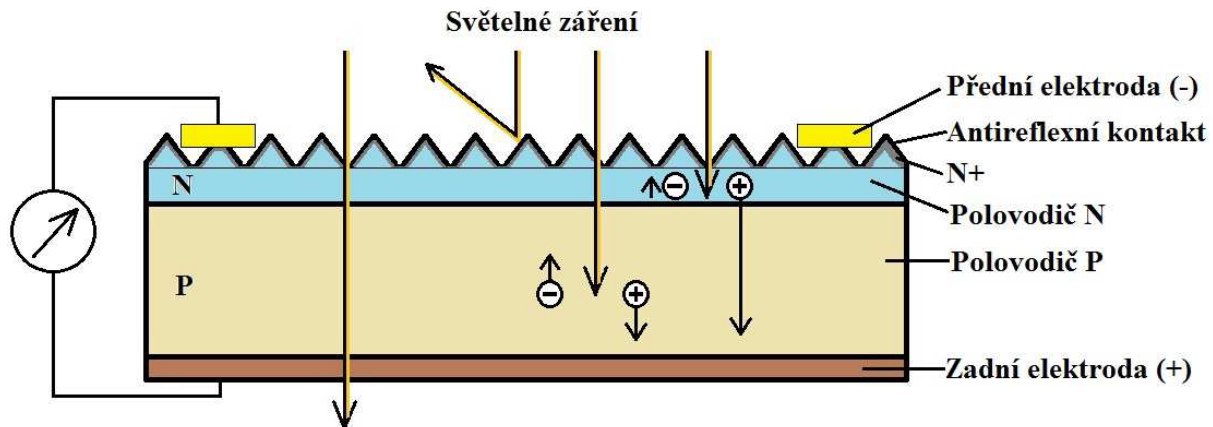


## 11.10 Základní charakteristiky fotovoltaického modulu

### I. Úvod do problematiky

Základním elementem pro stavbu fotovoltaických (FV) modulů je fotovoltaický článek. FV moduly bývají řazeny do skupin, tzv. polí, které jsou dále seskupovány do velkoplošných panelů užívaných v solárních elektrárnách.

Fotovoltaické články jsou vlastně *plošnými světelnými diodami*, ve kterých je elektrický proud iniciován dopadem světla na přechod P-N (viz obr. 1).



Obr. 1 Schéma solárního článku (převzato z [1]).

Světelná dioda se liší od obyčejné diody především tím, že má posunutou voltampérovou (VA) charakteristiku níže do záporných hodnot proudu o hodnotu tzv. fotoproudu  $I_f$ . Na obrázku 2 jsou schematicky vyobrazené VA charakteristiky obou typů diod. VA charakteristiku obyčejné polovodičové diody lze popsat pomocí nasyceného proudu v závěrném směru  $I_o$  a exponenciální funkcí závislou na přiloženém napětí  $U$

$$i = I_o[\exp(cU) - 1] \quad (1)$$

kde  $c$  je konstanta silně závislá na teplotě diody. VA charakteristiku světelné polovodičové diody můžeme tedy vyjádřit pomocí základní charakteristiky (1) posunutím do záporných hodnot o hodnotu fotoproudu  $I_f$

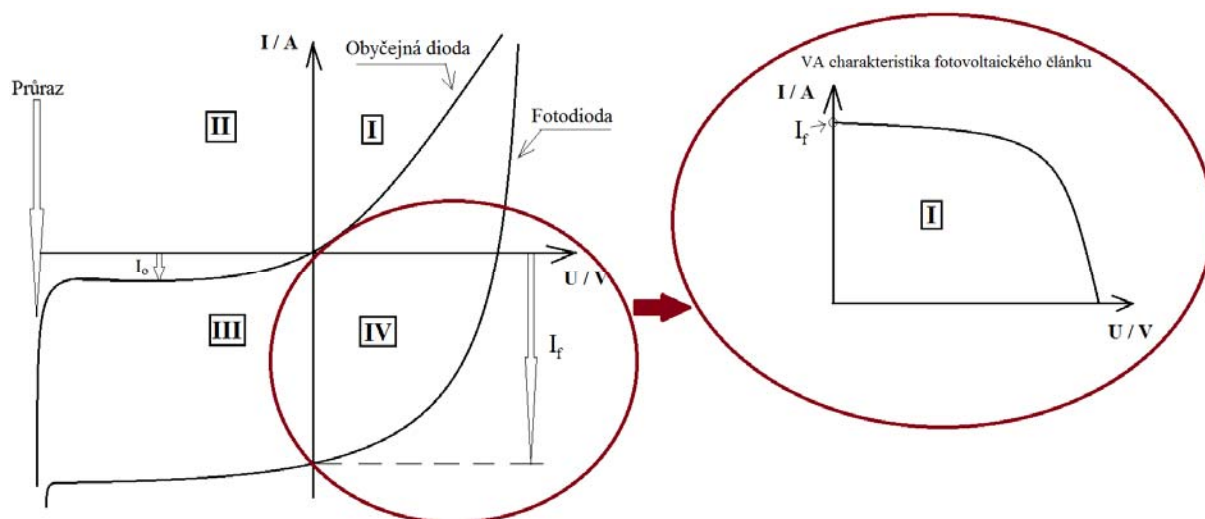
$$i = -I_f + I_o[\exp(cU) - 1] \quad (2)$$

