



12. CELOSTÁTNÍ SEMINÁŘ UČITELŮ STŘEDNÍCH ŠKOL

PERSPEKTIVY ELEKTRONIKY 2023

Fotovoltaické články a panely současnost a trend rozměrů a parametrů

Ing. Jaromír Řehák, COO Solartec

Absolvent SPŠVE Rožnov v roce 1977

- /// 1839 - fotoelektrický jev - Edmund Becquerel, francouzský experimentální fyzik
- /// 1877 - fotoelektrický jev na pevném selenu W.G. Adams a R.E. Day
- /// 1883 - První FV články vyrobené ze selenových desek
americký vynálezce Charles Fritts
- /// **až v roce 1954** bylo však dosaženo 6 %-ní účinnosti na křemíkovém materiálu
- /// cena solárního článku s účinností 2% o výkonu 14 mWp byla 1 785 USD/Wp
(\$ roku 1955 !)
(Bell Telephone Laboratories – USA)
- /// Dnes (11/23) se cena za Wp pohybuje okolo 0,093 USD^(*) a účinnost >24,2%,
(* *The OPISAPAC Solar Weekly*) výkon 7,99Wp
- /// postupným vývojem technologií **klesla cena téměř 20 tisíc krát !**

Historie – první fotovoltaický článek ve světě

1953
Daryl Chapin,
Calvin Fuller,
Gerald Pearson
Bell Telephone
Laboratories
USA

**Noted Scientist in Man
Of Many Varied Interests**

BASKING RIDGE — Daryl M. Chapin of Basking Ridge is a man of many and varied interests. They range from solar batteries for satellites to organic gardening, education, the making of carillon bells, to just being out-of-doors.

The Bell Laboratories scientist was a member of a three-man team of scientists who developed the Solar Battery. Such technology is today sending back signals from Vanuatu after two years in outer space.

He uses a solar battery to generate low voltage electricity on his fence at home in order to discourage the raccoons from eating his vegetables.

The Chapin family is interested in organic gardening products. "Most of the time I am apt to find me in the kitchen baking bread," the scientist said. He uses whole grain bread and keeps 240 lb. bags of wheat in his cellar and when necessary, in his kitchen.

He and his wife, a graduate of the Boston School of Fine Arts, enjoy flowers and have a small rose garden. The garden is mostly tropical plants.

However, in his laboratory at the Bell Labs, he has set up along some of the apparatus are set amid an array of various scientific experiments that he has worked on as well as a log gravel truck he rigged up with a solar battery.

The solar battery, he explains, uses strips of specially prepared silicon to convert the sun's energy directly into electricity. It was first experimentally used five years ago to power the transmission of voices over telephone wires in rural Georgia. The mate to this particular battery powers his home fence.

The battery has been used to generate electricity for a ferris wheel which has been operating

... (Continued on Page 2)

SOLAR BATTERY INVENTOR — Daryl M. Chapin with duplicate of the original solar battery which powered the experimental telephone line in Georgia. This solar battery in his garden charges a battery which powers an electric fence to keep prowling animals out of his garden. (Staff photo by Marko.)

An article from a New Jersey newspaper that highlights Daryl Chapin and his many interests, including solar energy. The photo shows his solar system, used to power an electric fence to keep raccoons from raiding his vegetable garden.

The Inventors

Daryl M. Chapin
"It appears necessary to make our p-n barrier very near to the surface if the contact and surface resistance problem is to be solved in the vapor technique."
— Daryl Chapin, Proceedings, IRE, 1953

Chapin, an engineer, studied stand-alone power systems for providing small amounts of intermittent power to remote humid locations. He began testing selenium solar cells, but then shifted his concentration to silicon in his photoelectric studies.

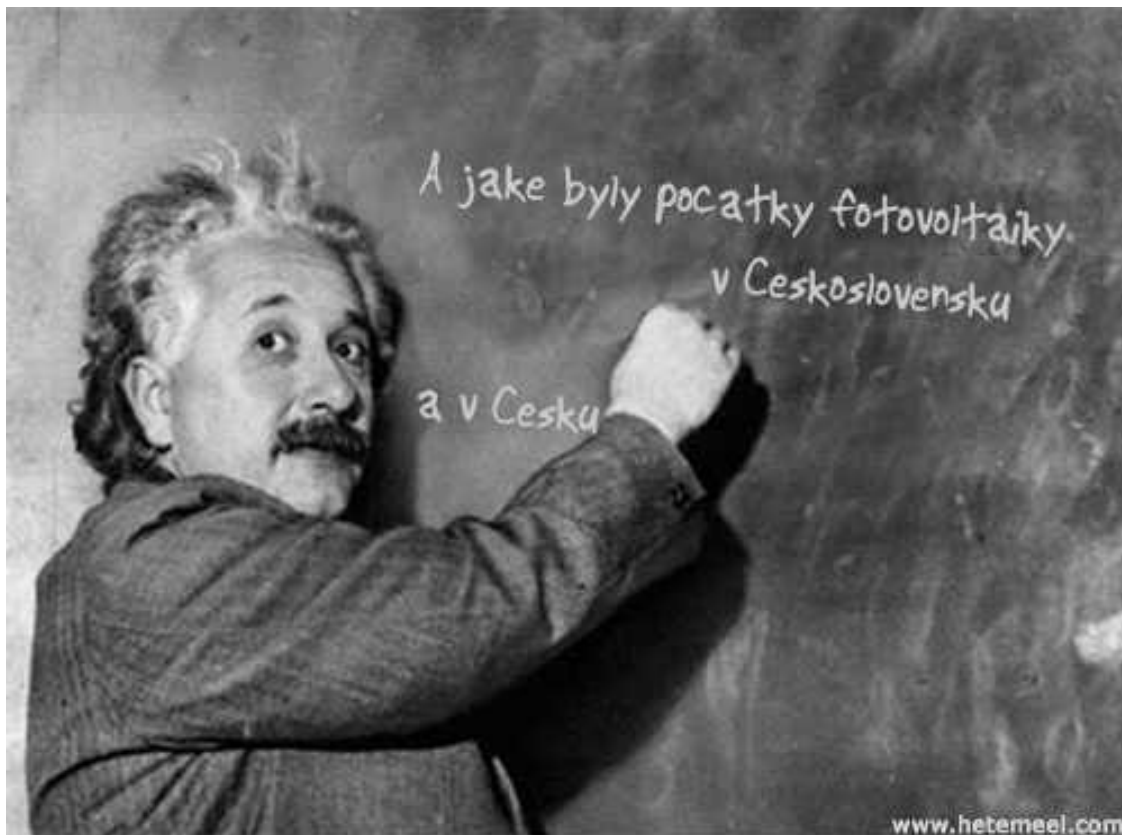
Calvin S. Fuller
"Silicon is the material. Diffusion is the process."
(Attributed to Fuller by lab assistant)

Fuller, a chemist, focused on how to control the introduction of impurities into silicon. He discovered how to produce p-n junctions in silicon by lithium diffusion. But he later found that phosphorus-diffused silicon is more stable and the p-n junction can be brought closer to the surface. Eventually, he diffused boron to form a thin p-layer on top of arsenic silicon.

Gerald L. Pearson
"Don't waste another moment on selenium."
(Attributed to Pearson by Daryl Chapin)

Pearson, a physicist, was considered the "experimentalist's experimentalist." He detected a strong photovoltaic effect in a rectifier built according to Fuller's diffusion method. And his continued experimentation soon led to devices with better conversion efficiencies.

Historie – Československo



- ❖ 1968 MFF UK Praha
- ❖ 1989 Tesla Rožnov
- ❖ 1993 Solartec
- ❖ 2006 Schott
Kyocera

