

Slunce – nevyčerpatelný zdroj energie

Slunce je planetě Zemi nejbližší hvězda reprezentující asi 99,8 % hmoty sluneční soustavy fascinovala lidstvo od jeho počátků. Ve většině dávných kultur bylo Slunce zhmotněním boha – odráželo se v tom uvědomění si toho, že Slunce je pro život na Zemi zásadním elementem a jeho záření přináší světlo a život.

Z tohoto obrovského zdroje energie s výkonem cca 4×10^{26} W na Zemi dopadá energetický tok s průměrnou celoroční hodnotou $1\,366 \text{ kW/m}^2$, což při průřezu zeměkoule $127\,400\,000 \text{ km}^2$, znamená cca 174 PW (petawatt, 174×10^{15} W) energie. Asi 89 PW po průchodu atmosférou dopadá na zemský povrch – v každém okamžiku, po celý rok.

Pro přiblížení si těchto čísel může posloužit fakt, že celosvětová spotřeba energie ze všech zdrojů činila v roce 2008 asi 132 PWh, což je množství sluneční energie, které na zemský povrch dopadne za necelých 90 minut. K naprosté náhradě všech ostatních zdrojů energie by tedy bylo dostatečně využít méně než 0,02 % porce, kterou nám Slunce vytrvale posílá.

Fotovoltaika

Termín „fotovoltaika“ popisuje princip přeměny sluneční energie na energii elektrickou s využitím fotovoltaického jevu. Je složen z řeckého slova „phos“ které znamená světlo a SI jednotky pro elektrické napětí, „volt“ která je pojmenována podle italského fyzika Alessandra Volty (1745-1827) vynálezce první elektrické baterie.

Historie fotovoltaiky

1839 – 1899 objev fotovoltaického jevu

Příběh fotovoltaiky začal stejně jako mnoho jiných objevů náhodou. Když roce 1839 francouzský fyzik Alexandre Edmond Becquerel experimentoval s elektrolytickým článkem, zjistil, že jeho výkon se zvýšil při osvětlení. V roce 1873 anglický elektroinženýr Willoughby Smith popsal změny vodivosti Selenia při osvětlení, což bylo základem pro sestrojení prvního solárního článku v roce 1877 a prokázalo se tak, že světlo lze přeměnit v elektřinu. Seleniový článek popsal v roce 1883 americký vynálezce Charles Fritts.

1900 – 1949 teorie fotovoltaického jevu a první články

Autorem, který souhrnně popsal fotovoltaický jev (spolu s teorií relativity) byl v roce 1904 dvacetipětiletý fyzik Albert Einstein. Za toto teoretické vysvětlení obdržel v roce 1921 Nobelovu cenu. Einsteinovo teoretické vysvětlení potvrdil v roce 1916 svým experimentem Robert Millikan. O první monokrystalické křemíkové články se zasloužil polský vědec Jan Czochralski, který v roce 1918 vynalezl způsob výroby monokrystalického křemíku. V roce 1932 byl fotovoltaický jev objeven i v siranu kadmia (CdS). První monokrystalický křemíkový článek byl sestaven v roce 1941.

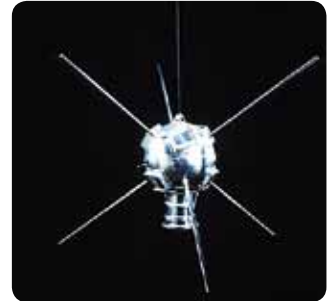
1950 – 1969 zdroj pro vesmírné programy

Dr. Dan Trivich v roce 1953 provedl teoretické kalkulace efektivity solárních článků z různých materiálů a při osvětlení světlem různých vlnových délek. V roce 1954 pak vědci v Bell Laboratories (USA) vyvinuli první křemíkové články použitelné k pohonu zařízení. Počáteční účinnost 4 % během několika měsíců zlepšili na 6 %. Později bylo dosaženo účinnosti až 11 %.

