertz - UV fotovodivost
1888 - Edward Weston patent US389124, "S
1894 - Melvin Severy patent US527377, "So
1897 - Harry Reagan patent US588177, "Sol
1901 - Nikola Tesla the patent US685957, "A
1902 - Philipp von Lenard - vnější fotoefekt
1904 - Wilhelm Hallwachs sluneční článek C
1905 - Albert Einstein
1913 - William Coblentz patent US1077219,
1914 - Sven Ason Berglund patents "method
1916 - Robert Millikan potvrdil Einsteinovo
1916 - Jan Czochralski
1946 - Russell Ohl patent US2402662, "Ligh
1950s - Bell Lab.
1953 - Gerald Pearson lithium-silicon photov
1954 - AT&T exhibits solar cells at Murray
1955 - Western Electric licence commercial
1957 - Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin,
1962 - The Telstar satellite
1963 - Sharp Corporation - photovoltaic mod
1971 - Salyut 1 is powered by solar cells.
1973 - Skylab is powered by solar cells.
1977 - The Solar Energy Research Institute i
1980s - efficient silicon cells are in producti
1989 - efficient concentrator solar cell are in
1990 - The Cathedral of Magdeburg installs
1991 - President George H. W. Bush directs
1993 - National Renewable Energy Laborato
2001 - Helios



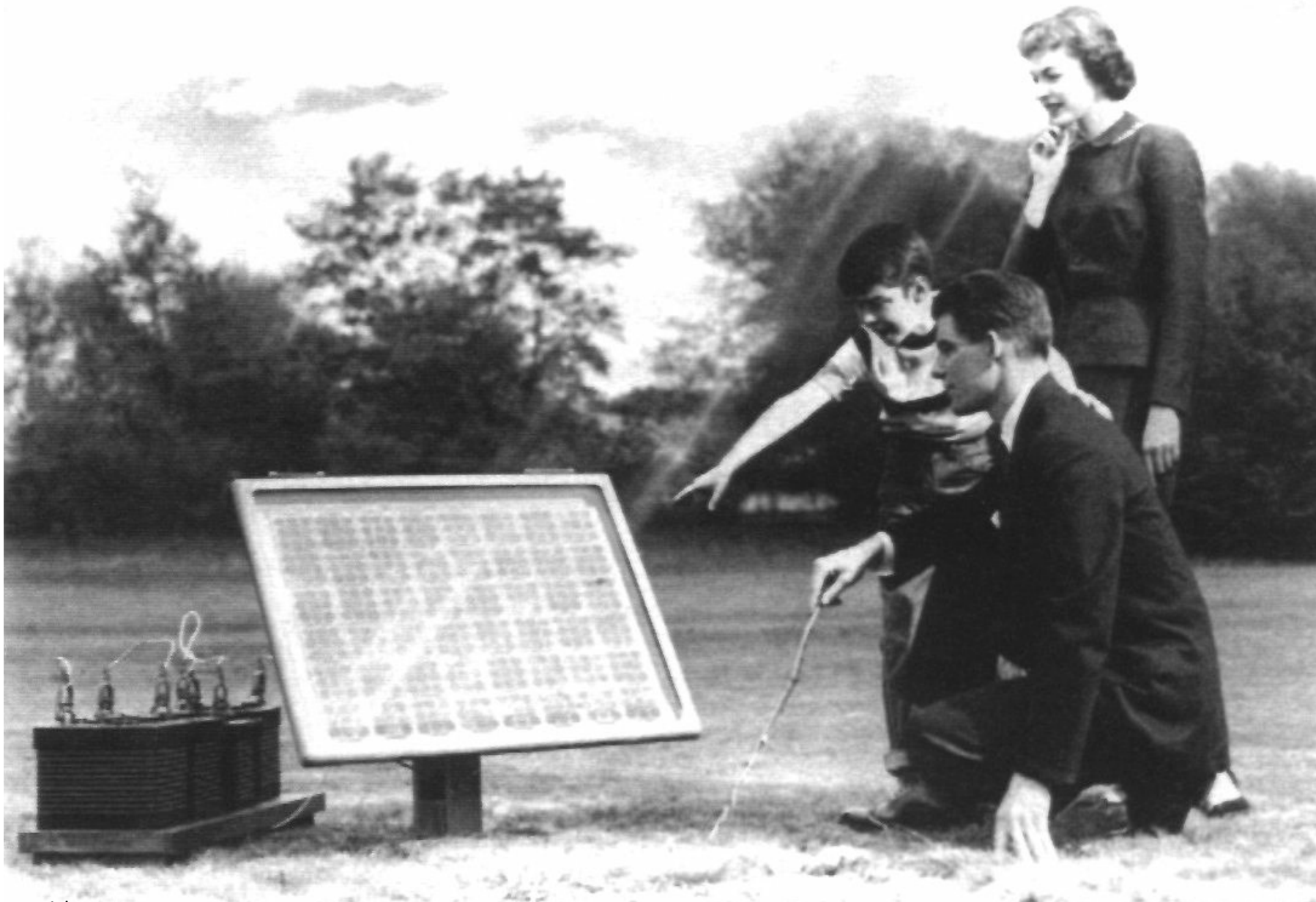


Začátek „doby sluneční“:

1953 - 4 G. Pearson, D. Chapin, C. Fuller (Bellovy laboratoře):
První sluneční článek s účinností 6%
arsenem dopovaná Si deska
dopovaná bórem na PN přechod



The 1265 measurement. assuming this, we measured
8800 v volt on his thermocouple where 8850 is 1000 Watts/cm². This says our
power for the sun was 1005 w/m² at the time of measurement.
 $65.2 / 1005 = 6.48\%$ efficiency. If we correct this is the ratio of 1265
119 for sun intensity this gives **6.35% efficiency**.

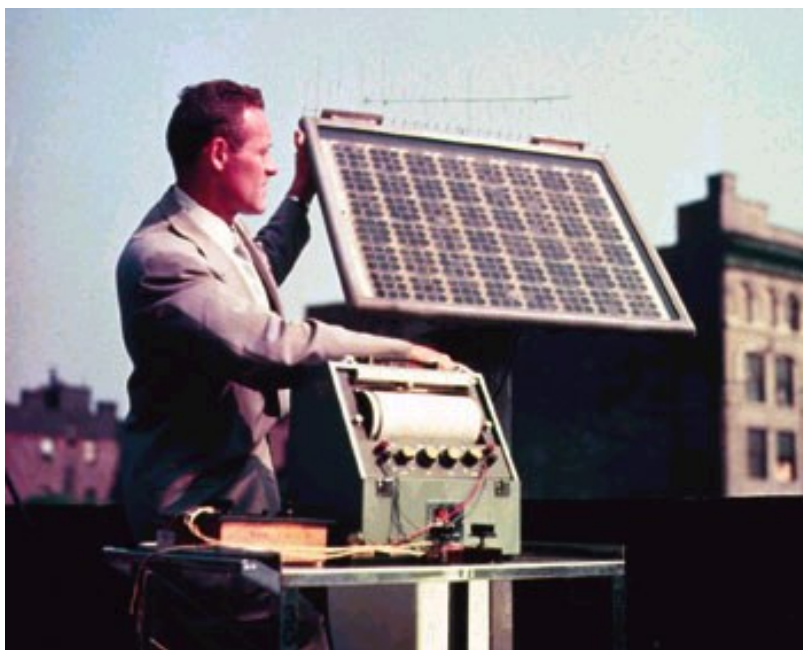


Tisk:

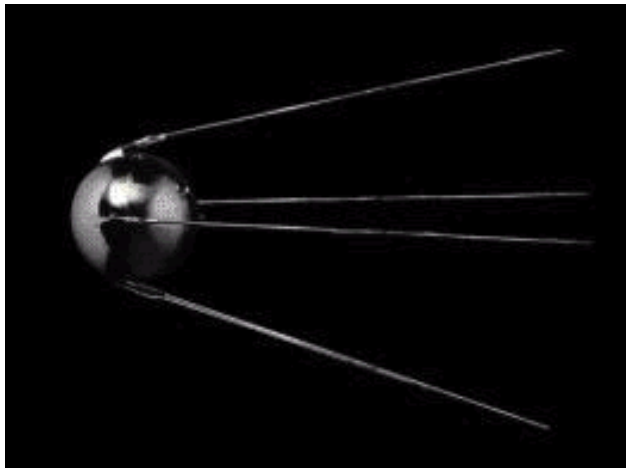
„počátek nové éry využití neomezené energie Slunce“ (Times)

„jednoho dne mohou sluneční články vyrobit více energie než zdroje založené na uhlí, ropě či jádru“ (New York Times).