Historie – Od prvních vědeckých prací k průmyslové výrobě v ČSFR a v ČR

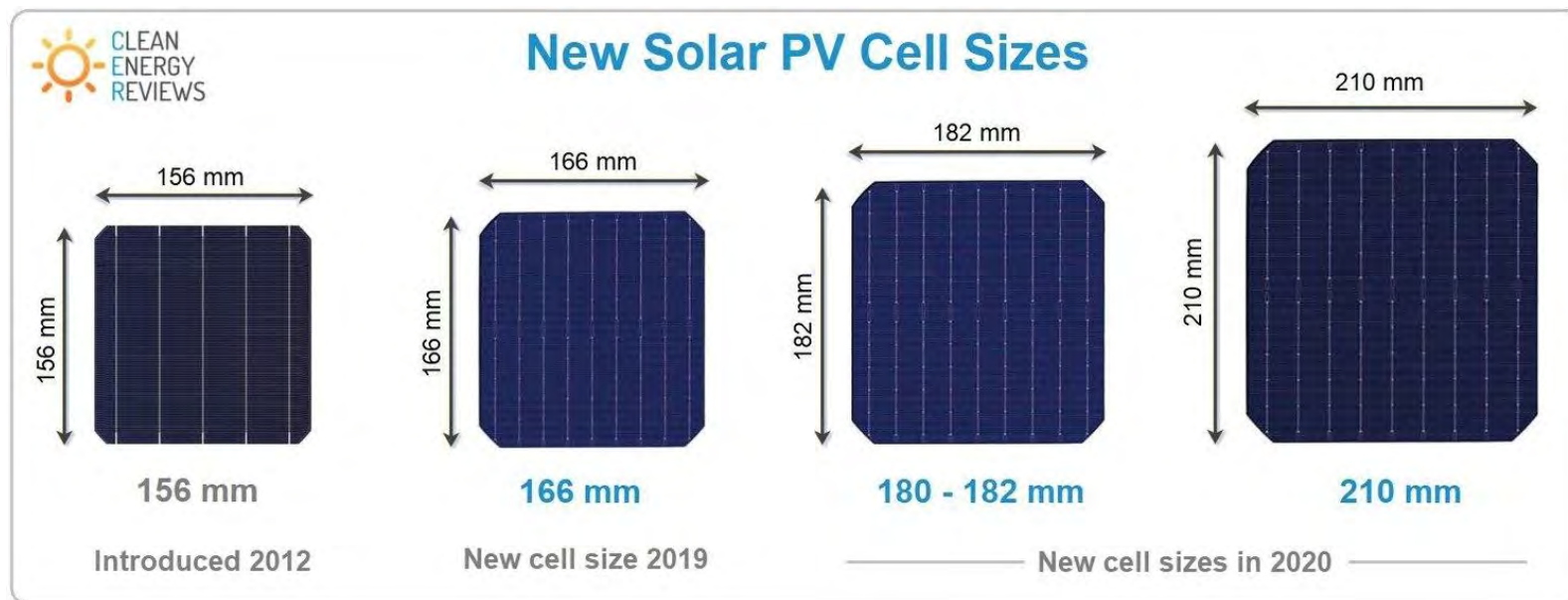
- /// Matematicko fyzikální fakulta UK v Praze
 - ~1968 Jiří Toušek
- /// Vojenská akademie AZ v Brně
 - František Schauer
- /// Fyzikální ústav AV ČR
 - Jan Kočka, Milan Vaněček
- /// Slovenská Technická Univerzita v Bratislavě
 - 1987 Michal Ružinský
- /// Tesla Rožnov VaV - 1989 Jaromir Řehák
- /// ČVUT Praha - 1990 Vitězslav Benda
- /// **Solartec Rožnov pod Radhoštěm** - 1993 počátek výroby SČ

Obecný trend – velikost FV článků – M6, M10, M12/G12

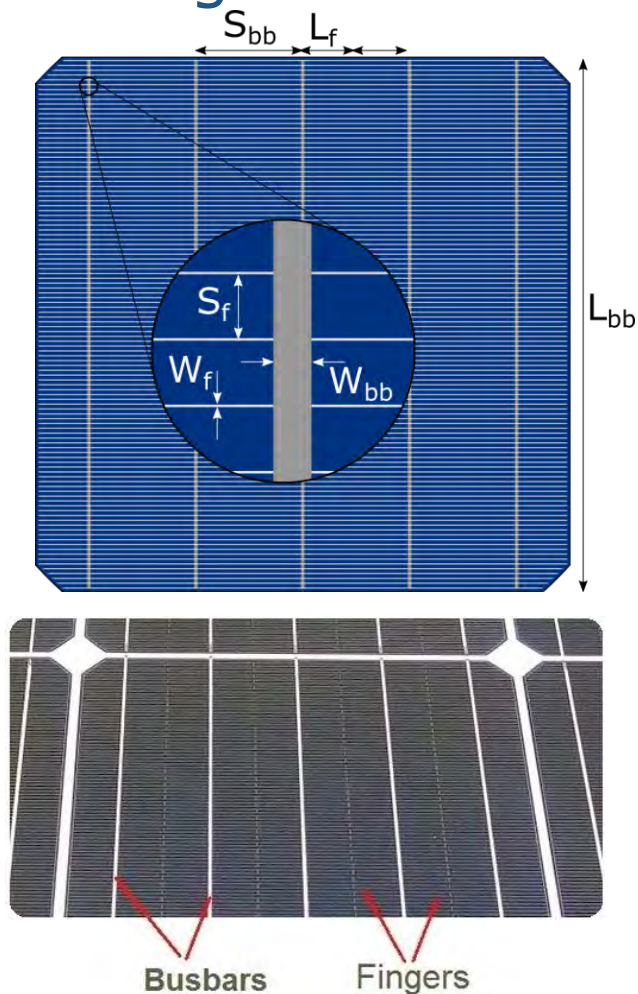
- ❖ M6 - 166 x 166 mm
- ❖ M10 - 182 x 182 mm
- ❖ M12/G12 - 210 x 210 mm

V současné době většina výrobců „přezbrojila výrobní linky na velikost SČ M12. Typy M6 a M10 nebude možné nahradit.

➤ trend FV panelů jsou SČ M12



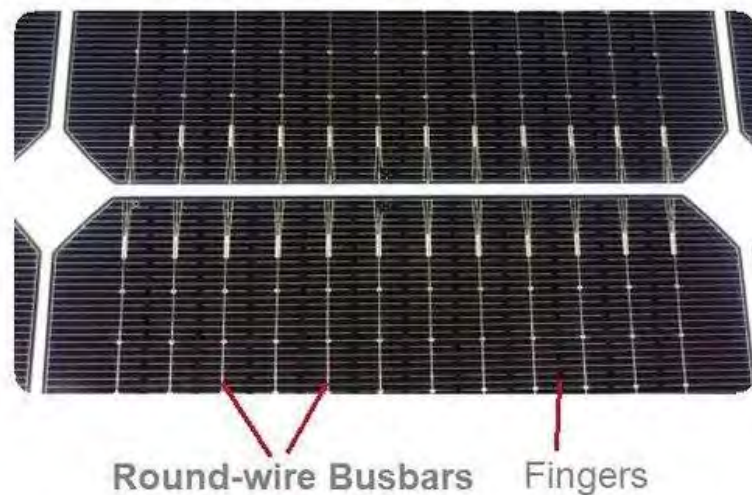
Technologie FV článků – kontakty (Fingers & Bussbars)



S rostoucí velikostí FVČ nastává problém s vyvedením výkonu = odporové ztráty. Z toho důvodu a také z důvodů členění SČ na 1/2 nebo na 1/3 se používá násobný bussbar

trend Multiple Bussbars

Multiple Busbars - MBB

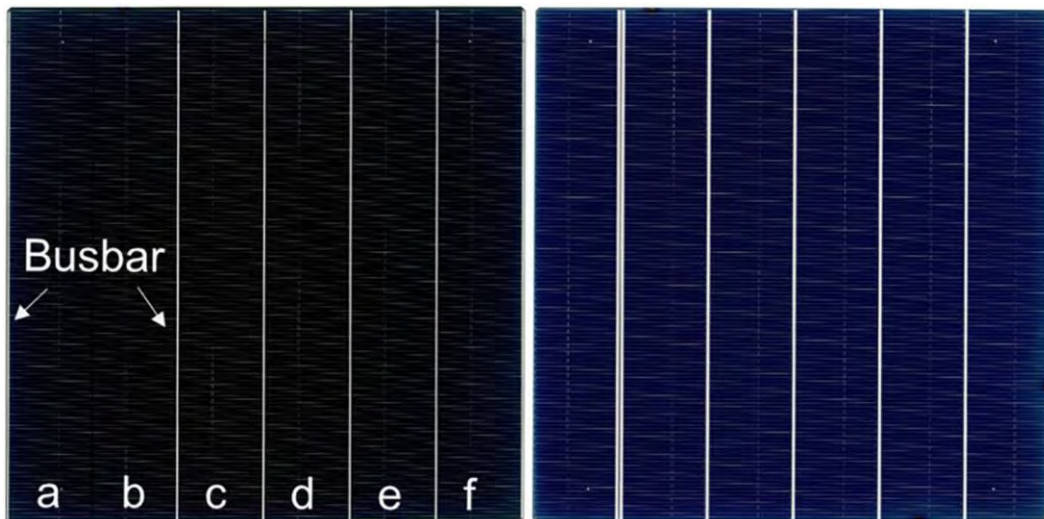


Technologie FV článků – vertikální struktura

- ❖ P typ / N typ Si desky
- ❖ PERC technologie
(Passivated Emitter Rear Contact)
- ❖ HJT – Hetero Junction Technology
- ❖ TOPcon – Tunnel Oxide
Passivated Contact