K prvnímu komerčnímu využití došlo v roce 1954, kdy společnost Hoffman Electronics představila článek s účinností 2 % a výkonem 14 mWp (Wp – označení špičkového výkonu fotovoltaického zařízení, tzv. Watt-peak, špičkový výkon se definuje při tzv. STC – Standard Test Conditions, standardních testovacích podmínkách – intenzita záření 1000 W/m^2 , spektrum světla AM 1,5 a teplota 25°C). Jeho cena byla dnes neuvěřitelných

1 785 USD za jeden Watt výkonu. O tři roky později tato společnost uvedla článek s účinností 8 % a o rok později pak 9 %.

Ve stejném roce, 17. března 1958 byla vypuštěna první družice poháněná solárními články Vanguard 1, v těsném závěsu následovaná družicí Explorer 3 a sovětským Sputnik 3. V následujícím roce 1959 pak Hoffmann Electronics představila článek s 10 % účinností a USA vypustily družici Explorer 6 s polem 9 000 solárních článků. V následujícím roce 1960 článek od stejného výrobce Electronics dosáhl účinnosti až 14 %. V roce 1962 byl vypuštěn první komerční telekomunikační satelit firmy Bell Telephone Laboratories – elektřinu mu dodávalo 14 Wp solárních článků.



Vanguard 1

V následujícím roce (1963) firma Sharp vyrobila první fotovoltaický modul pro praktické použití. Největší instalací se stala 252 Wp instalace na majáku v Japonsku. O rok později ji překonali Američané instalací 470 Wp fotovoltaického pole na satelitu Nimbus 1. Již v roce 1966 se na oběžné dráze proháněla orbitální laboratoř s fotovoltaikou o výkonu 1 kWp.

1970 – 1979 první civilní aplikace

Článek s cenou 20 USD/Wp místo do té doby běžných 100 USD/W sestrojil v roce 1970 Dr. Elliot Berman ve spolupráci s firmou Exxon. Solární články se začaly používat jako zdroj energie v nezasíťovaných místech - osvětlení a antikorozní ochrana automatických ropných plošin, napájení majáků, signalizace na železničních přejezdech a podobně. V roce 1972 Francie použila CdS systém pro zpřístupnění vzdělávacího televizního vysílání v Nigérii. V roce 1973 byl vyroben křemíkový článek s cenou 30 USD/Wp a byl také zrealizován jeden z prvních fotovoltaikou napájených domů. V roce 1976 zahájilo NASA Lewis Research Center (LeRC) projekt instalace 83 fotovoltaických systémů na všech kontinentech po celém světě. Projekt, který probíhal v letech 1976 – 1985 a 1992-1995, přinesl aplikace fotovoltaiky pro účely napájení chlazení vakcín, zdravotnického vybavení, čerpadel na vodu, osvětlení a jiných. V tomto roce byly také vyrobeny první fotovoltaické články z amorfního křemíku.

O rok později, v roce 1977, bylo celosvětově vyrobeno poprvé více než 500 kWp fotovoltaických modulů a vláda USA založila Solar Energy Research Institute, federální zařízení pro výzkum získávání energie ze Slunce, v roce 1991 přejmenované na National Renewable Energy Laboratory (NREL). NASA LeRC aplikovala fotovoltaiku v indiánské rezervaci Papago ve formě 3,5 kWp systému poprvé jako zdroj energie pro uspokojení potřeb vesnice. Systém zabezpečoval energii pro čerpání vody a pro 18 domácností do roku 1983, kdy byla obec zasíťována - pak sloužil nadále jen pro čerpání vody.

1980 – 1999 rozvoj fotovoltaického průmyslu

V roce 1980 rok předtím založená společnost ARCO Solar vyrobila přes 1 MWp fotovoltaických modulů. Na University of Delaware byl vyroben za použití CuS/CdS technologie první tenkovrstvý článek s účinností přes 10 %. Z modulů firem Motorola, ARCO Solar a Spectrolab byl postaven v Utahu systém o výkonu 105,6 kWp, který dodnes (2011) funguje a dodává energii pro Natural Bridges National Monument.

