

Kapitola 7

Pružné PV moduly – 2. generace fotovoltaických panelů

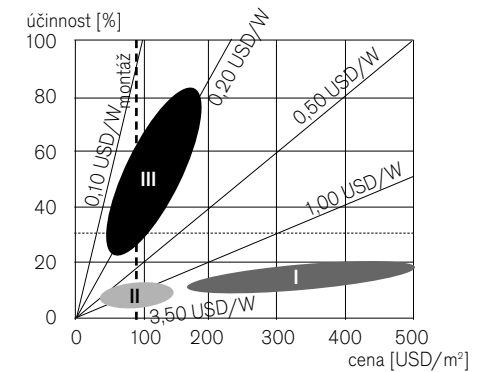
První generace fotovoltaických modulů je tvořena moduly monokrystalickými a polykrystalickými. Tyto moduly se vyrábějí většinou z křemíku a mají různé vlastnosti, které předurčují jejich použití. Jednu vlastnost však mají společnou: jsou vestavěny do montážních rámců, které se montují na podklad pomocí dalších konstrukčních dílů. Monokrystalické (výchozí) články dosahují vysoké konverzní účinnosti (v laboratořích až 25 %, běžně 14–15 %), ale fotovoltaické panely z nich vyrobené jsou drahé (viz obr. 1, oblast I) [66]. Podle provedení dosahují ceny 300 až 500 USD/m². Nedostatek výchozího křemíkového materiálu vede ke snahám výrobců po úsporách ztenčováním výchozích křemíkových desek nebo zaváděním nových technologií, které zmenšují ztráty způsobené technologickým odpadem při výrobě fotovoltaických článků. Fotovoltaické panely jsou tvořeny většinou „sendvičem“ skládajícím se ze speciálního bezpečnostního skla, fólií (EVA), sériově-paralelně propojených křemíkových článků, opět fólií (EVA) a podkladního materiálu (TEDLAR nebo TEFZEL). Tento celek je pomocí technologie tepelné laminace zataven do sendviče a dále většinou zarámován do vhodného rámu. Vývodní kabely jsou buď ve vhodné krabici upevněné na zadní straně panelu, nebo volně s ukončením speciálními montážními rychlokonektory. Fotovoltaické panely se montují na vhodné konstrukce uchycené do střechy domu nebo do terénu. Existuje také snaha integrovat tyto deskové panely přímo do střech domů. Polykrystalické (výchozí) články dosahují o něco nižší konverzní účinnosti (běžně 14 %). Výsledný rozměr fotovoltaického panelu je proto o něco větší pro dosažení stejného výkonu oproti monokrystalickým panelům. Technologie výroby panelů se shoduje s technologií výroby monokrystalických panelů.

Amorfní panely mají o poznání nižší konverzní účinnost oproti oběma předchozím typům panelů (6–8 %). Rovněž technologii výroby PV panelů mají značně odlišnou, ale levnější. Jedná se většinou o vakuové depoziční technologie. Způsob montáže PV panelů na podklad je však shodný s výše uvedenými. Pro zlepšení vlastností amorfních panelů byly nalezeny různé technologie, které vytvářejí druhou generaci PV článků.

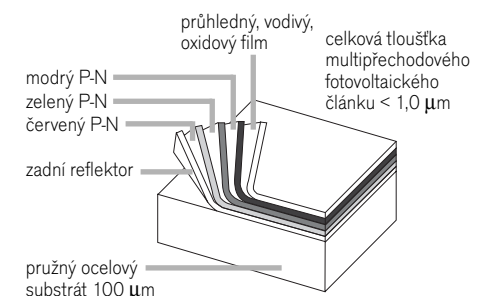
Druhá generace fotovoltaických článků je tvořena tenkovrstvými články na bázi amorfního křemíku (a-Si), amorfních slitin Si-Ge (a-Si-Ge), mikrokrystalického Si (μc-Si) nebo polykrystalického tenkovrstvého Si (poly-Si). Jejich výhodou je podstatně menší spotřeba výchozího materiálu – většinou křemíku. Nevýhodou je stále menší účinnost přeměny. Tím se náklady na výkon získaný z jednotky plochy příliš neliší od deskových krystalických fotopanelů. Existuje však celá řada postupů, jak zlepšit vlastnosti fotovoltaických tenkovrstvých článků. S jednou z možností zlepšení – vícepřechodových fotovoltaických a-Si fotočlánků – se seznámíme v další části kapitoly.