Standard je PERC technologie

- ❖ trend TOPcon
technologie na N-typu Si
- ❖ ??? Petrovskite **SČ**



TOPcon

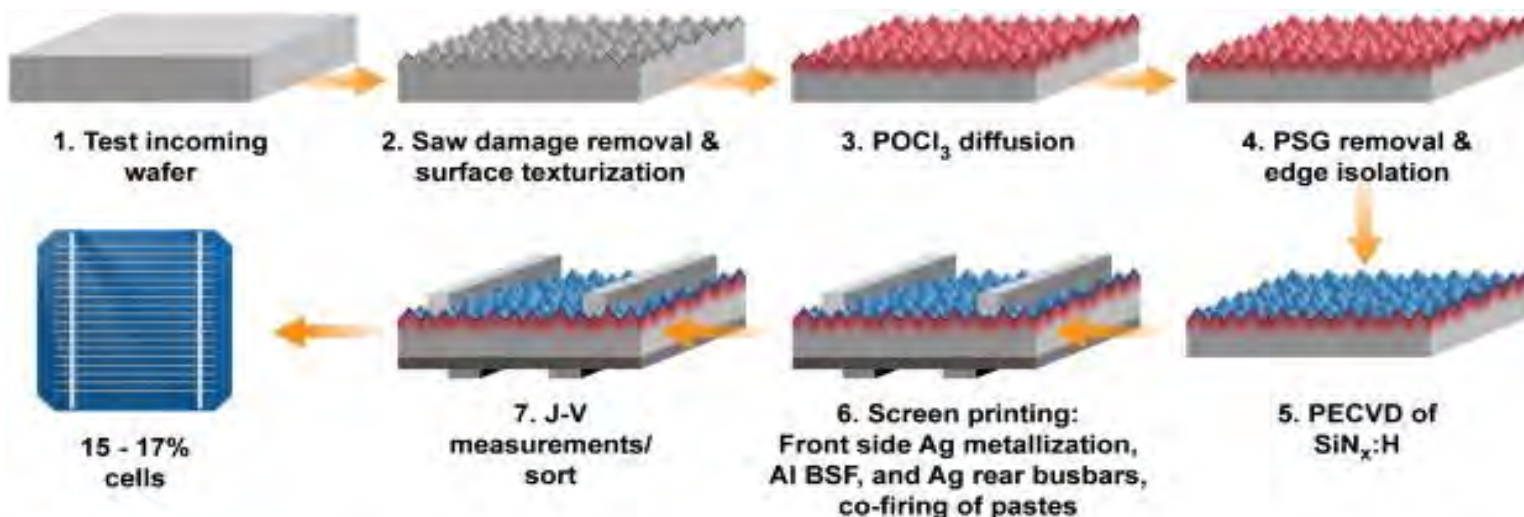
solární článek z přední
strany (vlevo)

a ze zadní strany

Image: Fraunhofer Institute for
Solar Energy Systems ISE, Progress
in Photovoltaics, Creative Commons
License CC BY 4.0

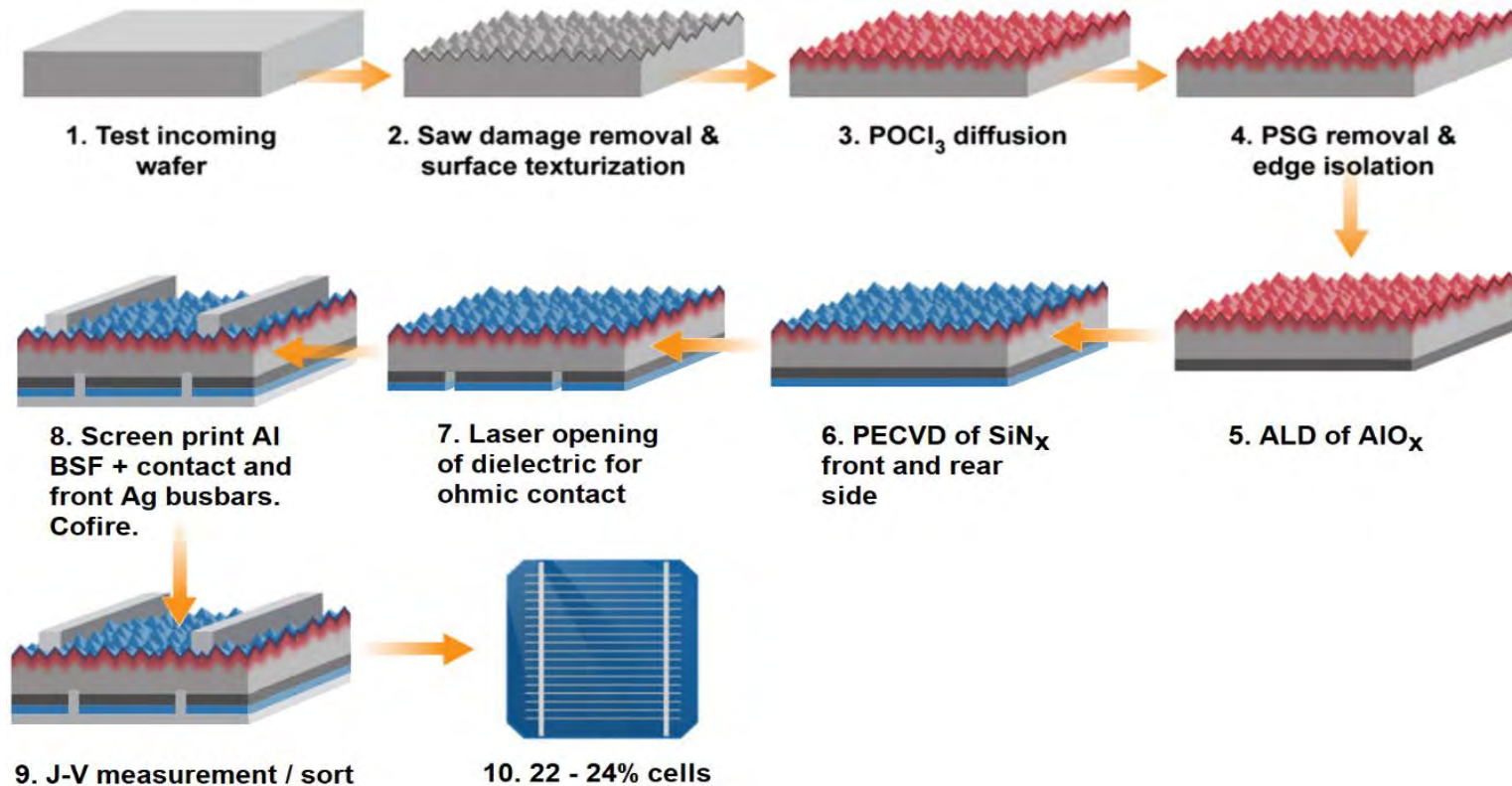
Klasická technologie FV článků – BSF z Al pasty (<2010)

- /// Si desky (Si wafers),
- /// Čistění, texturizace povrchu (leptání dle orientace mřížky Si) vytvoření struktury pro lepší absorpci světla
- /// Difuze PN přechodu
- /// Depozice Antireflexní vrstvy (ARC - antireflective coating)
- /// Sítotisk – AG pasta přední a AL pasty zadní kontakty
- /// Sintrování (spékání) metalizace - kontaktů



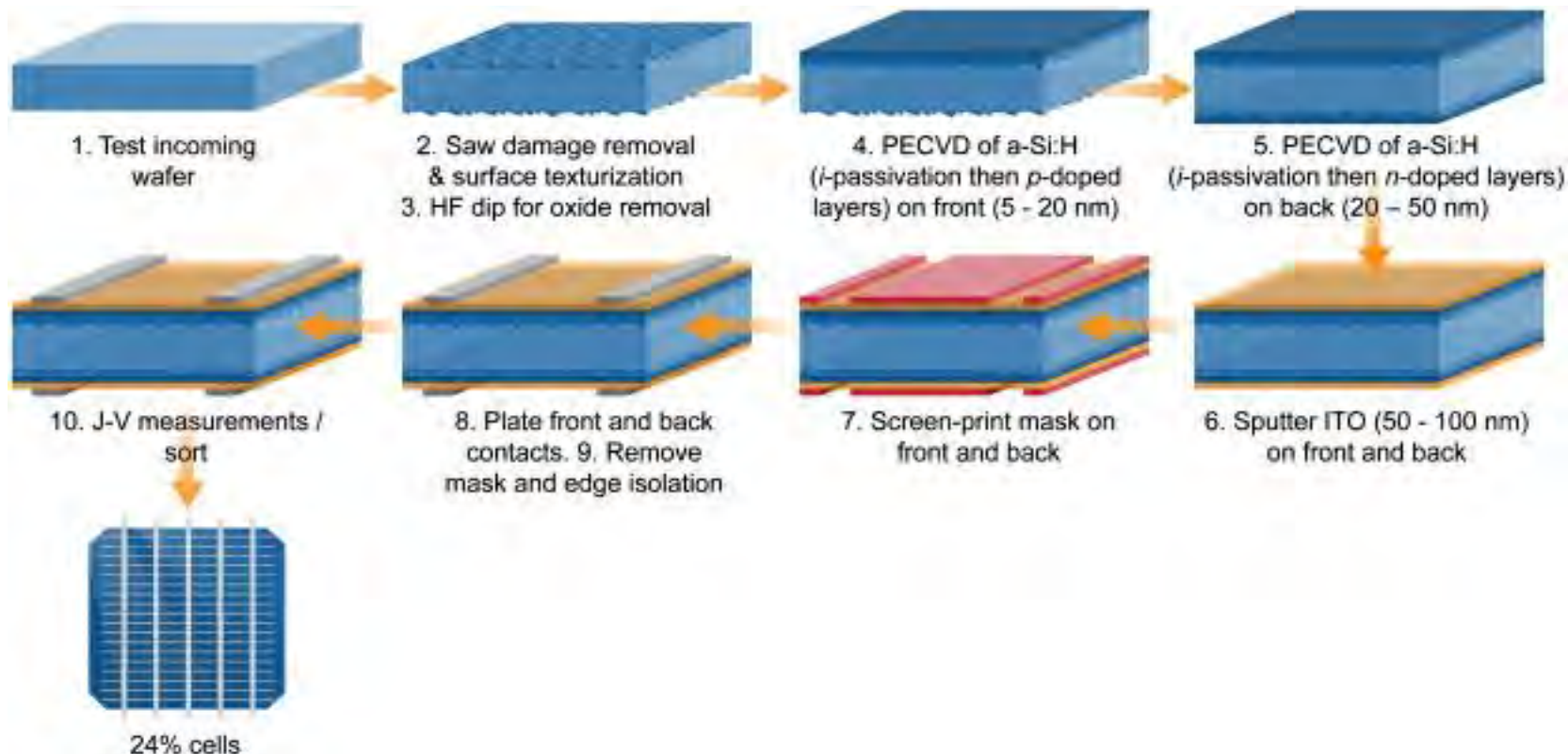
PERC technologie FV článků (Passivated Emitter Rear Contact)