Z obrázku 2 je patrné, že VA charakteristika obyčejné diody zasahuje pouze do prvního a třetího kvadrantu. Průběh v prvním kvadrantu představuje propustný směr proudu, ve třetím kvadrantu jde o závěrný směr, který vede až k průrazu diody. Podobný průběh můžeme sledovat i u VA charakteristiky světelné diody, která ale zasahuje navíc i do **čtvrtého kvadrantu**.

Ve třetím kvadrantu se světelná dioda chová jako pasivní fotoodpor, kdežto ve čtvrtém kvadrantu se stává aktivním zdrojem elektrické energie, tj. fotovoltaickým článkem. Hlavní charakteristiky fotovoltaického článku, jakožto základního stavebního kamene fotovoltaických celků, jsou tedy zakódovány v chování VA charakteristiky právě ve čtvrtém kvadrantu. **Praktičtější** je převést průběh ze čtvrtého do prvního kvadrantu, a to prostým překlopením charakteristiky kolem osy  $x$ , což matematicky znamená vynásobit mínus

jedničkou hodnoty proudu ve čtvrtém kvadrantu, tj.  $I = -i$ . Do prvního kvadrantu tak dostaneme **VA charakteristiku aktivního fotovoltaického článku** (potažmo modulu, viz obr. 2) popsanou rovnicí

$$I = I_f - I_o[\exp(cU) - 1] \quad (3)$$



**Obr. 2** Schéma VA charakteristik obyčejné diody a fotodiody.

Existují tři typy křemíkových FV modulů [2]: monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Monokrystalické moduly jsou založené na bázi vysoce čistého křemíku, jsou proto dražší a efektivnější (efektivita fotoelektrické konverze u nich činí až 16% - 20%). Polykrystalické moduly sestávají z polykrystalického křemíku, jsou levnější, ale s menší efektivitou konverze kolem 12% -14%. Amorfni moduly jsou vyrobeny z amorfniho křemíku, jejich konverzní účinnost je nejnižší, a to kolem 6% i méně. Jejich hlavní výhodou je ohebnost, která dovoluje jejich rolování. V praxi se nejčastěji používají polykrystalické moduly kvůli jejich nižší ceně.

Hlavní elektrické parametry FV modulů, které lze získat z jejich výkonových a VA charakteristik jsou následující:

### 1) **Bod maximálního výkonu (MPP)**

Vyznačuje se jako **pracovní bod MPP** na VA charakteristice. V této oblasti pracuje modul nejvýkonněji. Pracovní bod je odvozován z totálního maxima na výkonové křivce  $P(U)$  (viz obr. 3). Z maxima výkonové křivky lze získat souřadnici  $U_m$ , která je společná i pro bod MPP na VA charakteristice.

### 2) **Napětí $U_m$ , proud $I_m$ a výkon $P_m$**

Hodnota  $P_m$  je dána  $y$ -souřadnicí totálního maxima na výkonové křivce  $P(U)$  fotovoltaického modulu. Hodnota  $U_m$  je dána  $x$ -souřadnicí tohoto maxima. Přenesením hodnoty  $U_m$  na voltampérovou charakteristiku  $I(U)$  získáme  $y$ -souřadnici  $I_m$  (viz obr. 3). Platí:  $P_m = U_m I_m$ .