Výše zmíněné fotovoltaické články 2. generace na bázi amorfního a-Si jsou pružné, ohebné a podstatně tenčí a lehčí než krystalické články. Je proto možné je již ve výrobě přímo integrovat na horní povrch pružného ocelového substrátu povrchově upraveného a běžných polymerních hydroizolačních fólií na bázi etylen-vinyl-acetátu (EVA fólie), a tudíž nepotřebují žádnou vlastní nosnou nebo podpěrnou konstrukci jako krystalické systémy. Pro zlepšení vlastností a-Si článků se využívá technologie tzv. a-Si Triple Junction (trojitý přechod), která umožňuje oproti krystalickým článkům vyšší využití v širším spektru vlnových délek slunečního záření [67]. Základ článku o rozměrech 240 × 340 mm tvoří tři buňky amorfního křemíku vakuově nanesené ve třech P-I-N strukturách nad sebou na podkladní vrstvu z ušlechtilé oceli (obr. 46).

Spodní (–) pól článku tvoří základní fólie z ušlechtilé ocelové fólie, vhodně upravená plastickými potahy, na kterou jsou jednotlivé P-I-N přechody kontinuálně nanášeny, horní (+) pól je vytvořen z průhledné mřížky z vláken z ušlechtilé oceli. Materiál, který tvoří jednotlivé P-I-N přechody je různý. První přechod je tvořen slitinou a-Si, druhý přechod je tvořen slitinou a-Si-Ge, třetí také touto slitinou, ale s vyšším obsahem Ge. Tím se docílí využití celého spektra

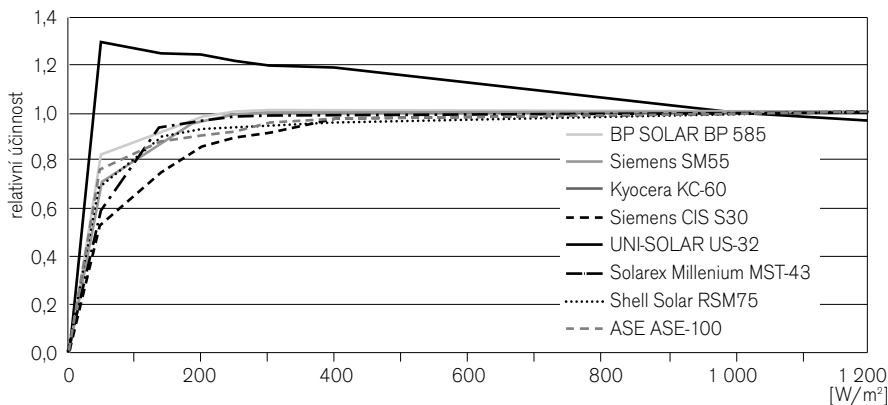


▲ Obrázek 45 ▲ Generace fotovoltaických modulů



▲ Obrázek 46 ▲ Struktura a-Si Triple Junction fotovoltaického článku

ra slunečního záření. Každý z P-I-N přechodů absorbuje totiž interval vlnových délek slunečního záření. Fotovoltaické systémy na bázi a-Si třívrstvé technologie mohou oproti krystalické technologii využívat vedle červené složky i složku zelenožlutou a modrou dopadajícího světla, a zůstávají proto funkční i při difuzním světle při zastínění a při zatažené obloze.