- PERC – pasivovaný kontakt zabraňuje rekombinaci nosičů na povrchu (pro kontakt se otevírá plocha laserem)



HTJ technologie FV článků (Hetero Junction Technology)

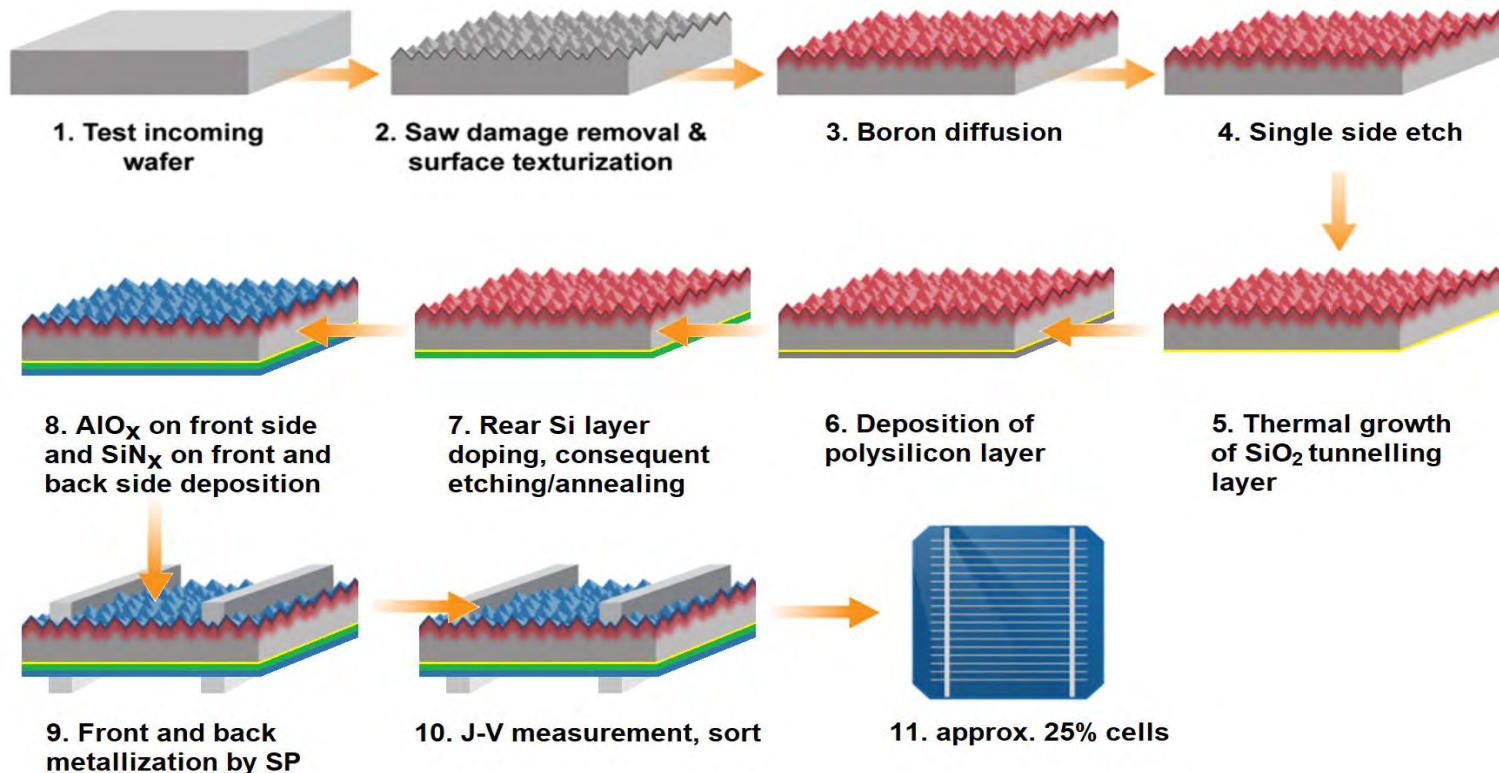
- HTJ – technologie vytvoření více PN přechodů, které přispívají v různém spektru Slunečního záření



TOPcon technologie FV článků (Tunnel Oxide Passivated Contact)

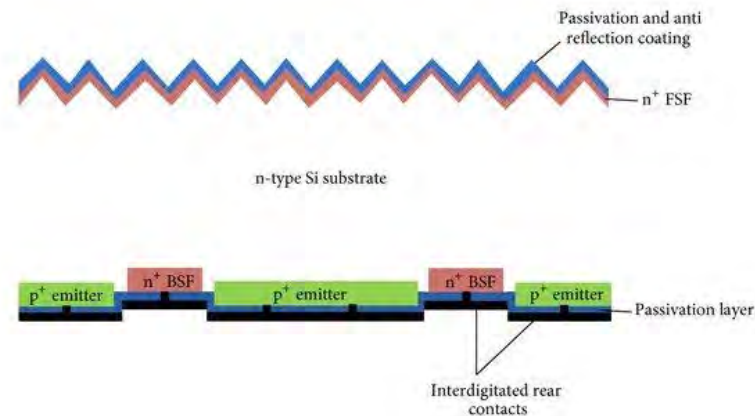
TOPcon – technologie pasivace obou stran a tunelování nosičů z kontaktů přes vrstvičku oxidu. Obvykle se používá u N-typu Si substrátu

trend TOPcon na N-typu Si



Technologie FV článků – kontakty (Fingers & Bussbars)

- IBC – Interdigitated Back Contact na N-typu Si substrátu (Interdigitované kontakty na zadní straně) – pak se používají a propojují celé FVČ = Full Cells = komplikovaná technologie



- Jinak – typicky Half-cut (HC)

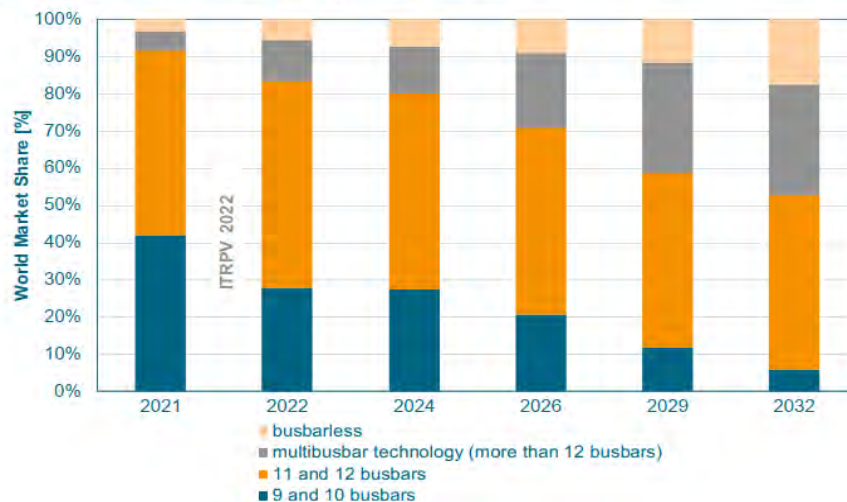
trend HC SČ v FV panelech
 > 12 Bussbars

IBC: ur rehman, Atteq & Lee, Soo. (2013). Advancements in n-Type Base Crystalline Silicon Solar Cells and Their Emergence in the Photovoltaic Industry. TheScientificWorldJournal. 2013. 470347. 10.1155/2013/470347.