O rok později, v roce 1981 postavil Paul MacCready své druhé letadlo poháněné solární energií, Solar Challenger. S dvoumotorovým (2x2,2kW) 90kg těžkým letounem, jemuž energii dodávalo



Solar Challenger

16 128 solárních článků, přeletěl za 5 hodin a 23 minut 262 km trasu z Francie do Británie přes kanál La Manche. Větší fotovoltaické systémy (cca 100 kW) se objevily na obchodním centru v Novém

Mexiku a na škole v Massachusetts. V Saúdské Arábii byl nainstalován 10,8 kW systém na odsolování vody.

Světová produkce fotovoltaických modulů dosáhla v roce 1982 9,3 MW. Australan Hans Tholstrup s prvním Sluncem poháněným automobilem Quiet Achiever překonal za 20 dní vzdálenost cca 5 500 kilometrů mezi Sydney a Perthem – o 10 dní rychleji, než to zvládl první benzínový automobil. Společnost ARCO Solar postavila ze 108 dvouosých trackerů 1 MW elektrárnu v Kalifornii.

V roce 1983 dosáhla produkce fotovoltaických modulů 21,3 MWp v hodnotě 250 mil. USD. Pro pokrytí potřeb více než 2 000 domácností postavila v kalifornii ARCO Solar 6 MWp elektrárnu. První solární elektrárna (o výkonu 30 kW) se objevila roku 1984 také ve Velké Británii.



Quiet Achiever

V roce 1985 v Austrálii, na University of New South Wales sestrojili první článek s účinností přes 20 %, nové elektrárny se objevily v Sydney a Madridu. První komerčně dostupný tenkovrstvý fotovoltaický modul uvedla v roce 1986 na trh společnost ARCO Solar pod označením G-4000. Tenkovrstvý článek s účinností 15,9 % sestrojili v roce 1992 na University of South Florida. Poprvé tak u této technologie byla překonána 15 % hranice účinnosti. O rok později byl patentován křemíkový článek s účinností 20 %. V roce 1994 vládní institut USA - National Renewable Energy Laboratory (NREL) dokončil budovu své Solar Energy Research Facility, která se stala energeticky nejefektivnější vládní budovou USA, čehož dosáhla krom použití fotovoltaiky také návrhem dle zásad pasivních solárních staveb. Pracovníci tohoto institutu ve stejném roce také sestrojili první článek, který překonal účinnost 30 %, vyrobený z fosfidu gallia, india a arsenidu gallia.



Budova Solar Energy Research Facility institutu NREL

Společnosti, které se v blízké budoucnosti stanou významnými hráči na poli fotovoltaiky vznikají i v Evropě. V roce 1998 je v Německu založena společnost Conergy, která se krom fotovoltaickým modulů zaměřuje i vývoj a výrobu ostatních komponent systémů a je jediným dodavatelem kompletních systémů.

Ve spolupráci se Spectrolab NREL v roce 1999 překonává svůj vlastní pět let starý rekord v účinnosti sestrojením článku s účinností 32,3 %. Těto hodnoty bylo dosaženo kombinací tří vrstev

fotovoltaických materiálů. Článek je součástí na trackeru umístěného systému zrcadel a čoček, které sluneční záření na článek soustřeďují. Ve stejném roce také NREL o 1 % překonal účinnost článků tenkovrstvé technologie a dosáhl hodnoty 18,8 %. Kumulativní instalovaný výkon fotovoltaiky na světě dosahuje 1GWp.

2000 – 2010 fotovoltaika seriózním zdrojem obnovitelné energie

Nové tisíciletí zahajuje společnost FirstSolar, vzniklá o rok předtím sloučením tří amerických výrobců, otevřením největší továrny s kapacitou 100 MWp v Ohio. Na oběžné dráze kosmonauté začínají instalovat největší vesmírnou fotovoltaickou elektrárnu, jejíž každé „křídlo“ bude složeno z 32 800 článků. V Německu díky podpoře obnovitelných zdrojů energie začínají vznikat další velké výrobní společnosti. Také v Japonsku nabírají v prvních dvou letech nového tisíciletí na síle společnosti Kyocera, Sharp a Sanyo. Nové tenkovrstvé moduly BP Solarex lámou rekord v účinnosti komerčních produktů hodnotou 10,8 %.