### 3) **Rezistance článku při maximálním výkonu $R_m$**

Tuto hodnotu zjistíme výpočtem  $R_m = U_m / I_m$ .

4) **Napětí naprázdno**  $U_{oc}$

Je to maximální napětí, které lze získat z modulu při daném osvětlení a dané teplotě modulu. Určíme jej po přímém samostatném připojení voltmetru k modulu.

5) **Proud nakrátko**  $I_{sc}$

Je roven maximálnímu proudu, který je článek schopen dodávat při daném osvětlení a dané teplotě. Proud nakrátko získáme po přímém samostatném připojení ampérmetru k modulu.

6) **Proud při napětí 450 mV**  $I_{(450)}$

Parametr  $I_{(450)}$  se používá k zařazení modulů do výkonnostních tříd.

7) **Vnitřní sériová**  $R_s$  **a vnitřní paralelní rezistance**  $R_p$

Tyto parametry jsou rovněž určitými kvalitativními ukazateli. Snahou je, aby sériová rezistance byla co nejmenší a paralelní co největší. Velká vnitřní sériová rezistance ubírá napětí na vnějším zatěžovacím odporu a malá paralelní rezistance způsobuje vnitřní zkrat článku (znehodnocení). Obě rezistance lze určovat ze směrnic na VA charakteristice:

$$R_s = - \left( \frac{dU}{dI} \right)_{U_{oc}} \quad (4)$$

$$R_p = - \left( \frac{dU}{dI} \right)_{I_{sc}} \quad (5)$$

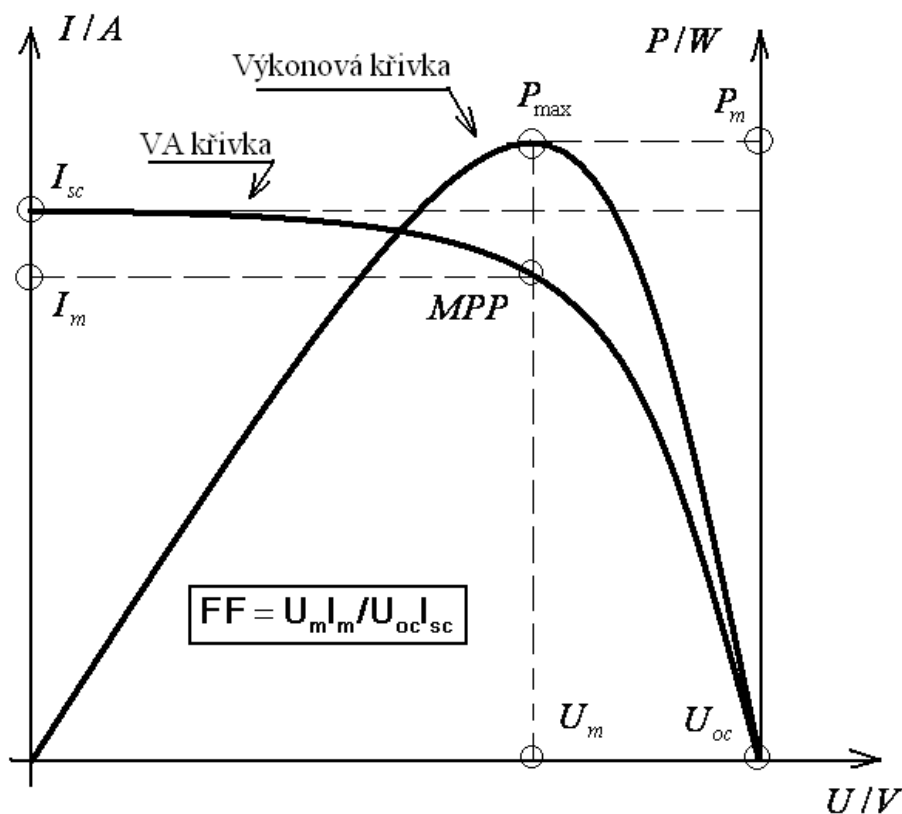
8) **Činitel plnění FF (Fill Factor)**

Je dán následujícím poměrem  $FF = U_m I_m / (U_{oc} I_{sc}) = P_m / (U_{oc} I_{sc})$ . Geometricky lze tento poměr připodobnit k poměru ploch obdélníku *vepsaného* do VA křivky kolem pracovního bodu *MPP* a obdélníka *opsaného* kolem VA křivky (viz obr 3). Tento poměr závisí na kvalitě kontaktů a použitých materiálů. Je to rovněž kvalitativní ukazatel.