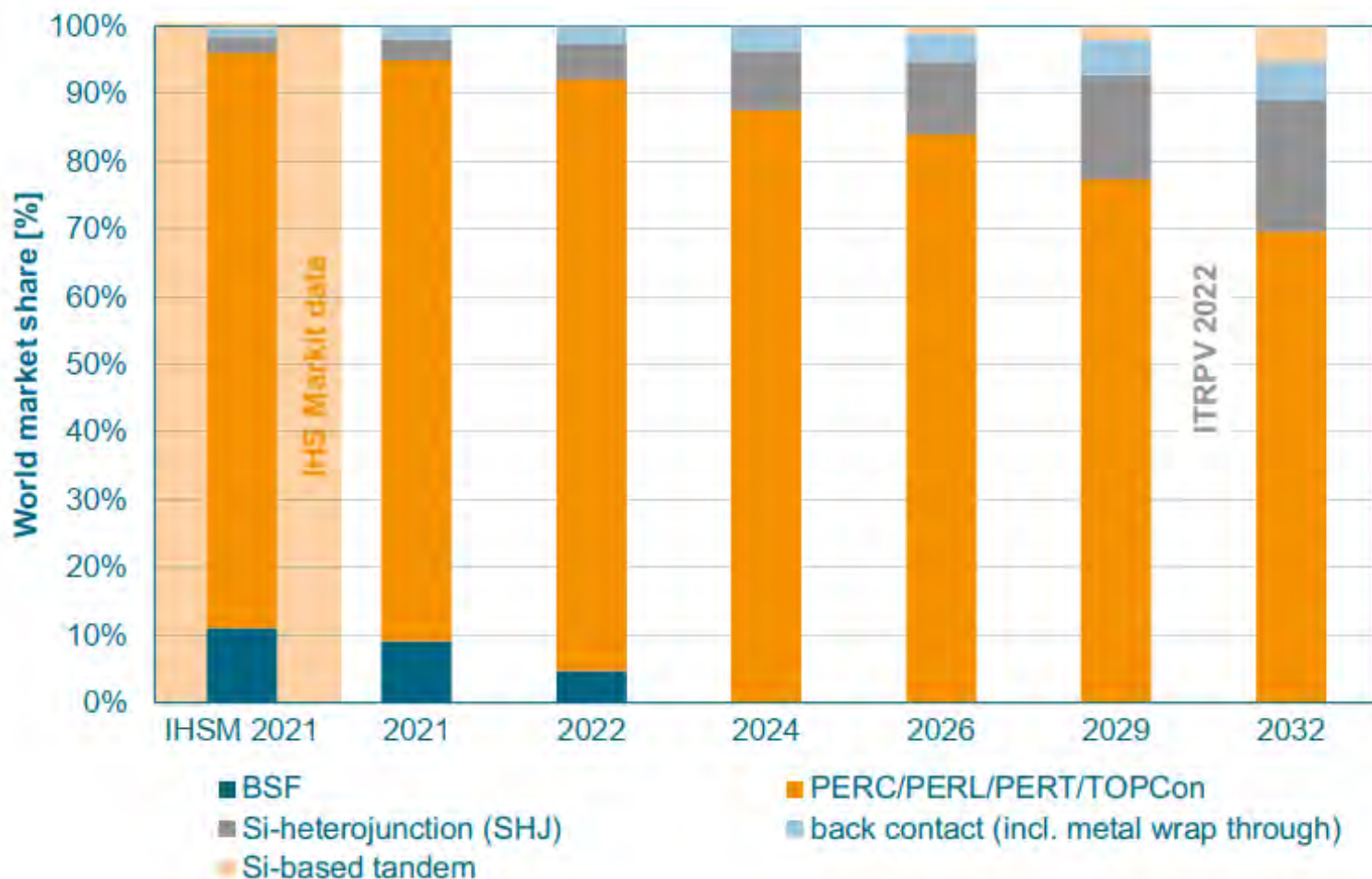
Technologii IBC vyvinuli **Radovan Kopeček (Brno)**, Florian Buchholz, Valentin D. Mihailetchi, Joris Libal, Jan Lossen, Ning Chen, Haifeng Chu, Christoph Peter, Tudor Timofte, Andreas Halm, Yonggang Guo, Xiaoyong Qu, Xiang Wu, Jiaqing Gao a Peng Dong (ISC Konstanz).

Busbar technology

For double side contacted cells in new and upgraded lines for ≥ M10



Technologie FV článků - výhledy

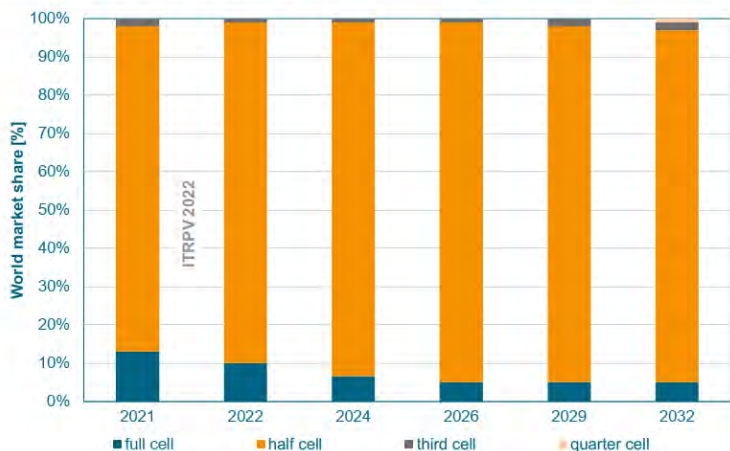


trend HC a 2,5 - 3,0 m²

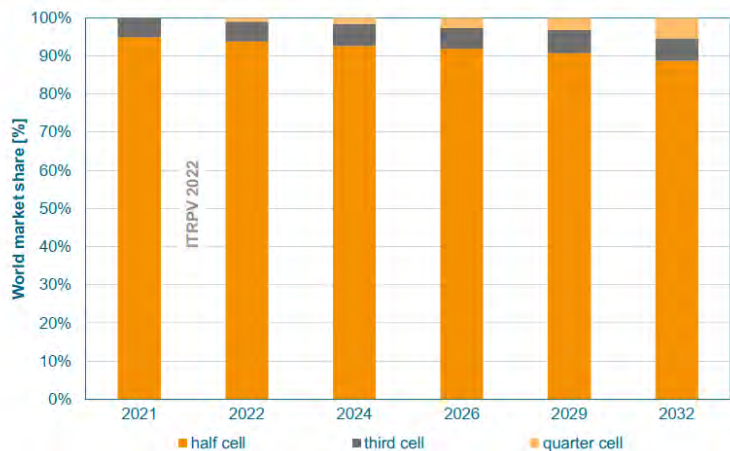
Velikost a výkon FV panelů - trendy

World market share of different cell aspect ratios

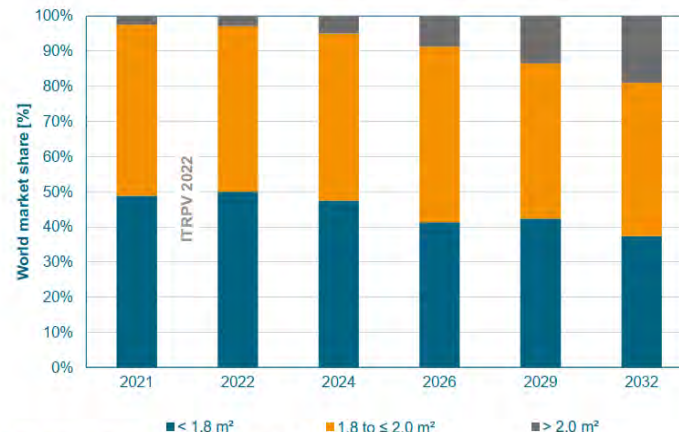
In modules for wafer sizes < 182.0 x 182.0 mm²



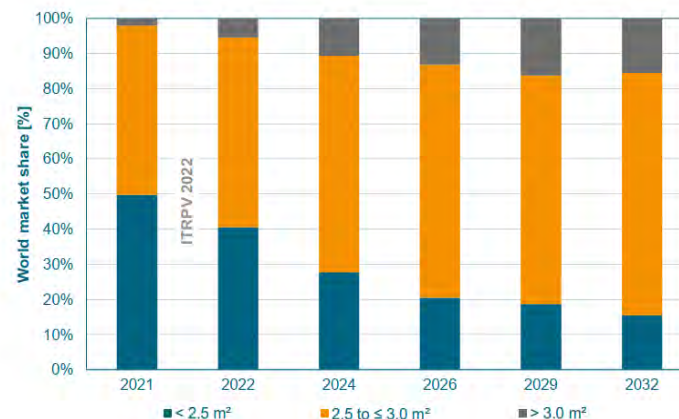
In modules for wafer sizes ≥ M10: 182.0 x 182.0 mm²