Fotovoltaika na vesmírné stanici ISS

V roce 2001 dosahuje výškového rekordu pro letadla s neraketovým pohonem stroj Helios zkonstruovaný v NASA dosažením výšky 29,52 km. Japonská kosmická agentura (NASDA) oznamuje plán vývoje kosmické fotovoltaické elektrárny, která by vyrobenou energii přenášela laserovým paprskem na vzducholoď ve výšce asi 19 kilometrů, ze které by se pak přenášela na Zemi. V Kalifornii na střeše vrostla největší střešní elektrárna, o výkonu 1,18 MW, v Merkestetten Conergy dokončuje největší německou elektrárnu s výkonem 1,6 MWp, tuto hodnotu společnost v dalším roce sama překonává elektrárnou v Sonnen (1,8MWp).



Helios

Období let 2002 – 2003 znamená rozvoj velkých parků v Německu. 29. dubna 2003 je do sítě připojený do sítě v té době největší park na světě v Hemau u Regensburgu, s výkonem 4 MWp, stavěný opět společností Conergy. V následujícím roce jej následuje mnoho dalších, s výkonem do 5 MW - v Geiseltalsee, Leipzig, Birstadt, Götterbornu a na dalších místech. V roce 2005 je v Německu nainstalováno kumulativně již 1,91 GW fotovoltaických systémů (88 % evropských instalací).