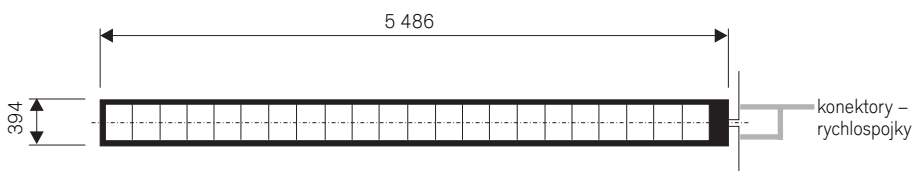


Obrázek 47 Účinnosti přeměny různých fotovoltaických článků

Mohou tedy pracovat i na plochách odvrácených od slunce. Z dlouhodobého měření vychází pro klimatickou oblast střední Evropy s danou průměrnou oblačností vyšší celková účinnost těchto systémů o 20 až 35 % než u krystalických systémů (viz obr. 46), ve kterém jsou porovnány relativní účinnosti přeměny a-Si třívrstvých modulů s krystalickými moduly známých firem (UNI-SOLAR = a-Si tenkovrstvý modul) [67]. Klasické krystalické Si moduly absorbují převážně viditelnou část spektra a začátek infračervené složky.

Celý článek je zapouzdřen v průsvitném polymerním ochranném obalu, který je vysoce odolný proti mechanickému poškození a oděru, má samočisticí schopnost a zabraňuje tvorbě usazenin na horním povrchu, které by snižovaly konverzní účinnost přeměny. Materiál obalu je opět na bázi EVA a na bázi teflonu – TEFZEL.

Jednotlivé články se spojují do modulů. Jeden modul se skládá z 22 nebo 11 článků pro délku 6 m nebo 3,36 m. Šířka článku, a tedy i základního modulu je 394 mm (viz obr. 48). Podoba modulu je patrná z obr. 49.



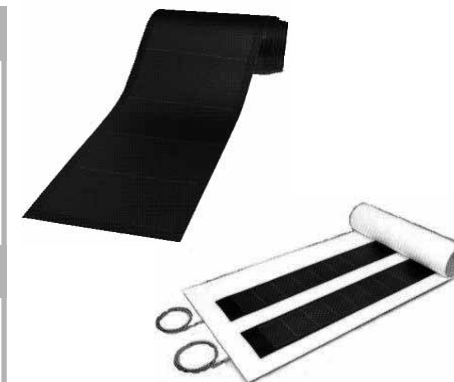
Obrázek 48 Rozměry a-Si modulu v milimetrech

Elektrické specifikace: STC podmínky

1 000 W/m ² , AM 1.5, teplota PV článků 25 °C	
Maximální výkon (P _p)	136 W _p
Napětí pro P _p (V _m)	33 V
Proud pro P _p (I _m)	4,1 A
Zkratový proud (I _{sc})	5,1 A
Napětí naprázdno (U _{oc})	46,2 V

Teplotní koeficienty

Teplotní koeficient I _{sc}	5,1 mA/K
Teplotní koeficient U _{oc}	-176 mV/K
Teplotní koeficient P _p	-286 mW/K



Tabulka 5 Elektrické parametry a-Si modulu Obrázek 49 Tenkovrstvý fotovoltaický modul

Základní elektrické charakteristiky tohoto modulu jsou v tabulce 5. Každý modul obsahuje tzv. přemostovací (bypass) diodu, která přemostí panel při jeho lokálním zastínění, a tím zabrání jeho poškození.

Tyto moduly se kompletují zpravidla do hydroizolační fólie ve čtyřech velikostech: délky 6 m a 3,36 m, šířky 1,55 m (tři panely vedle sebe) a 1,05 m (dva panely vedle sebe). Základní elektrické parametry těchto panelů jsou v tabulce 6 (STC podmínky).