Module sizes (residential installations) ITRPV 2022 - <https://itrpv.vdma.org>

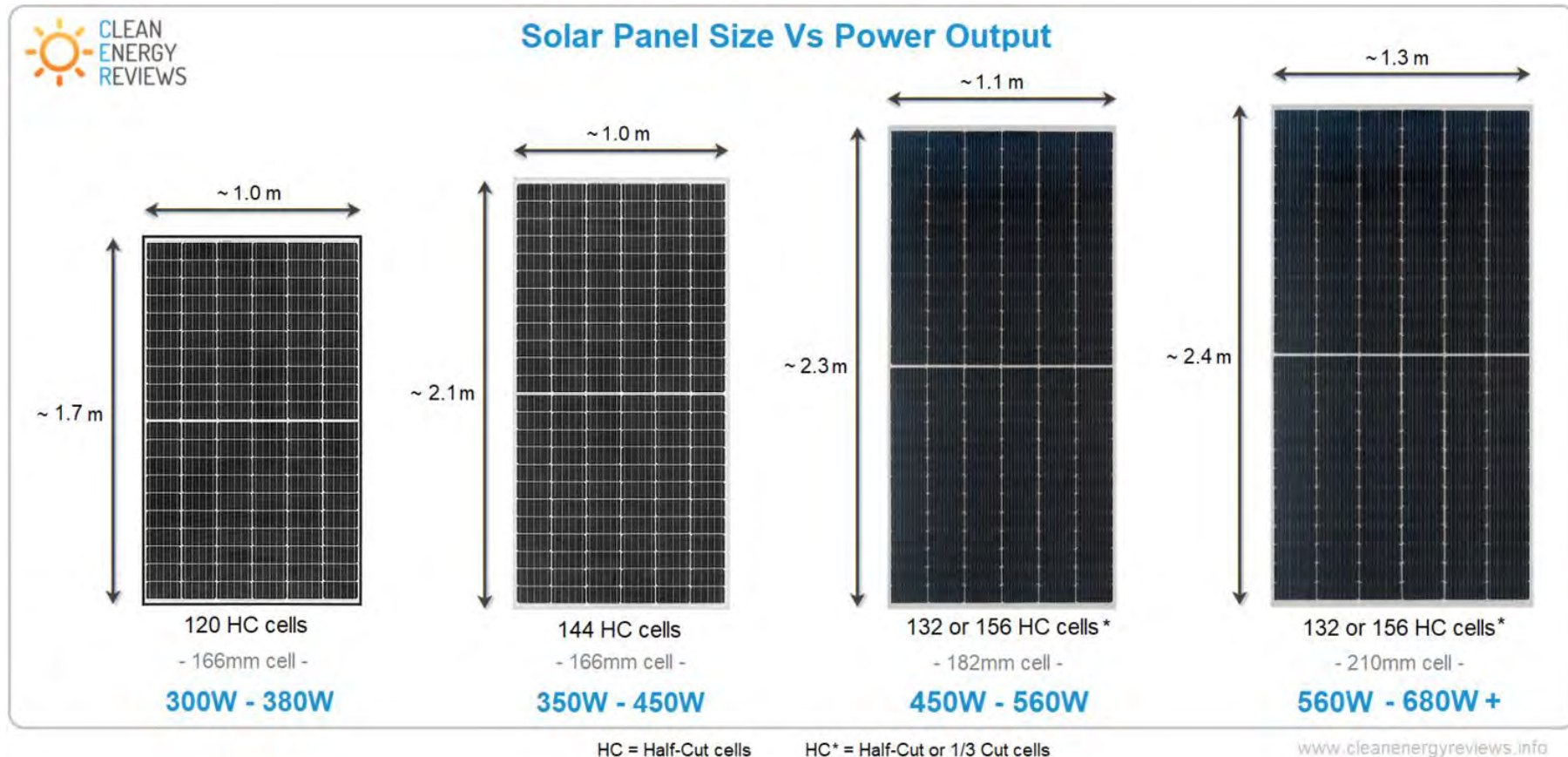


Module sizes (power plant installations)