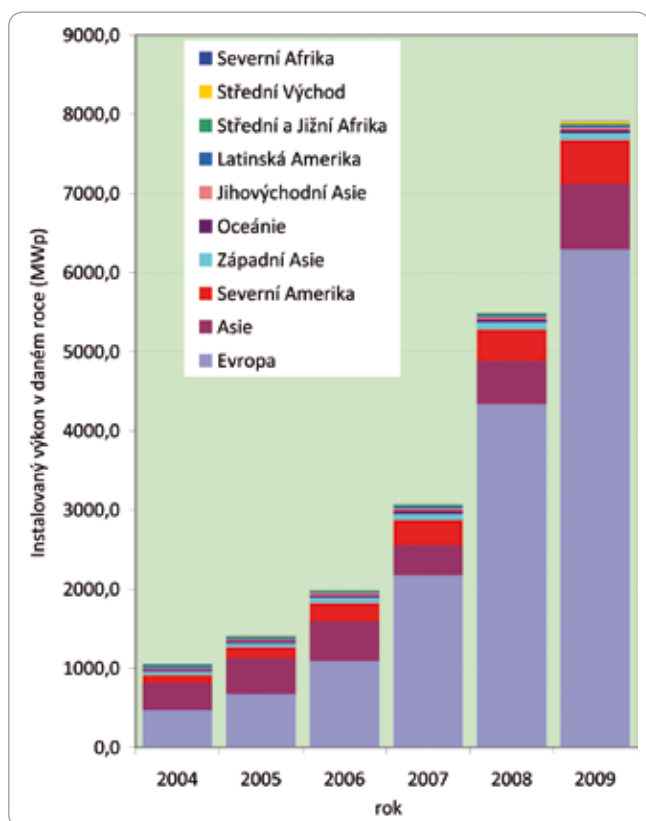


18,7MWp solární elektrárna v německém Thüngen

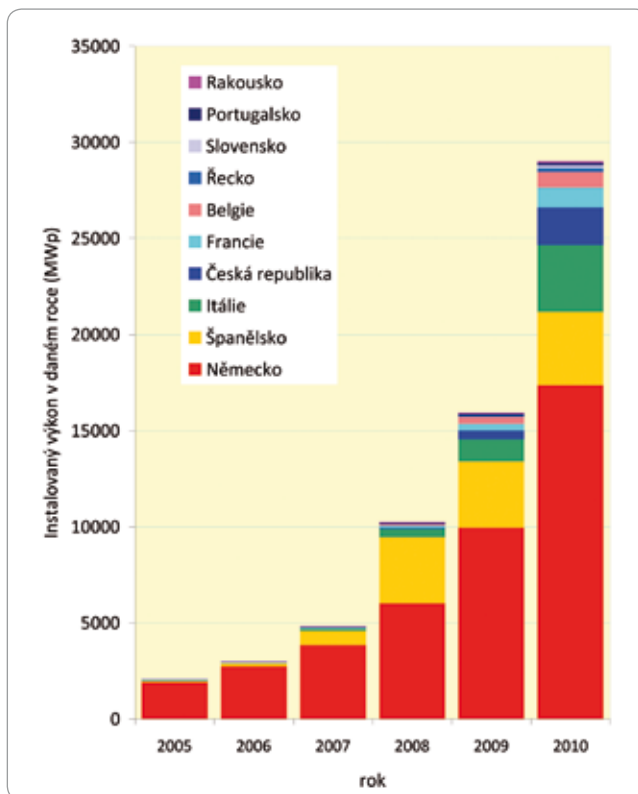
V roce 2006 poprvé spotřeba polykrystalického křemíku pro fotovoltaiku překonává jeho užití v jiných odvětvích. Je také poprvé překonána hranice 40 % účinnosti solárního článku, o rok později University of Delaware hlásí nový rekord s 42,8 %, ovšem bez potvrzení nezávislou institucí. NREL v roce 2008 dosahuje účinnosti 40,8 %.

Od roku 2004 vykazuje fotovoltaický průmysl meziroční růst okolo 50 %. Tato výjimečná hodnota je dána zejména podporou tohoto odvětví formou výkupních tarifů. V roce 2010 přesáhl meziroční růst poptávky dokonce 65 %. Tento vývoj přinesl mnohé změny:

- Nedostatek křemíku coby vstupní suroviny a významný nárůst jeho ceny,



Podíl světových regionů na nainstalovaném výkonu, 2004 – 2009



Podíl instalovaného výkonu prvních deseti států v Evropě, 2005 – 2010

- Stabilní růst ceny článků a modulů mezi lety 2004 a 2008, následovaný relativně strmým poklesem
- Významný nárůst podílu tenkovrstvých technologií na trhu, zejména CdTe
- Nárůst multimegawattových solárních parků

Ve fotovoltaice pionýrské USA válcuje Evropa obrovským nárůstem instalovaného výkonu i rozvojem výrobních a vývojových kapacit. Evropa se stala dominantním odběratelem (80 % v roce 2009) zatímco Čína a Taiwan se staly přes zpravidla nižší úroveň svých produktů významným dodavatelem (46%). V roce 2010 situace vyvrcholila a na trhu nastal dokonce nedostatek modulů a měničů pro realizované projekty.

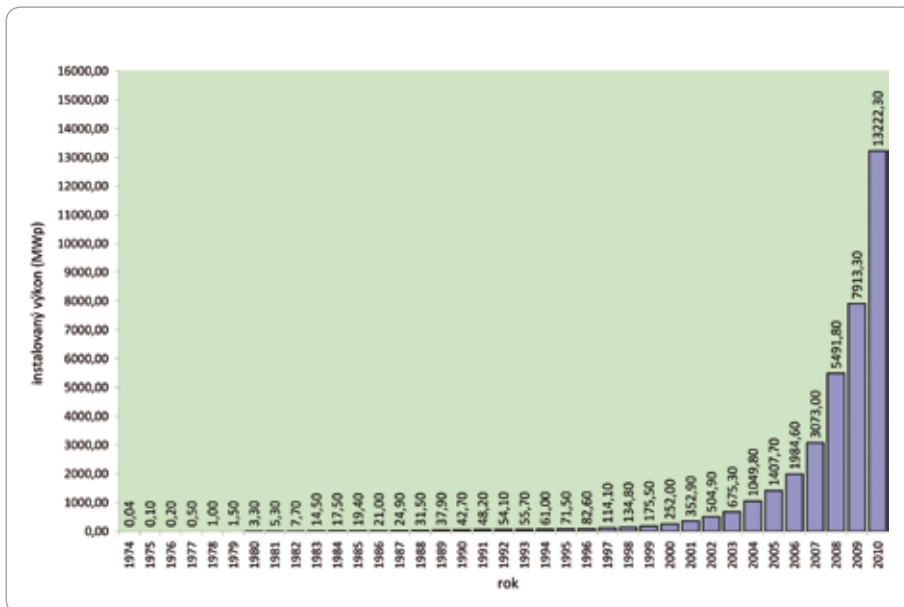
Podíl instalovaného výkonu prvních deseti států v Evropě, 2005-2010 (MWp)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Německo	1910,0	2743,0	3846,0	6019,0	9959,0	17370,0
Španělsko	57,6	175,0	734,0	3421,0	3438,0	3808,0
Itálie	46,3	50,0	120,0	458,0	1157,0	3479,0
Česká republika	0,5	0,8	4,0	54,7	463,0	1953,0
Francie	26,3	33,9	46,7	104,0	335,0	1054,0
Belgie	2,1	4,2	21,5	70,9	374,0	787,0
Řecko	5,4	6,7	9,2	18,5	55,0	205,0
Slovensko	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	144,0
Portugalsko	3,0	3,4	17,9	68,0	102,0	131,0
Rakousko	24,0	25,6	27,7	32,4	52,6	103,0