9) **Účinnost fotovoltaického článku**  $\eta$

Je měřítkem efektivity fotoelektrické konverze a vyjadřuje se jako poměr výkonu fotovoltaického článku  $P_m$  a zářivého výkonu  $P_{rad}$  světla, které dopadá na účinnou plochu  $S$  článku. Zářivý výkon světla je dán součinem intenzity zářivého toku  $E$  ve watech na metr čtvereční a účinné plochy  $S$  článku, tj.  $P_{rad} = E \cdot S$ . Intenzitu  $E$  měříme přímo na povrchu článku pomocí solármetru:.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{rad}} \cdot 100 (\%) = \frac{P_m}{E \cdot S} \cdot 100 (\%) \quad (6)$$



**Obr. 3** Schéma VA charakteristiky a výkonové křivky fotovoltaického článku.

## II. Standardní testy FV panelů

Charakteristické parametry fotovoltaických panelů udávané výrobcem se stanovují pomocí testů, které odpovídají standardním podmínkám. Používá se světelný zdroj AM1.5 (Air Mass) simulující sluneční záření na zemském povrchu se zahrnutím vlivu atmosféry; světelná intenzita  $E = 1000 \text{ W/m}^2$  odpovídá hodnotě na povrchu Země; teplota panelu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  je teplotou letních měsíců.

Vzhledem k finanční náročnosti zdroje záření AM1.5 budeme v této práci používat jako náhradu silný halogenový reflektor, který sice nemá rozdělení spektrálních intenzit odpovídajícím přirozenému slunečnímu záření, ale na druhé straně jeho světlo obsahuje všechny potřebné vlnové délky. Intenzitu osvětlení  $E = 1000 \text{ W/m}^2$  bude možno nastavit pomocí vertikálního posuvu reflektoru nad povrchem FV modulu. Nebudeme moci zaručit teplotní stabilizaci odpovídající standardní hodnotě  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , ale budeme testovat při vyšší teplotě, která se ustaví přirozeným způsobem po osvětlení modulu za určitou dobu, a to přibližně v okolí hodnoty  $53 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## III. Cíle laboratorní práce

**Naměřte voltampérovou a výkonovou křivku fotovoltaického modulu WS-10 indického výrobce Waaree [3]. Pomocí těchto křivek určete všechny charakteristické parametry 1) – 9) vyjmenované v předešlé kapitole. Účinná plocha<sup>1</sup> tohoto modulu činí přibližně 0,0373 m<sup>2</sup>.**

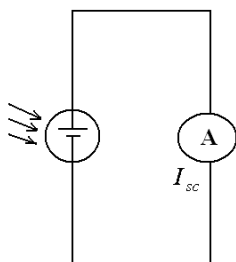
<sup>1</sup> Účinná plocha byla oceněna součtem elementárních plošek základních aktivních buněk modulu, které jsou vymezeny neaktivními tenkými světly linkami. Jde o přibližné ocenění aktivní plochy modulu.

### Pomůcky:

Fotovoltaický Modul WS-10  
Halogenový reflektor 160W s vertikálním posuvem  
Solármetr pro měření intenzity osvitů  $E$   
Voltmetr Metex na rozsahu 200V ss.  
Ampérmetr Metex na rozsahu 2A ss  
Digitální teploměr na měření teploty povrchu FV modulu