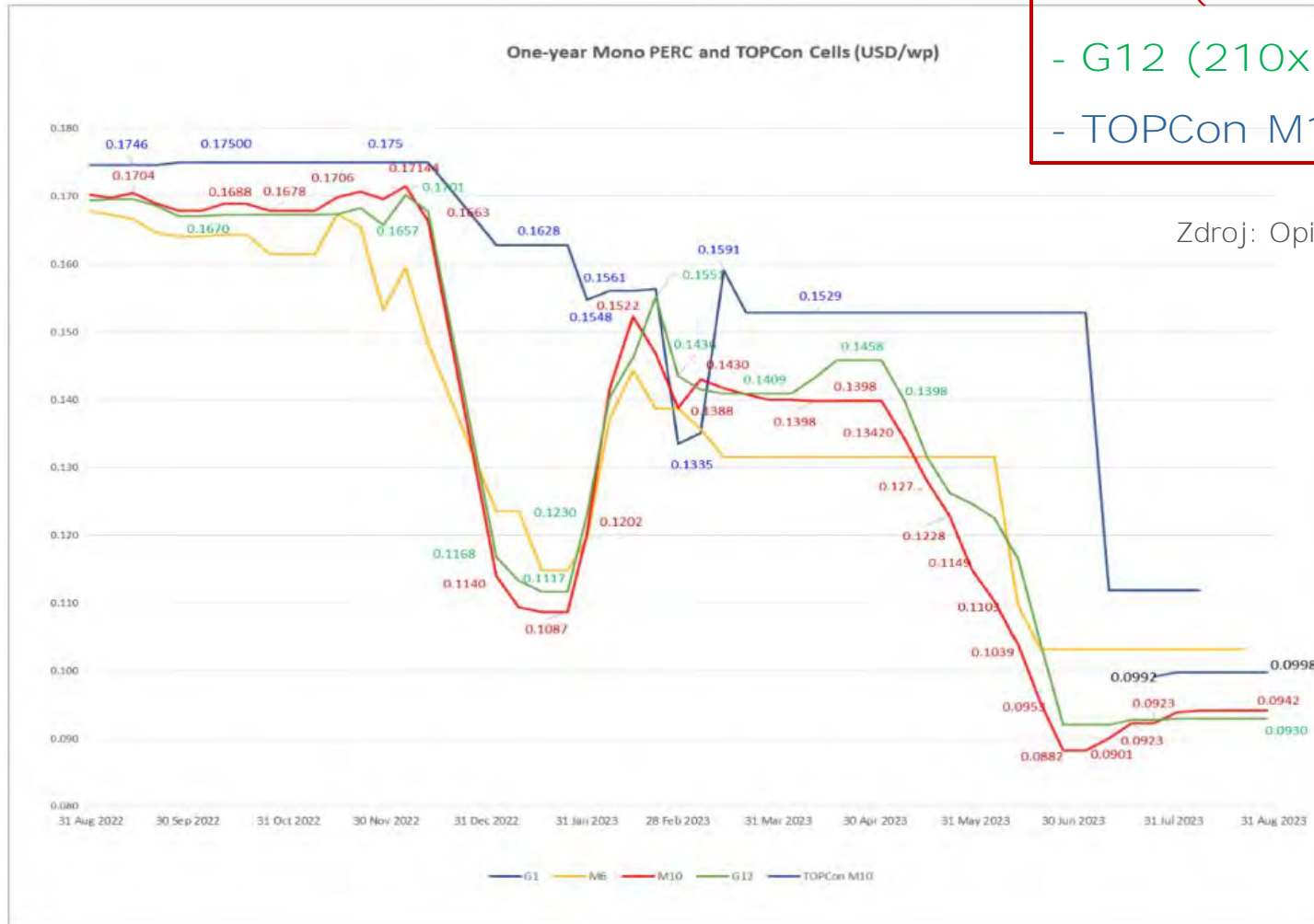
Velikost a výkon FV panelů

- trend 1,3 x 2,4 m
- 560 Wp – 720Wp



Trendy ceny FV článků MONO

- M10 (182x182 mm)
- G12 (210x210 mm)
- TOPCon M10



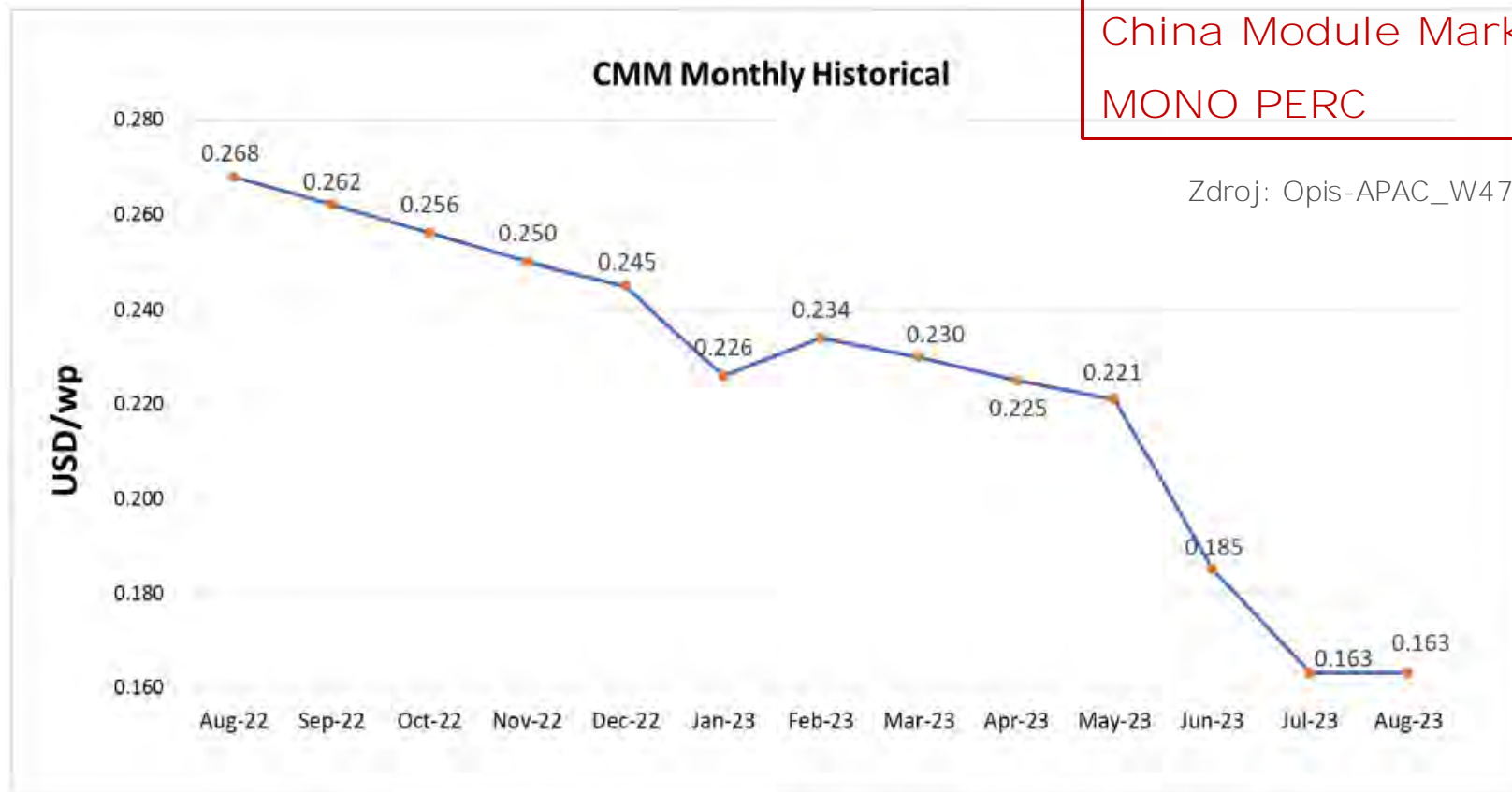
Zdroj: Opis-APAC_W47

Trendy ceny FV panelů MONO

CMM

China Module Market

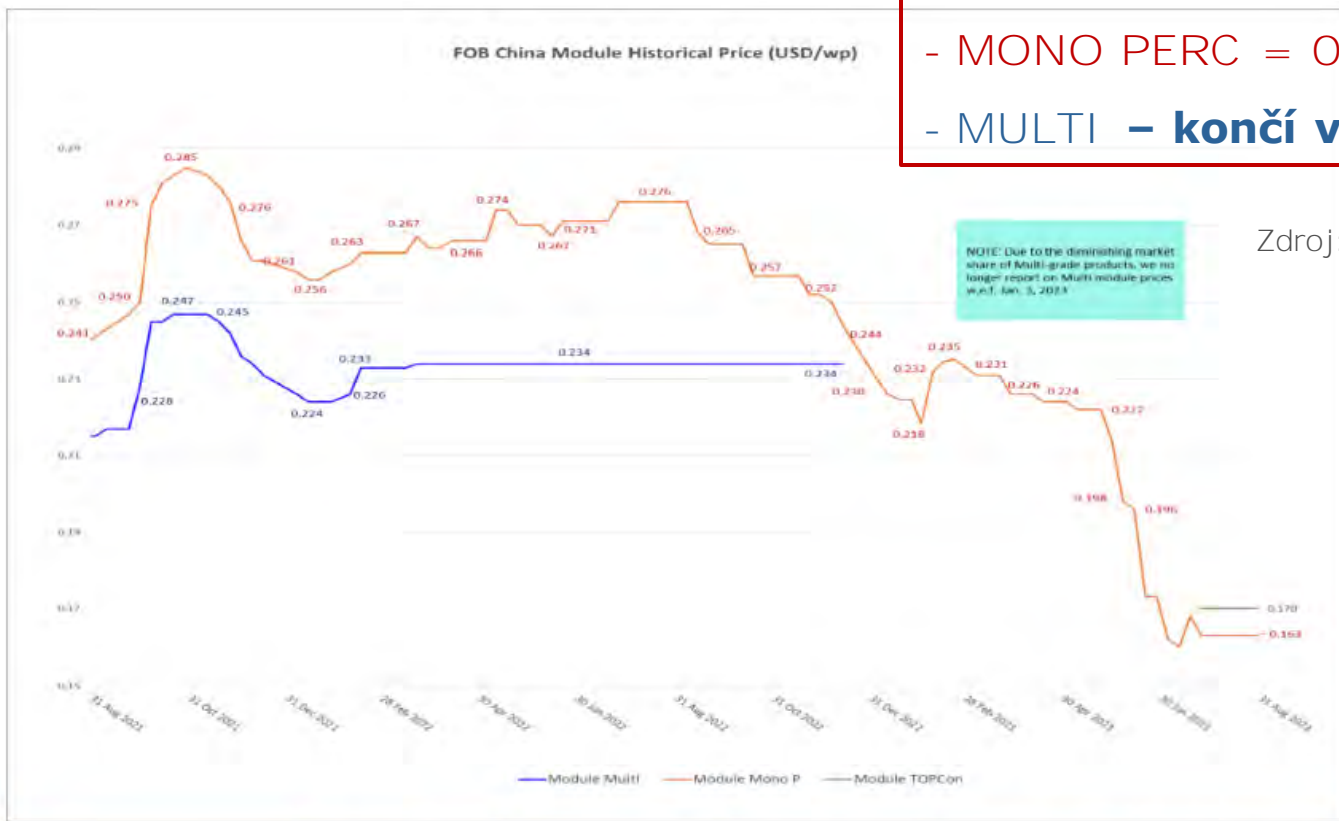
MONO PERC



w.e.f. Jan 2023: CMM is the average price of Mono PERC module prices FOB China (20% weightage of Multi modules removed to reflect decline in Multi market share)

Trendy ceny FV panelů

- TOPCon = 0,170 \$/Wp
- MONO PERC = 0,163 \$/Wp
- MULTI – **končí výroba**



Zdroj: Opis-APAC_W47

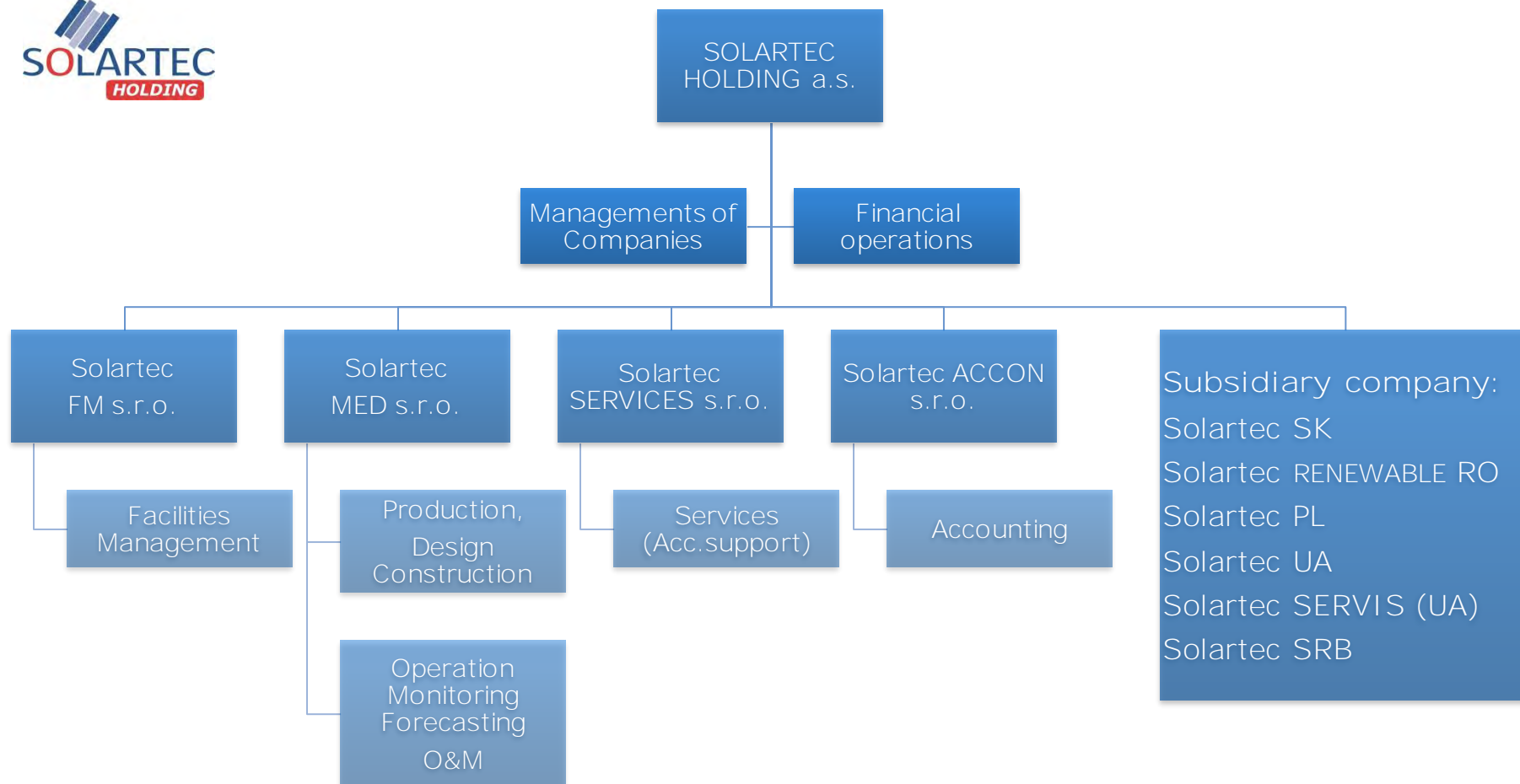
| Date | 1-Aug-2023 | 8-Aug-2023 | 15-Aug-2023 | 22-Aug-2023 | 29-Aug-2023 |
|-------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| Mono Perc, \$/wp | 0.163 | 0.163 | 0.163 | 0.163 | 0.163 |
| TOPCon, \$/wp | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 | 0.170 |

Děkuji za pozornost !

Následující informace jsou o službách společností SOLARTEC

Poděkování:

Děkuji Ing. Ladislavě Černé, PhD., pracovníci pro vědu a výzkum FE KET ČVUT Praha a vedoucí akreditované laboratoře diagnostiky FV modulů, která mně zjednodušila přípravu prezentace poskytnutím části obrázků k technologiím.



SOLARTEC je jedna z prvních firem v sektoru Fotovoltaiky **s počátkem** v roce 1993.