Americus, Georgia: První testy Bellovských slunečních baterií



Bell Labs, 1955



4. října 1957: Sputnik
83 kg na oběžná dráha 250 km

Vanguard I.

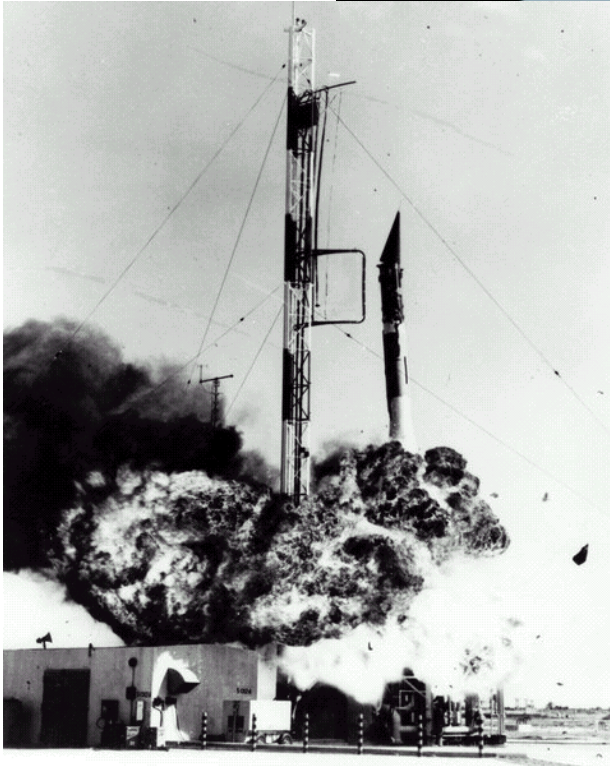
17.3.1958
1.47 kg



Grep na oběžné dráze [Nikita Chruščov]

První start Vanguard I. se konal 6. prosince 1957 v Cape Canaveral, Kennedy Space Center. Byl to první pokus Spojených států vypustit satelit na oběžnou dráhu Země. Raketa však vystoupala pouze pár stop než se zřítila zpět na startovací rampu:

Vanguard TV3 Failed Rocket Launch



Posměšné komentáře tisku:

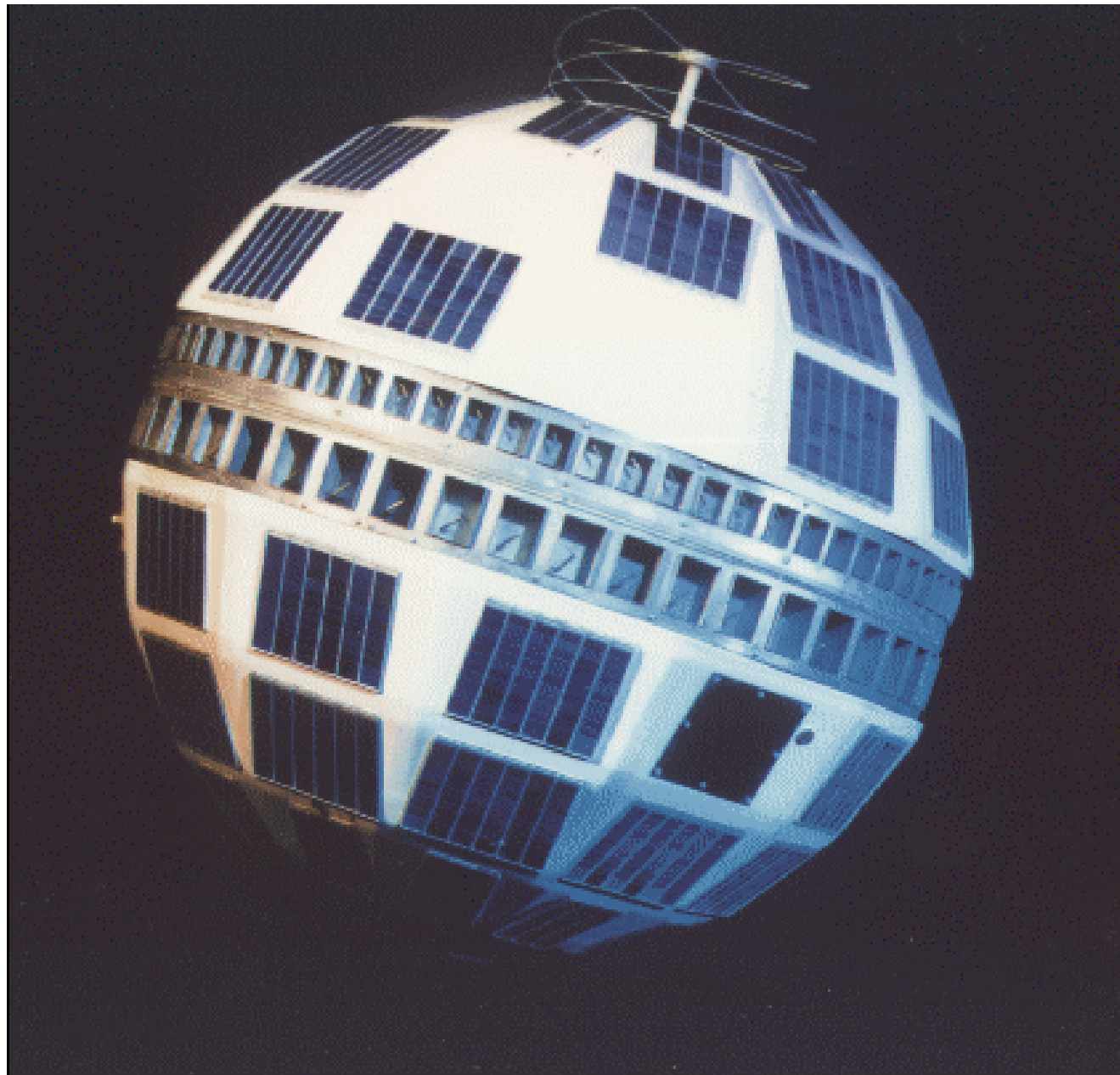
- "kaputnik" *Daily Express*,
- "flopnik" *Daily Herald*,
- "puffnik" *Daily Mail*
- "stayputnik" *News Chronicle*.