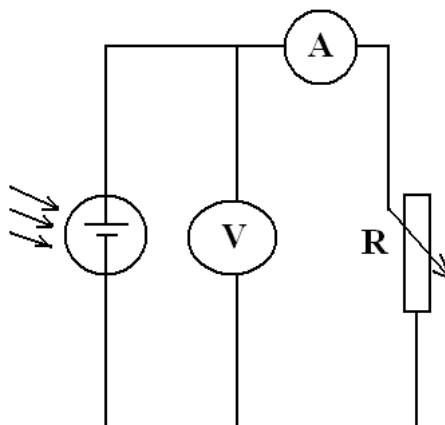
### IV. Pracovní postup

- 1) Posuňte rozsvícený halogenový reflektor vertikálně **co nejbližší k povrchu** FV modulu tak, aby byl ještě ozářen celý jeho aktivní povrch. Těsná blízkost reflektoru u modulu zaručí rychlé ohřívání modulu a zkrátí čekací dobu. Čidlo digitálního teploměru přiložte na **střed** povrchu modulu a sledujte stoupající teplotu.
- 2) Jakmile teplota dosáhne  $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ , položte na střed modulu do blízkosti čidla teploměru čidlo solármetru a vertikálním posuvem **oddalte rozsvícený reflektor** do takové výšky, až solármetr na displeji ukáže hodnotu  $E = 1000\text{ W/m}^2$ . Poté čidlo solármetru odstraňte, avšak čidlo teploměru ponechte na povrchu a sledujte dále teplotu modulu. Reflektor musí stále svítit.
- 3) Po oddálení reflektoru teplota modulu může ještě nějakou chvíli stoupat nebo klesat, ale pak se dostane do ustáleného stavu. Tuto ustálenou teplotu  $T$  si poznamenejte. Čidlo teploměru odstraňte. Tím je modul připraven k měření. Reflektor bude pochopitelně svítit po celou dobu měření.



**Obr. 4** *Ovod nakrátko.*

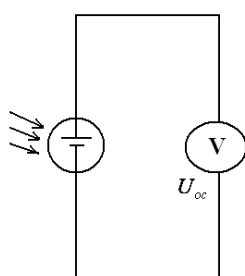
- 4) Vzhledem k tomu, že měřící zařízení není umístěno v klimatizační komoře, teplota modulu může, bohužel, kolísat vlivem průvanu v místnosti (otevření okna nebo dveří nebo častým procházením kolem modulu), což se může negativně projevit na výsledcích měření, neboť modul, jako každý jiný polovodič, je silně teplotně závislý. Je proto nutné, aby zařízení bylo umístěné v laboratoři na takovém místě, aby k teplotnímu ovlivnění docházelo jen minimálně.
- 5) Jakmile je vyhřátý modul s ustálenou teplotou připraven k měření, můžeme zapojit ampérmetr samostatně přímo k vývodům modulu dle schématu znázorněném na obr. 4. Naměřenou hodnotu  $I_{sc}$  si poznamenejte do tabulky jako první hodnotu.
- 6) Nyní je možno zapojit celkový měřící obvod dle schématu na obr. 5 – pro usnadnění je připraven rozvodný box s popsány vstupy a výstupy. Nejprve nastavíme odpor dekády (kolem  $3,3\ \Omega$ ) tak, aby voltmetr ukazoval  $450\text{ mV}$  a odečteme hodnotu proudu  $I_{450}$  na ampérmetru a zapíšeme do tabulky. Následující hlavní měření je založeno na postupném zvyšování hodnot rezistance  $R$  vnějšího zatěžovacího odporu dekády. Ke každé nové hodnotě rezistance  $R$  si zapište hodnoty napětí  $U$  a proudu  $I$ . Hodnoty rezistancí je žádoucí dodržet v posloupnosti, která je uvedena v níže uvedené tabulce



Obr. 5 Hlavní měřící obvod.

Tabulka 1. Doporučený záznam naměřených hodnot.

$U_{450}$		..... mV												
$I_{450}$		..... A												
Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W	Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W	Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W
1	---	0	$I_{sc}$	0	11	100				21	220			
2	10				12	110				22	260			
3	20				13	120				23	350			
4	30				14	130				24	500			
5	40				15	140				25	900			
6	50				16	150				26	2 000			
7	60				17	160				27	10 000			
8	70				18	170				28	30 000			
9	80				19	180				28	-----	$U_{oc}$	0	0
10	90				20	190								



Obr. 6 Obvod naprázdno.

7) Jakmile jsou naměřeny všechny doporučené hodnoty a kompletována tabulka 1, provedeme měření napětí modulu „naprázdno“ dle schématu na obr. 6. Voltmetr je zapojen samostatně přímo na vývody FV modulu. Hodnotu z voltmetru  $U_{oc}$  zapíšeme do tabulky 1 na poslední místo.