Po ukončení výroby křemíkových solárních článků v roce 2014 nadále nabízíme

- /// nezávislá FV laboratoř pro měření FV panelů
- /// opravy FV panelů

Hlavní činnosti:

- /// Příprava FV Projektů (Developmet)
- /// Návrh, Modelování a Projektování FV elektráren a FV Systémů (Design)
včetně BATERIOVÝCH systémů
- /// Dodávka a instalace na klíč (EPC)
- /// Dlouhodobé provozování a servis (O&M)
- /// Centrální Monitoring, Dispečink a Prognózy výroby FVE v Rožnově p./R.
- /// Analýzy chování FVE s pomocí umělé inteligence (AI)

- 1989 – počátek vývoje křemíkových FV článků v ČR
- 1993 – založení společnosti SOLARTEC
zaměstnanci bývalého Výzkumu a Vývoje TESLA Rožnov
– začátek výroby křemíkových solárních článků
- 1997 – první FV instalace na klíč
- 1999 – první FV instalace na budově připojená do sítě v ČR
- 2004 – první FV Projekt zahraniční rozvojové pomoci
- 2008 – nová 5" a 6" linka výroby FV článků
a koncentrátorové SČ, zakázkové SČ
- 2009 – první větší pozemní instalace FVE (EPC) – 2 MWp
- 2011 – největší FV Projekt na Slovensku, celkem 23 MWp
- 2012 – realizace prvního 4MWp FV Projektu na Ukrajině
a rozšíření působnosti v BG, RO, SRB, PL, UA
- 2013 – založení SOLARTEC HOLDING a.s. a reorganizace v 2014

1998 – 1999 – 2000 -2002 – prvotní malé instalace v ČR

SOLARTEC's PV Systems reference

Grid-off
0,4 kWp

1998 y
Solartec

Krkonose Mountain
Czech Republic



SOLARTEC's PV Systems reference

■ **1999 – 6 kWp grid-on**

Corinthia Panorama Hotel
Prague

1st PV Facade in CR
and one of first coloured facade worldwide (EU project)



SOLARTEC's PV Systems reference

Grid-on (hybrid)
1,1kWp
2000 Solartec

Private House
Prague, Zbuzany
1st Private install.
in CZ



SOLARTEC's PV Systems reference

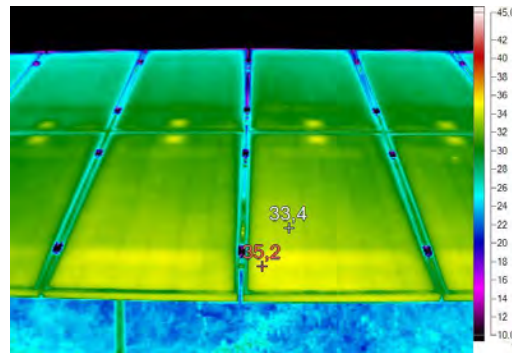
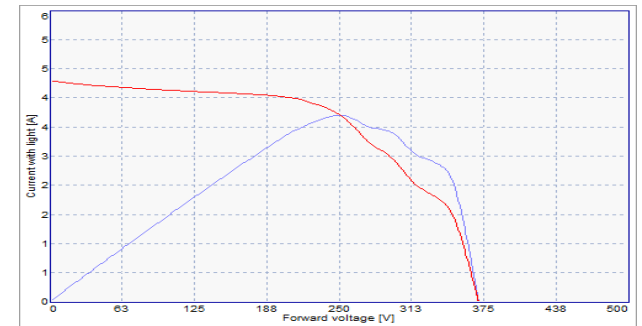
2,55 kWp

2002 Solartec

Prague Utility, CZ



PROČ SLUŽBY od SOLARTEC ? Protože máme znalosti !



Skupina SOLARTEC instaluje v současné době pro FV systémy především následující typy střídačů a baterie

STŘÍDAČE

- FRONIUS
- HUAWEI
- SUNGROW
- VICTRON
- FOX ESS

BATERIE

- BYD
- HUAWEI
- Victron Energy
- FOX ESS

Řešíme zakázky s velkými bateriovým uložišti BESS
s instalovaným výkonem 100 kWh - **1000 kWh až 10 MWh**



Šetajovice 993 kWp (792 kWac)
FVP Lepton 460Wp, Invertoy HUAWEI 40KTL



Valašské Meziříčí 379 kWp (320 kWac)
FVP Lepton 460Wp, Invertoy HUAWEI 40KTL



Olomouc 889 kWp (814 kWac)
FVP Lepton 460Wp, Invertory HUAWEI 40KTL



Rožnov pod Radhoštěm 99,4 kWp (110 kWac)
FVP Lepton 460Wp, Invertory HUAWEI 50KTL



Slovakia – SK 2012y – Ľadovo – Lučenec 23x1 MWp



Ukraine Radcha 2016 – 22 MWp (18+4 MWp)



Ukraine Mariyampil 2019 - 19,5 MWp



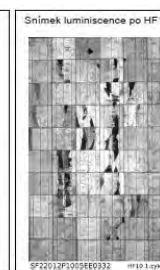
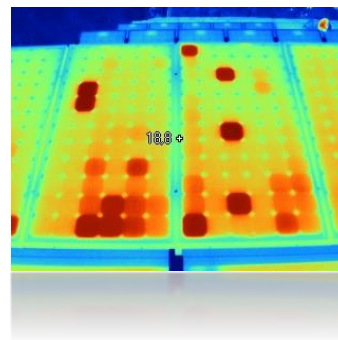
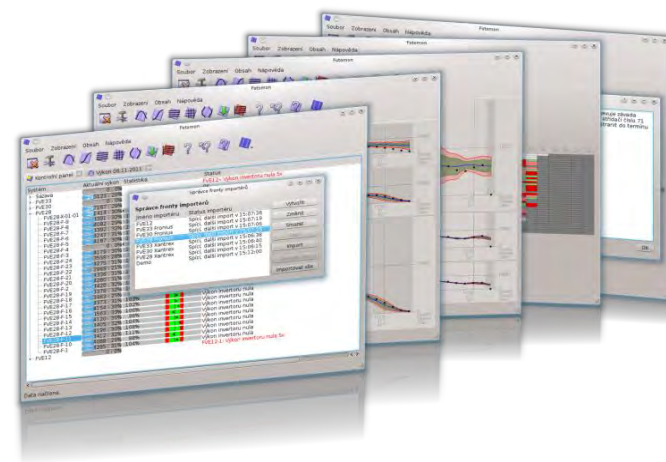
Solartec MED Údržba a Servis

Kompletní péče o FVE

- ▄ Centralizovaný Monitoring
 - ▄ Dispečerský dohled 24/7
 - ▄ speciální software pro statistiku
 - ▄ detailní statistické analýzy výroby FVE z dat střídačů
 - ▄ software pro zákazníky/vlastníky
- ▄ Prognózy výroby FVE

▄ Údržba a servis

- ▄ Hloubková diagnostika a analýza solárních panelů
- ▄ Charakterizace FV systémů a SP a SČ



Solartec MED Monitoring

READY FOR

FRONIUS

HUAWEI

KACO

REFUSOL

SCHNEIDER
ELECTRIC

SMA

SUNGROW

VACON

XANTREX

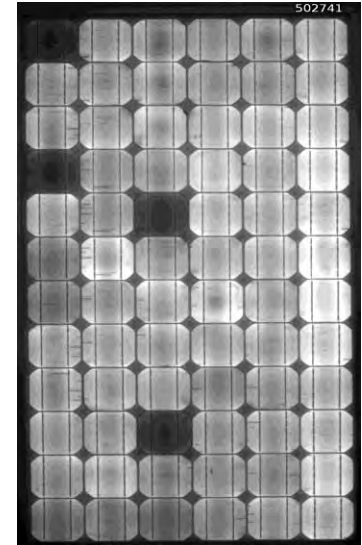
READY FOR
EXTENSION



Solartec MED

Diagnostická zkušební laboratoř FV panelů

- Testovací laboratoř od roku 2013
- V-A charakteristiky
- Elektroluminiscence
- Termovize
- Stárnutí
 - termální cykly
 - zkoušky vlhkostí a mrazem
 - zkoušky vlhkým teplem



■ POMÁHÁME ZÁKAZNÍKŮM

- vyřešit reklamace FV panelů
- komunikujeme s výrobcí a jejich servisními organizacemi
- dosáhneme náhradního plnění

DIAGNOSTIC AND TEST LABORATORY OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Test Laboratory No. 1842
 accredited by CCA according to ČSN EN ISO/IEC 17025:2005




Test Report

| | | | |
|--------------------------|--|------------------------|--|
| Report No.: | PS-15000 | Number of copies: | 1 |
| Order No.: | 09/0512 | Number of pages: | 5 (incl) |
| Date of receipt: | 13/4/2015 | Address: | Talavská 2018 700 00, Břežany nad Sázavou |
| Client: | | Contact person: | Ing. Adam Žižka |
| Operator of Measurement: | Ing. Štěpán Sedláček | Revised and Ratiified: | April 16, 2015 |
| Approved by: | Ing. Stanislav Pátek Head of laboratory | | |

*The report and its attachments are valid only if they are signed by the operator of the laboratory.



Solartec's Corporate

-  Headquarter
-  European daughter
-  European office







SOLARTEC HOLDING a.s.

Televizní 2618

756 61 Rožnov pod Radhoštěm

Czech Republic

Jaromír Řehák, COO

Phone: + 420 575 750 010

Fax: + 420 575 750 018

director@solartec.eu

assistant.director@solartec.eu

www.solartec.eu