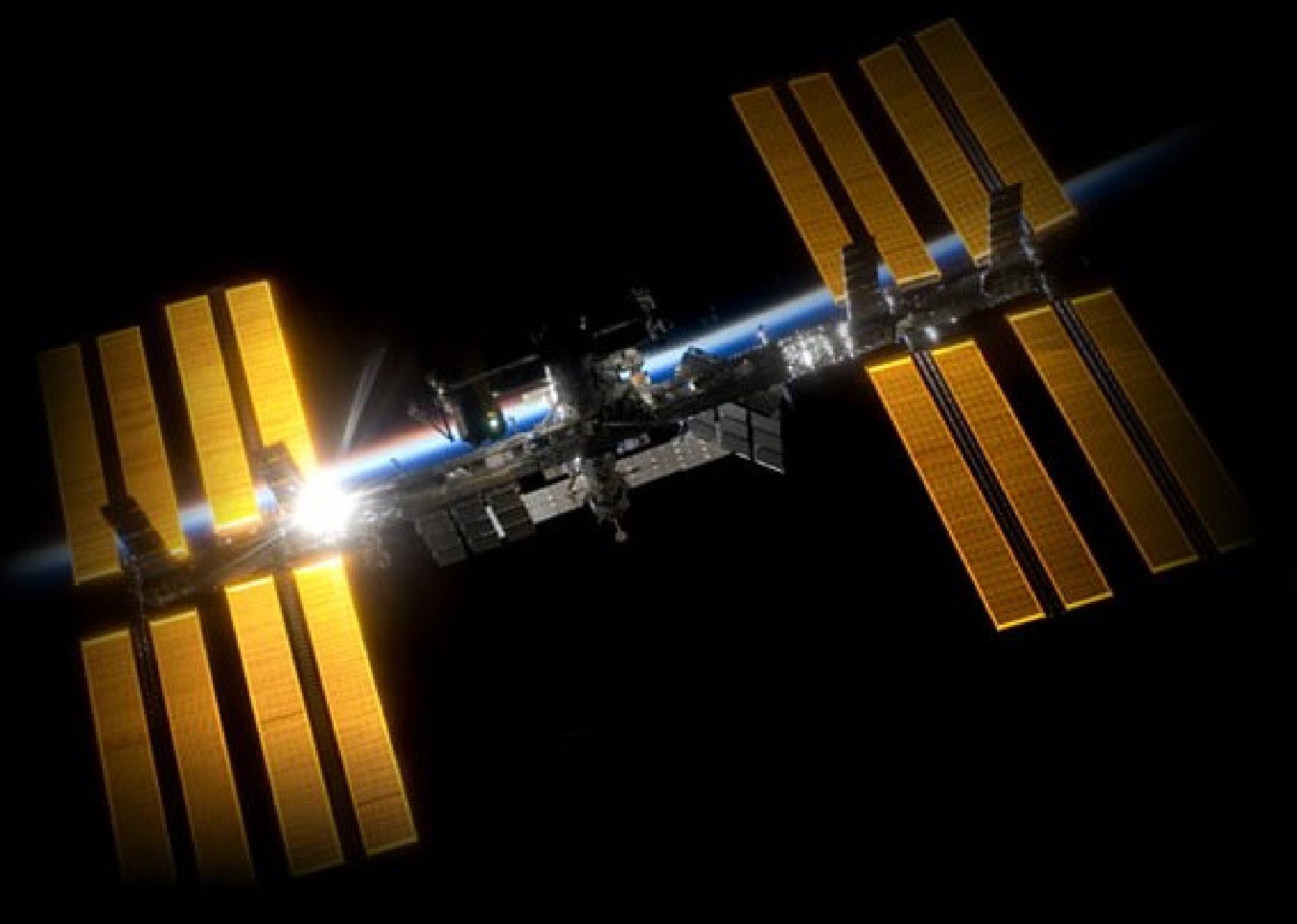


Ale Vanguard 1 byl také prvním satelitem napájeným fotovoltickými články. Vysílal signály 7 roků (Sputnik jen 3 týdny). Vanguard 1 dodnes zůstává nejstarším umělým objektem na oběžné dráze.

1962
první
telekomu-
nikační
družice:

Telstar



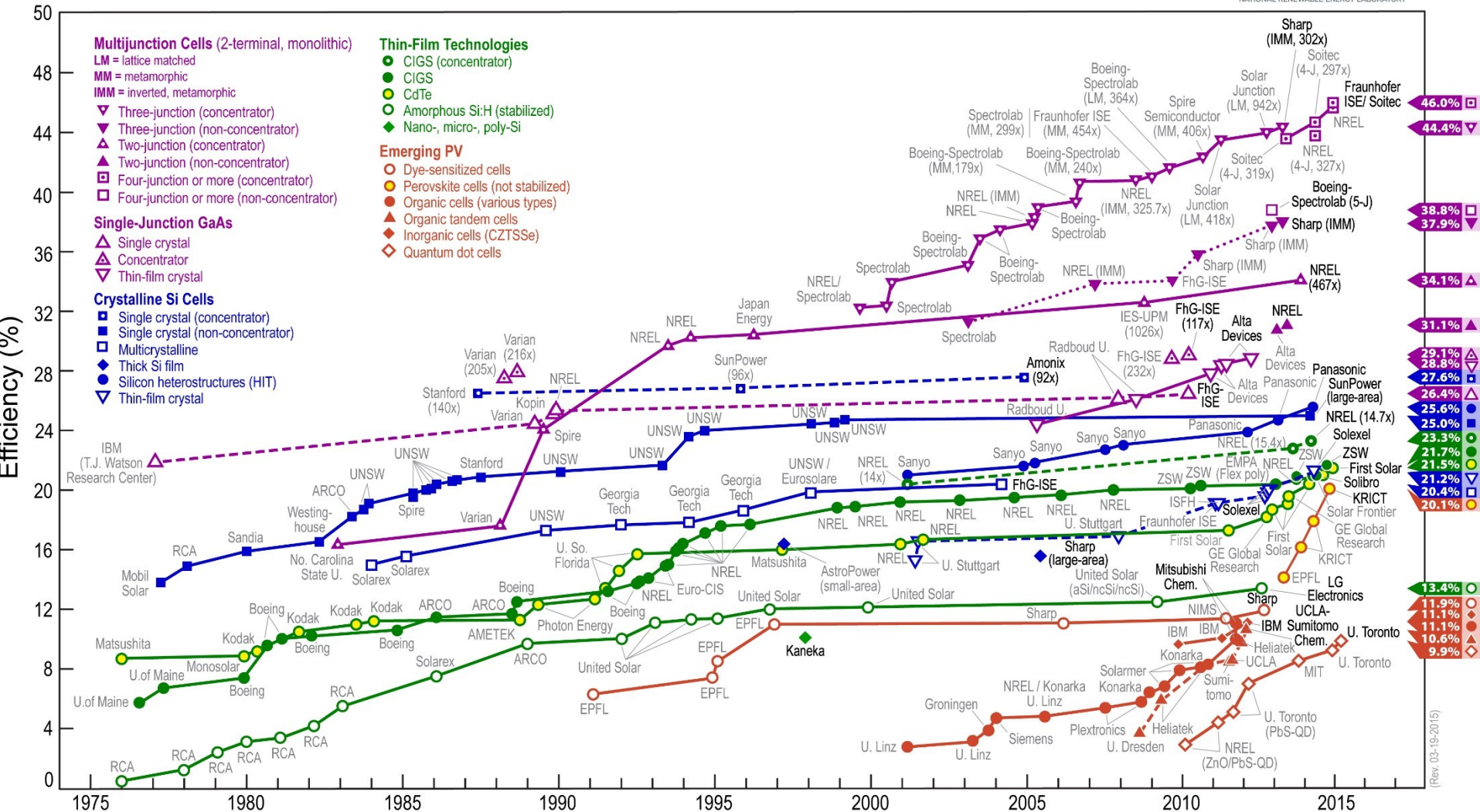




Vývoj účinnosti fotovoltaické přeměny:

http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg

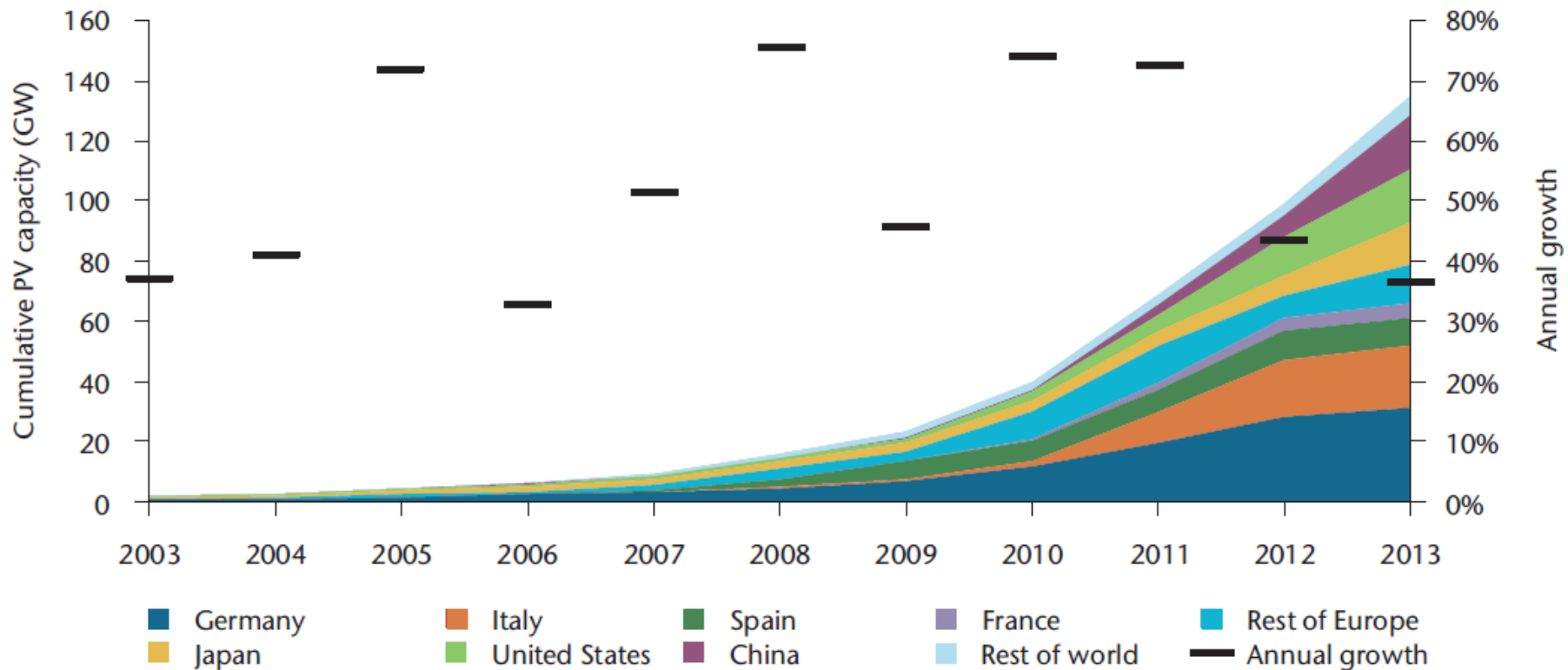
Best Research-Cell Efficiencies



Údaje
Mezinárodní energetické agentury:
Solar Photovoltaic Energy -
2014

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy---2014-edition.html>

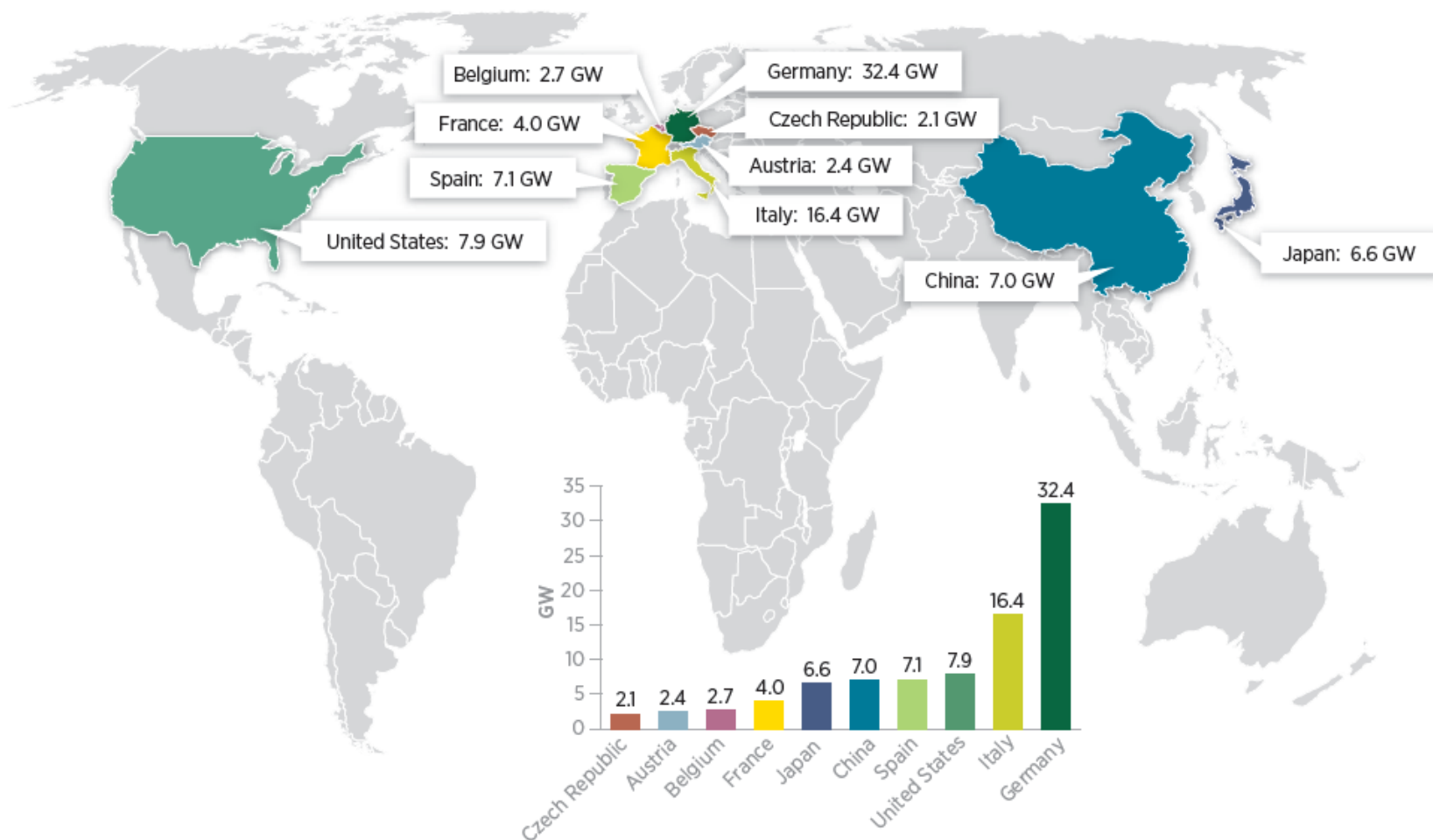
Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v minulých letech a průměrná rychlost růstu



Source: Unless otherwise indicated, all tables and figures derive from IEA data and analysis.

KEY POINT: Cumulative PV capacity grew at 49%/yr on average since 2003.