Podíl světových regionů na nainstalovaném výkonu, 2004-2009 (MWp)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Evropa	472,4	676,1	1093,9	2178,7	4338,5	6291,1
Asie	341,5	453,8	506,2	376,8	549,2	830,9
Severní Amerika	105,0	140,8	226,2	318,1	395,4	553,9
Západní Asie	42,0	49,3	67,5	76,8	87,9	87,0
Oceánie	22,1	22,1	26,4	43,0	43,4	35,6
Jihovýchodní Asie	15,8	19,7	23,8	27,7	28,9	31,7
Latinská Amerika	21,0	21,2	17,9	22,4	19,8	27,7
Střední a Jižní Afrika	18,9	18,3	15,9	21,5	19,2	23,7
Střední Východ	4,9	5,6	5,0	5,5	6,6	27,7
Severní Afrika	6,3	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0

Poslední desetiletí tak bylo pro fotovoltaiku desetiletím výrazných změn. Zatímco v roce 1999 tvořil podíl do sítě připojených aplikací fotovoltaiky 39 % celé 200 MWp industrie, v roce 2009 to bylo již 95% odvětví s velikostí cca 8 000 MWp.



Obr. Nově instalovaný výkon fotovoltaiky, 1974 – 2010

Fotovoltaika díky dotacemi ve formě výkupních tarifů podporovanému rozvoji absolvovala během několika málo let ohromný skok ve vývoji. Zvýšila se jak účinnost a propracovanost modulů, střídačů tak sofistikovanost konstrukčních systémů a monitoringu. Ruku v ruce s tím šel obrovský propad cen zejména v oblasti modulů a fotovoltaika se tak dostala ze střež výzkumných ústavů a z prostředí různých experimentálních projektů na střechy rodinných domů, fabrik a stodol - tedy tam, kam patří.

Je ovšem nutno poznamenat, že špatné přizpůsobování podpory FVE klesajícím cenám technologií znamenalo (především v České republice) v roce 2009 a 2010 vznik extrémně výhodného prostředí, zejména pro obří parky, kde byl jednotkový náklad na výstavbu velmi nízký. Toto poškodilo její obraz v očích veřejnosti. Tento stav se ovšem postupně vylepšuje a fotovoltaika se postupně jistě stane standartně vnímanou součástí zařízení moderních staveb jako jsou v současnosti tepelná čerpadla, solární kolektory, dvoj- či troj-skla či kvalitní zateplení.

Principy a technologie fotovoltaiky

Fotovoltaický jev je fyzikálním jevem, při němž dochází k uvolňování elektronů z látky (obvykle kovu), na níž dopadá elektromagnetické záření (například viditelné světlo). Toto uvolňování se označuje jako fotoelektrická emise. Jev umožňuje využití sluneční energie pomocí fotovoltaických článků.

V současné době je rozpracováno mnoho různých typů fotovoltaických článků, ovšem běžně se používají především články založené na bázi křemíkových destiček, které doplňují některé technologie tenkovrstvé. Ostatní technologie, o nichž budeme hovořit v posledním díle seriálu, na trh zatím nepronikly z důvodu malé účinnosti, malé životnosti či přílišné technologické náročnosti a tím vysoké ceny.