Šířka pásů	[m]	1,55	1,05	1,55	1,05
Délka pásů	[m]	6		3,36	
Maximální výkon P _p	[Wp]	408	272	204	136
Napětí naprázdno U _o	[V]	138,6	92,4	69,3	46,2
Zkratový proud I _{sc}	[A]	5,1	5,1	5,1	5,1
Pracovní napětí U _{mpp}	[V]	99	66	49,5	33
Pracovní proud I _{mpp}	[A]	4,13	4,13	4,13	4,13
Teplotní koeficient U _{mpp}	[%/°C]	- 0,21			

Tabulka 6 Základní elektrické parametry pásů EVALON V-Solar [1]

Pásky fotonpanelů zatavené v hydroizolační fólii se montují přímo jako krytina na zákryt střechy pokrytý minerální izolací. Do této izolace jsou zapuštěny vývodní kabely panelů a vývodní krabice (obr. 50) [66].

Panely se kotví přes izolaci do podkladního bednění pomocí vrutů (obr. 51). Po ukotvení panelů se provádí hermetizace spojů přeplátováním a svařením horkým vzduchem (obr. 52). Okraje střechy, prostupy vzduchotechniky, komíny, lávky, sněholamy apod. se řeší speciálními tvarovkami, které se hermetizují také přeplátováním a zavařením. Jsou pokryté plasty pro snadné spojení s plastovými fotonpanely.

Vzniká tak fotovoltaická střecha – hermetická, odolná vůči oděru a perforaci, snášenlivá s asfalty. Další nespornou výhodou je ten fakt, že fotovoltaické moduly tohoto typu mají asi poloviční teplotní koeficient fotoelektrického napětí, a fungují tedy mnohem lépe na rozpálených střechách domů než krystalické panely. Životnost střechy je



▲ **Obrázek 50** ▲ Montáž kabelů a krabic



▲ **Obrázek 51** ▲ Kotvení fotovoltaických panelů



▲ **Obrázek 52** ▲ Hermetizace fotovoltaických panelů svařením

přes 25 let. Plastové fotopanely zavařené v hydroizolační fólii je možné montovat i na stávající plechové střechy. Montují se převážně ve svislém směru (obr. 53).

PV panely vydělají za dobu své životnosti nejen na sebe, ale na celou střechu.



▲ **Obrázek 53** ▲ Fotovoltaický systém a keramické moduly na domě



▲ **Obrázek 54** ▲ Výrobní linka na amorfní křemík roll-to-roll

Použitá technologie výroby – zvaná roll-to-roll – umožňuje kontinuální výrobu těchto panelů. Výrobní zařízení v délce přibližně 100 m (!) obsahuje vakuové nanášecí zařízení slitin polovodičů, propojovacích vrstev sítotiskem, vytváření přemostovacích diod, členění laserem. Do zařízení vstupuje na jedné straně nekonečný ocelový pás, na straně druhé vystupuje hotevový pás s fotovoltaickými moduly. Zařízení je na (obr. 54) [68].

Tento kontinuální způsob výroby je vysoce produktivní a dává záruky velmi dobré ekonomie výroby v blízké budoucnosti. Současná roční kapacita popisované výrobní linky je 60 MW_p, cílová v roce 2010 je 300 MW_p [67]. Při splnění těchto předpokladů v blízké budoucnosti lze očekávat, že cena celého fotovoltaického systému bude ovlivněna převážně montáží a konstrukcí připevnění na střechu. Cena montáže a konstrukce je relativně zanedbatelná pro fotovoltaické krystalické deskové moduly ve srovnání s cenou těchto

PV modulů (viz obr. 45 – svislá čárkovaná čára), ale je rozhodující pro fotovoltaické tenkovrstvé moduly druhé generace. Proto je o to důležitější jejich jednoduchá montáž přímo místo střešní krytiny. Potřebujeme vlastně jenom vruty a podložky. Hermetizace svařováním patří již mezi pokládku střešní krytiny.

Současná cena této krytiny v ČR včetně montáže a všech komponent pro připojení k elektrické síti se pohybuje na úrovni cca 8 tisíc korun (bez DPH) za 1 m² instalované plochy. Cena je o něco vyšší oproti fotovoltaickým systémům s klasickými fotovoltaickými krystalickými křemíkovými panely – ale znovu zdůrazňuji, že plastové fotovoltaické panely tvoří přímo střešní krytinu a nepotřebují žádné nosné konstrukce.