Solar Electricity Installed Capacity (2012) – Select Countries

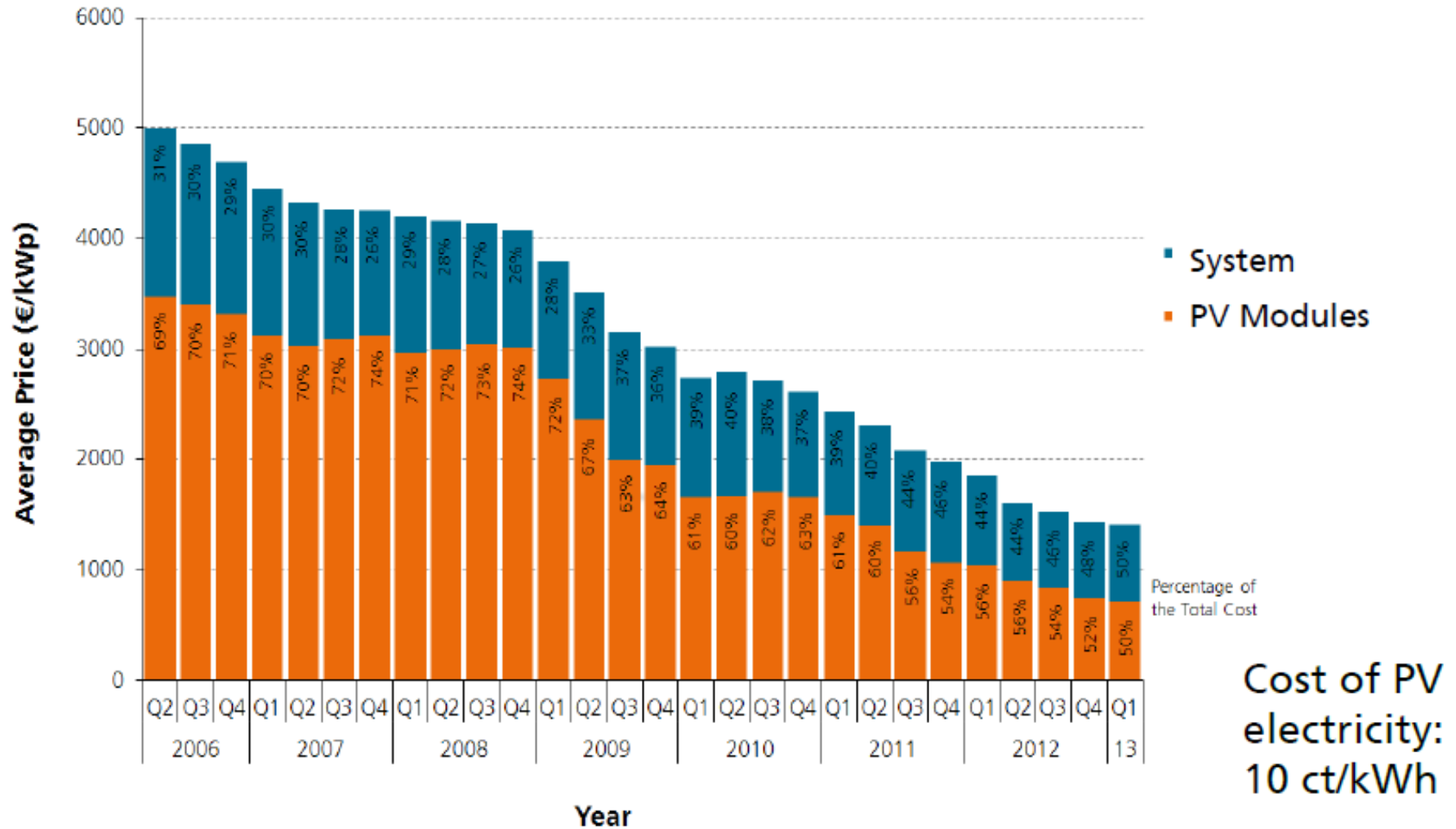


Sources: SEIA/GTM, REN21, Larry Sherwood/IREC
* Includes PV and CSP

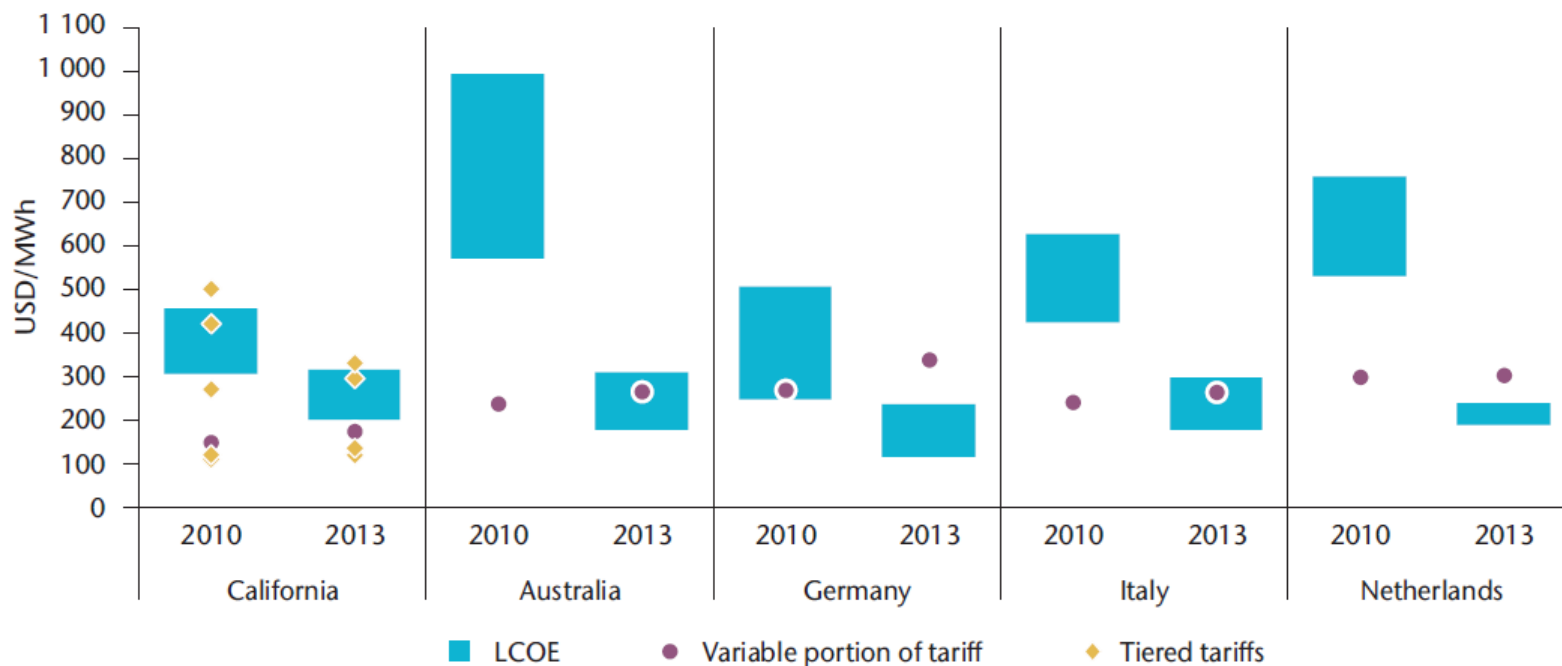
65

Solar | October 2013

Průměrná cena pro střešní fotovoltaické systémy v Německu:



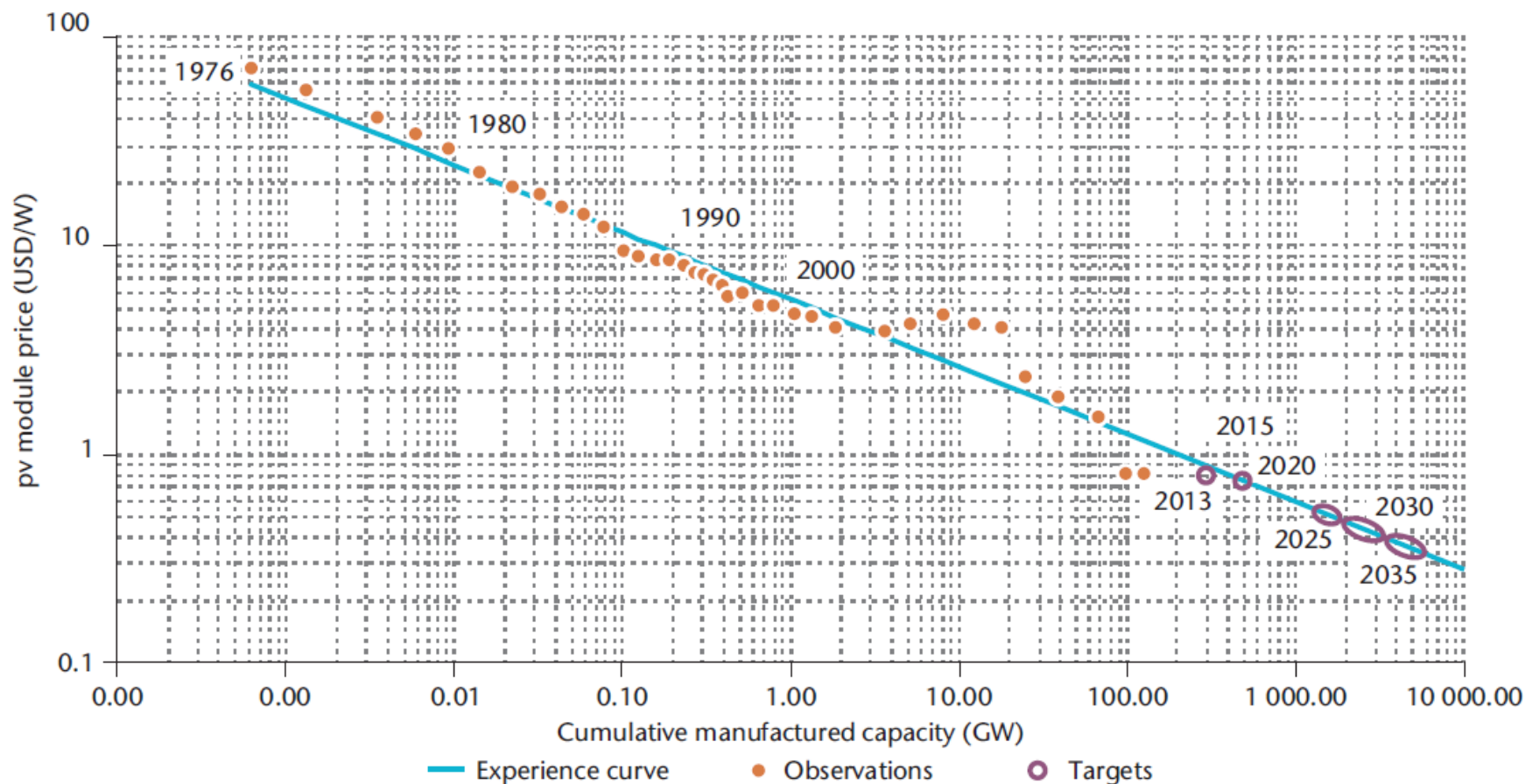
Cenová parita se sítí byla v roce 2013 dosažena v řadě zemí:



Note: Household electricity tariffs exclude fixed charges. LCOEs are calculated using average residential system costs (including value-added tax and sales tax in where applicable, and investment tax credit in California); ranges mostly reflect differences in financing costs. The tiered tariffs in California are those of Pacific Gas and Electric. Tiers 3 to 4 or 5 are tariffs paid on monthly consumption when it exceeds given percentages of a set baseline. All costs and prices are in 2012 USD.

KEY POINT: Grid parity underpins PV self-consumption in Germany, and net metering in California.

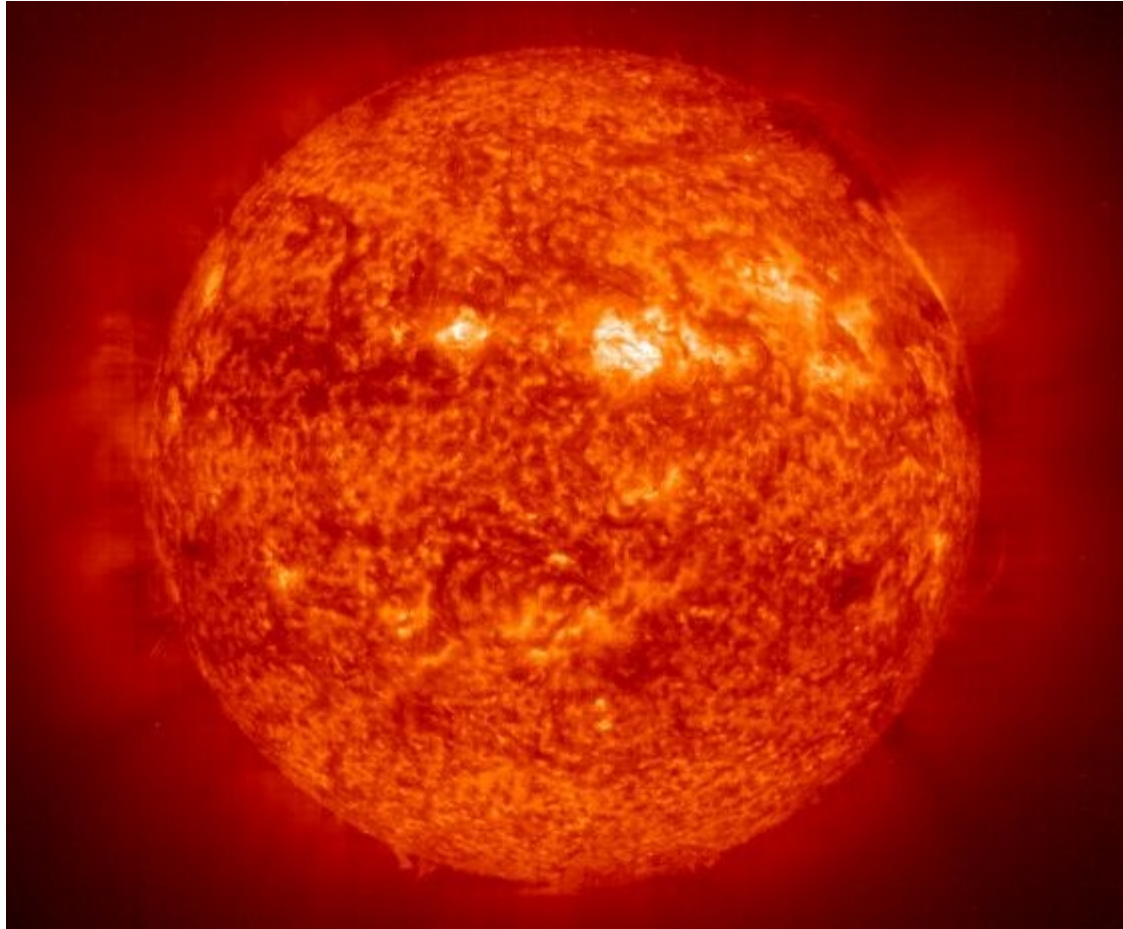
Dosavadní a očekávané ceny fotovoltaických modulů a Swansonův zákon učební křivky fotovoltaiky (s dvojnásobným zvýšením instalovaného výkonu cena klesá o 20%)



Notes: Orange dots indicate past module prices; purple dots are expectations. The oval dots correspond to the deployment starting in 2025, comparing the 2DS (left end of oval) and 2DS hi-Ren (right end).

KEY POINT: This roadmap expects the cost of modules to halve in the next 20 years.

5) Stojí to za to?