Technologie tlustých vrstev

V případě této technologie je základem článku plátek získaný řezáním polykrystalického či monokrystalického ingotu křemíku (Si), který je po kyslíku druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. V současnosti je možno různými metodami získat křemíkové krystaly čistoty až 99,99998 %.

Na horní části křemíku typu P (s příměsí bóru – s nedostatkem záporně nabitých elektronů) je při výrobě článku difuzí fosforu vytvořena cca 500 nm tlustá vrstva negativně nabitého polovodiče typu N (s přebytkem záporných elektronů), na níž je natištěna mřížka vodivých kontaktů. Kontakty jsou natištěny také na spodní vrstvě článku.

Mezi oběma vrstvami vznikne jednosměrně průchozí tzv. PN přechod, který brání volnému průchodu elektronů z vrstvy s jejich nedostatkem (P) do vrstvy s jejich přebytkem (N). Při dopadu světla na povrch článku předávají jeho fotony svou energii atomům v krystalové mřížce a uvolňují z ní elektrony. Díky bariéře PN přechodu se volné elektrony nemohou včlenit do „děr“ v mřížce spodní P vrstvy a hromadí se tedy ve vrstvě N. Elektrony uvolněné ze spodní P vrstvy procházejí mohou a počet elektronů v horní vrstvě se tak dále zvyšuje a vzniká tak elektrické napětí.

Připojením spotřebiče mezi horní a spodní vrstvu článku vzniká uzavřený elektrický obvod, kdy v horní vrstvě nahromaděné elektrony mohou procházet přes spotřebič zpět do spodní vrstvy – vzniká tak elektrický proud, který se v obvodu udržuje po celou dobu kdy se uvolňují elektrony, tedy pokud na povrch článku dopadá světlo.

Na této technologii je založeno více než 85 % v současnosti vyráběných solárních článků. Články se dále spojují do série a také paralelně, laminují na krycí sklo zpravidla orámované hliníkovým rámem a vytváří se tak fotovoltaický modul.

Technologie tenkých vrstev

Byly vyvinuty s cílem redukce množství drahého křemíku a tím snížení ceny. Vzhledem k nižší účinnosti se nestaly mainstreamovým produktem a jejich podíl na trhu tvoří v současnosti cca 15 %.

Článek je u této technologie tvořen nosnou plochou (například sklem, textilií a podobně), s napařenou vrstvou látky. V současnosti nejpožívanějšími jsou CdTe (Kadmium Tellurit), CIGS (Měď, Indium, Galium a Selen) a A-Si (amorfní křemík). Nosná plocha článku je zároveň součástí modulu, který je takto tvořen dvěma spojenými skly. Takovéto moduly se označují také jako lamináty.

Skladba fotovoltaického systému

Výše popsané fotovoltaické moduly jsou základním stavebním kamenem fotovoltaické elektrárny. Hodnoty stejnosměrného napětí a proudu, které fotovoltaický modul generuje jsou nepoužitelné pro napájení běžných spotřebičů. Z tohoto důvodu se panely dále řadí do tzv. stringů. Stringy jsou zapojeny do měničů (střídačů), které energii mění na střídavou, s parametry vhodnými pro další použití. Celý systém krom konstrukcí a kabeláže pak doplňuje zpravidla systém monitoringu, který hlídá provoz elektrárny. Díky tomu má uživatel elektrárny okamžitý přehled o jejím stavu a v případě poruchy je schopen problém urychleně identifikovat a zjednat nápravu. U velkých parků, které jsou připojeny zpravidla do soustavy vysokého napětí (22 anebo 20 kV) se energie vycházející z měničů upravuje transformátory na potřebnou napěťovou hladinu.

Jednotlivé komponenty fotovoltaického systému, požadavky na jejich vlastnosti, parametry a výhody či nevýhody jednotlivých technologií budeme dále probírat v dalších dílech tohoto seriálu.



Conergy Česká Republika, s.r.o.

Ing. arch. Martin Štastný
marketingový a produktový manažer
M.Stastny@conergy.cz