- 8) Stanovte teplotu  $T$  na různých povrchových místech FV modulu. Místa jsou označena **červenými body** přímo na povrchu modulu. Použijte k tomu čidlo digitálního teploměru. Vypočítejte průměrnou teplotu. Průměrnou teplotu stanovujeme kvůli nerovnoměrnému osvětlení reflektorem.
- 9) Na stejných povrchových místech modulu označených červenými body změřte intenzitu osvětlení  $E$  solármetrem a vypočítejte její průměrnou hodnotu. S průměrnou hodnotou intenzity osvětlení budeme vstupovat do výpočtů účinnosti  $\eta$  modulu. Průměrnou hodnotu stanovujeme kvůli nerovnoměrnému osvětlení reflektorem.

10) Stanovte intenzity osvětlení  $E$  na různých povrchových místech FV modulu. Místa jsou označena **červenými body** přímo na povrchu modulu.

11) Vypněte halogenové světlo reflektoru a ostatní přístroje. Nyní můžete sestřít grafy VA charakteristiky a výkonové křivky jako dva separátní grafy. Výkonové body  $P$  jsou dány součinem naměřených napětí a proudů (viz tabulka 1). Z vizuálně určeného maxima výkonové křivky odečtete souřadnici  $U_m$ , kterou přenesete do grafu VA křivky a určíte druhou souřadnici  $I_m$  (viz obr. 3). Dál postupujte podle definic ostatních parametrů uvedených na konci úvodní kapitoly I.

*Pro větší názornost je v příloze tohoto návodu kompletně zpracováno jedno celé měření.*

## V. Příloha – příklad kompletního zpracování naměřených dat

**Tabulka 2** Naměřené hodnoty.

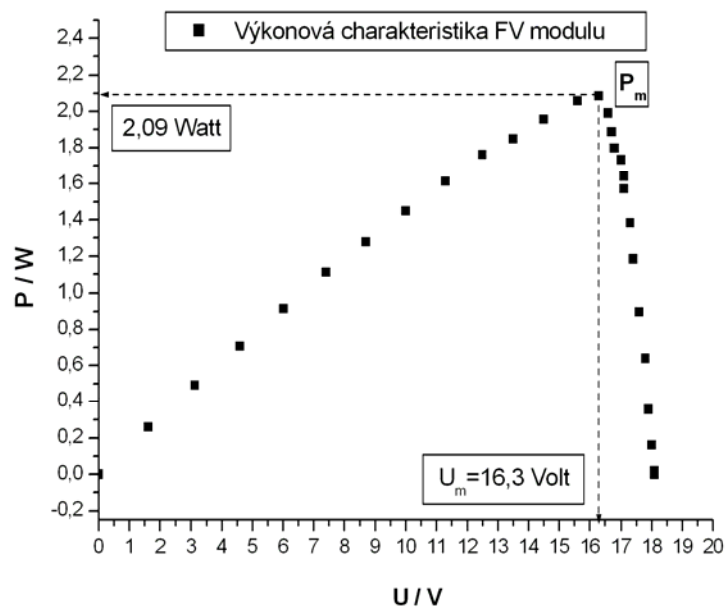
$U_{450}$		450 mV							
$I_{450}$		0,164 A							
Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W	Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W
<b>1</b>	---	0	$I_{sc}=0,165$	0	<b>11</b>	100	13,5	0,137	1,849
<b>2</b>	10	1,63	0,160	0,260	<b>12</b>	110	14,5	0,135	1,956
<b>3</b>	20	3,13	0,157	0,491	<b>13</b>	120	15,5	0,132	2,046
<b>4</b>	30	4,60	0,154	0,708	<b>14</b>	130	16,3	0,128	2,086
<b>5</b>	40	6,02	0,152	0,915	<b>15</b>	140	16,6	0,120	1,992
<b>6</b>	50	7,4	0,150	1,110	<b>16</b>	150	16,7	0,113	1,887
<b>7</b>	60	8,7	0,147	1,279	<b>17</b>	160	16,8	0,107	1,798
<b>8</b>	70	10,0	0,145	1,450	<b>18</b>	170	17,0	0,102	1,734
<b>9</b>	80	11,3	0,143	1,616	<b>19</b>	180	17,1	0,096	1,642
<b>10</b>	90	12,5	0,141	1,762	<b>20</b>	190	17,1	0,092	1,573