Energetické náklady panelu



Radix 72-112

553,5kWh

Aluminum
frame

glass 16kWh

EVA

Solar cells
511kWh

Tedlar
polymer
Tedlar 1kWh

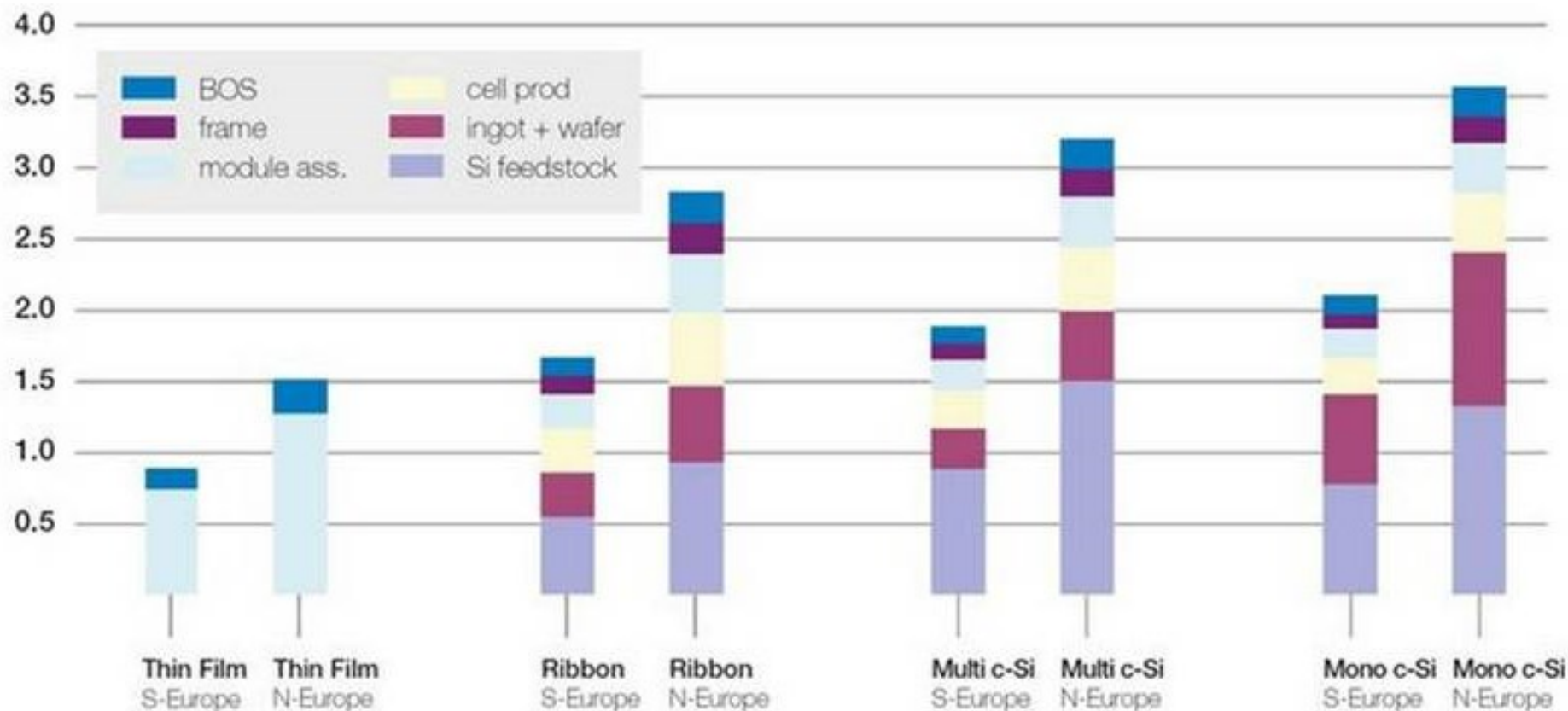
Copper bands
0,5kWh

4kWh

Connection box
1kWh

Frameless panel - 4%
BIPV - facade - 3%

Doba energetické návratnosti



Source: Alsema, De Wild, Fthenakis, 21st European Photovoltaic Energy Conference

ERoEI = Energy Return on Energy Invested (energetický zisk) pro FV je 10 - 20

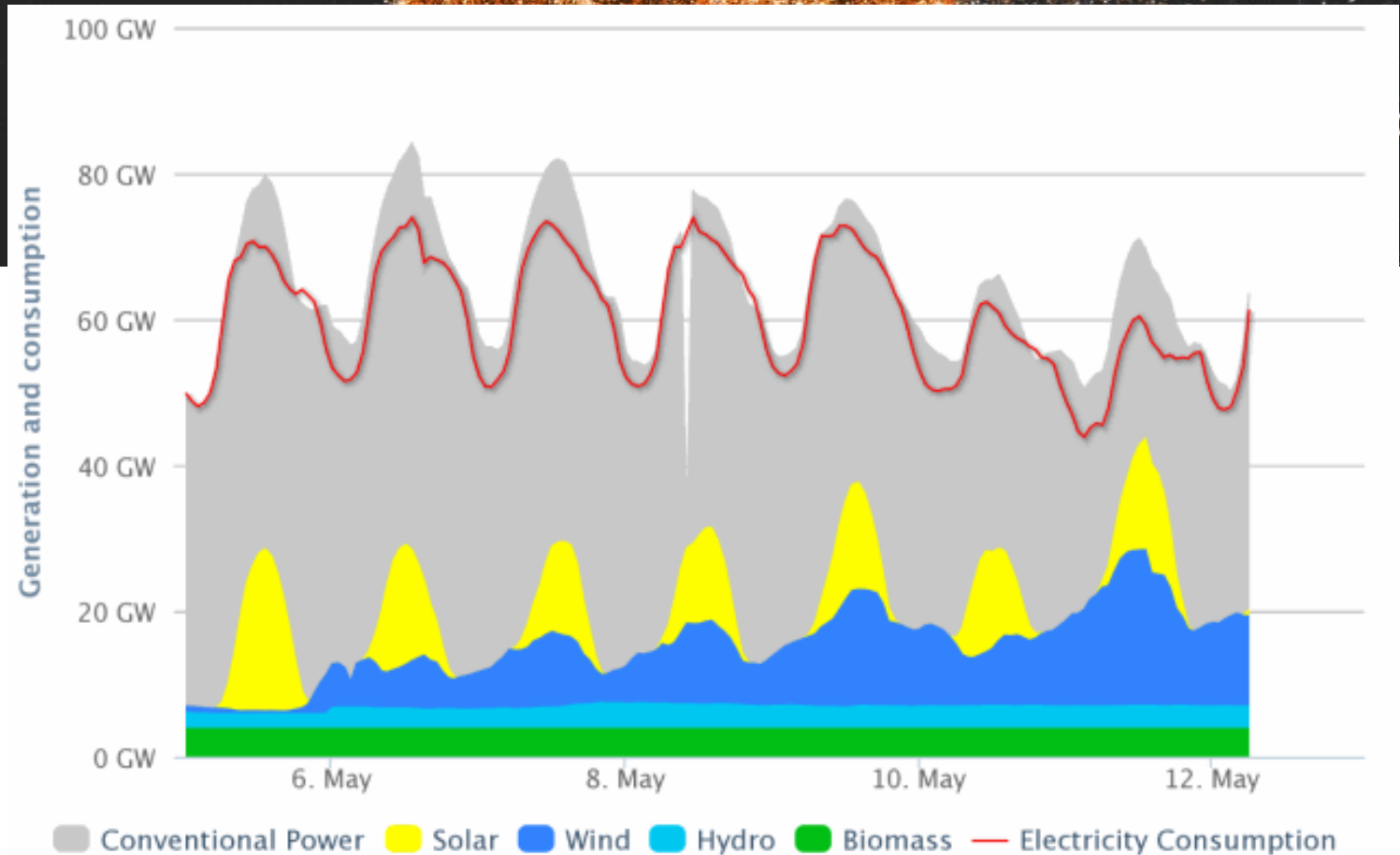
Příklady ERoEI pro jiné energetické zdroje

Zdroj	ERoEI
Ropa v počátcích těžby	100
Texaská ropa okolo r. 1930	60
Blízkovýchodní ropa	30
Jiná ropná pole	10-35
Přírodní plyn	20
Kvalitní uhlí (Austrálie)	10 – 20
Nekvalitní uhlí (např. ČR)	4 – 10
Vodní elektrárny	10 – 40
Jaderné elektrárny	4 – 5
Ropné písky	Max. 3
Bitumenové břidlice	Max. 1,5
Biopaliva (v Evropě)	0,9 – 4

(Martin Kašík, Václav Cílek: Vesmír 87, únor 2008 | <http://www.vesmir.cz>)

Závěry: Fotovoltaická revoluce?

Německo, květen 2014



Last Update: 12.05.2014, 08:16

DATA TABLE

DATA CHART

AGGREGATED CURVE

France

Germany/Austria (Phelix)

Switzerland (Swissix)

11/05/2014

11/05/2014

Day

Week

Month

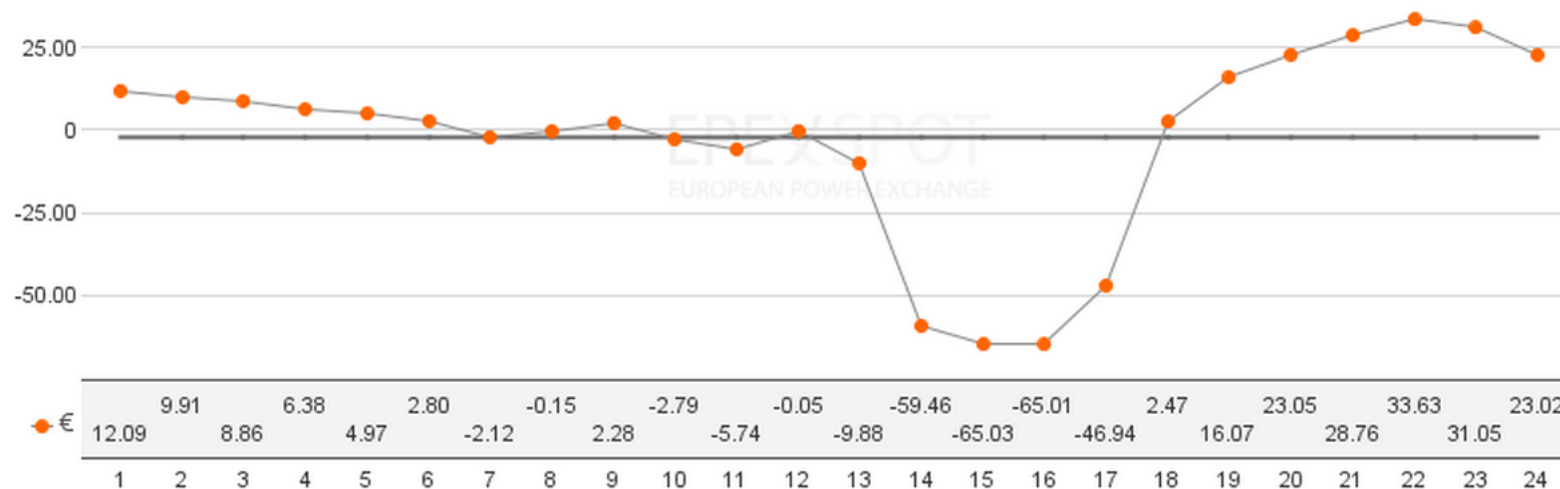
Quarter

Year

no average

€/MWh

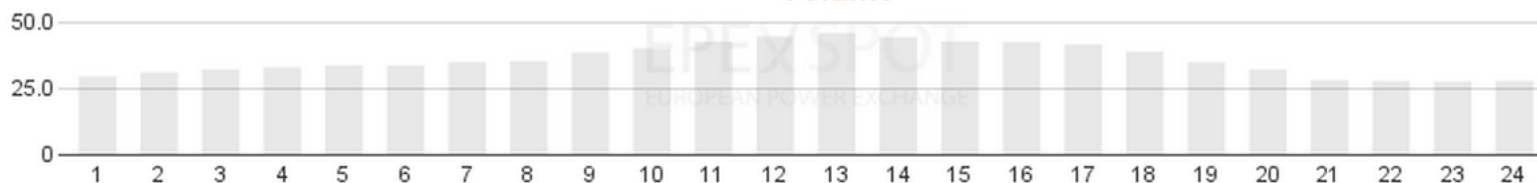
Price



GWh

Volume

Total: 866.153 GWh



Price
 Price Baseload
 Price Peakload
 Volume

Solar roadways

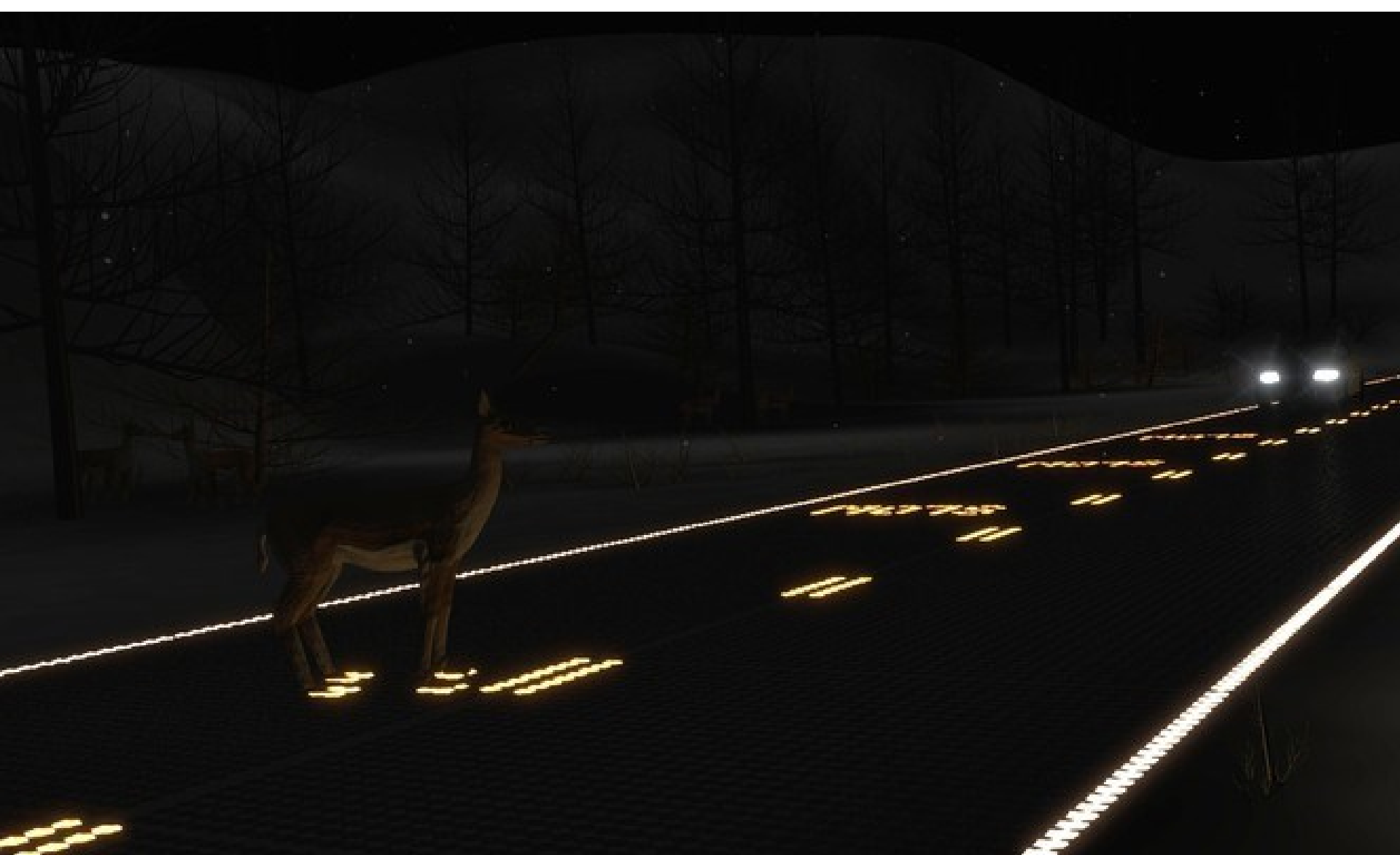




NOS.nl

Quelle: NOS.nl



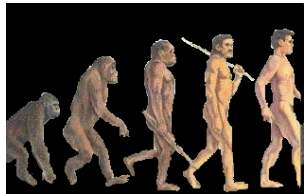


Solar roadways



Závěry: Fotovoltaická revoluce?

Historická období



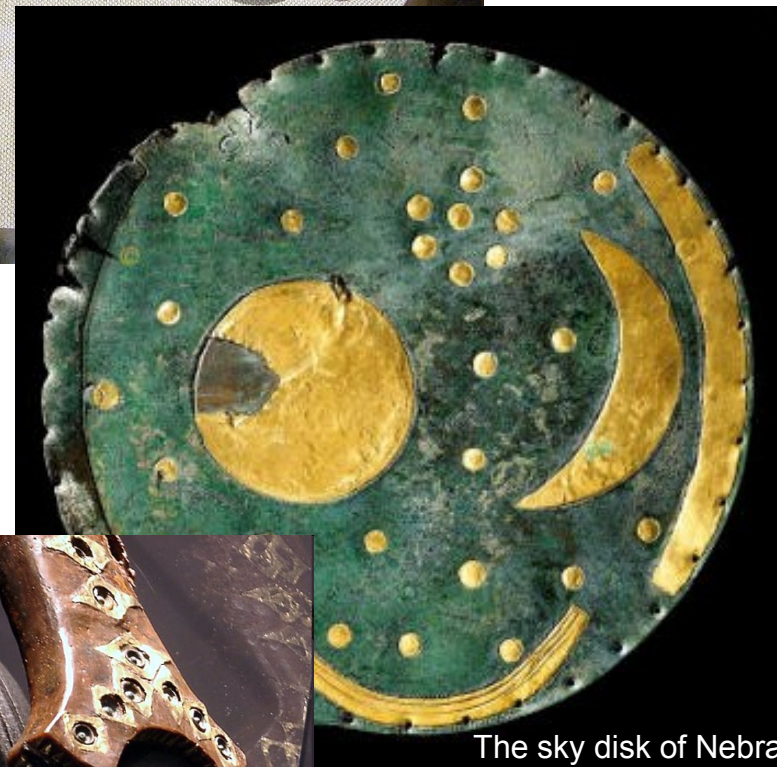
Doba kamenná



Doba bronzová

Doba železná

Doba sluneční



The sky disk of Nebra