Č.	R $\Omega$	U V	I A	P=UI W
<b>21</b>	220	17,3	0,080	1,384
<b>22</b>	260	17,4	0,068	1,183
<b>23</b>	350	17,6	0,051	0,898
<b>24</b>	500	17,8	0,036	0,641
<b>25</b>	900	17,9	0,020	0,358
<b>26</b>	2 000	18,0	0,009	0,162
<b>27</b>	10 000	18,1	0,001	0,018
<b>28</b>	30 000	18,1	0,000	0,000
<b>28</b>	-----	$U_{oc}=18,1$	0,000	0

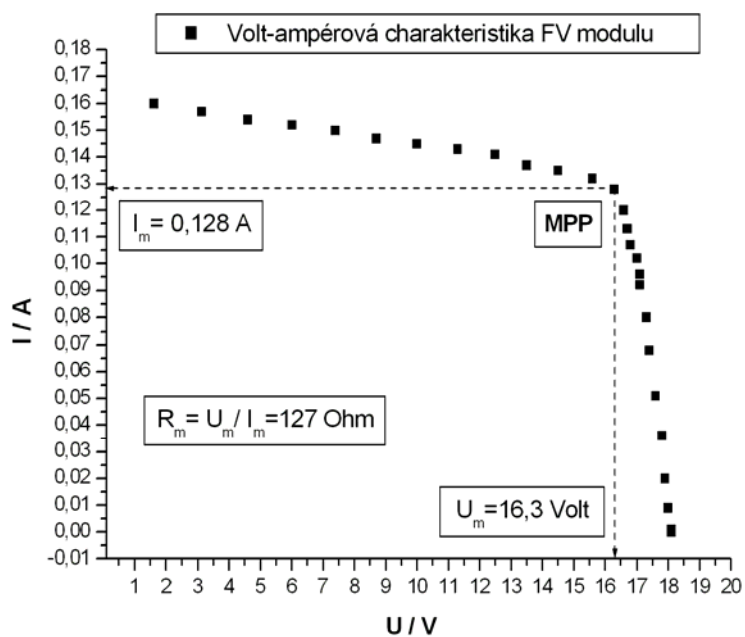
**Tabulka 3** Naměřené intenzity osvětlení  $E$  a povrchové teploty  $T$

$E / Wm^2$	1123	1025	647	760	898	488	533	790	627	$\langle E \rangle \approx 766 Wm^2$
------------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	--------------------------------------

$T / ^\circ C$	59	58	52	50	48	46	47,5	50	47	$\langle T \rangle \approx 51^\circ C$
----------------	----	----	----	----	----	----	------	----	----	--

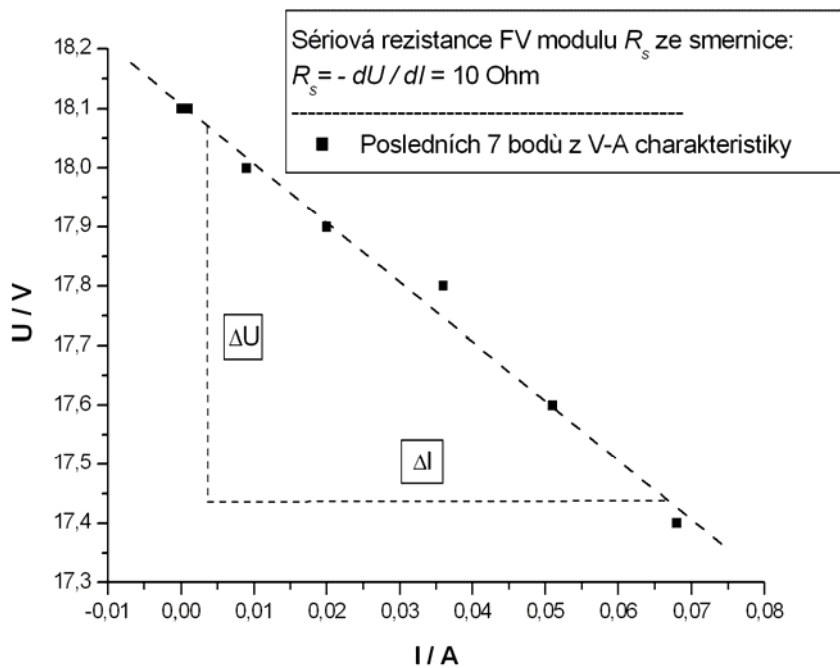


Obr. 7 Výkonová křivka.

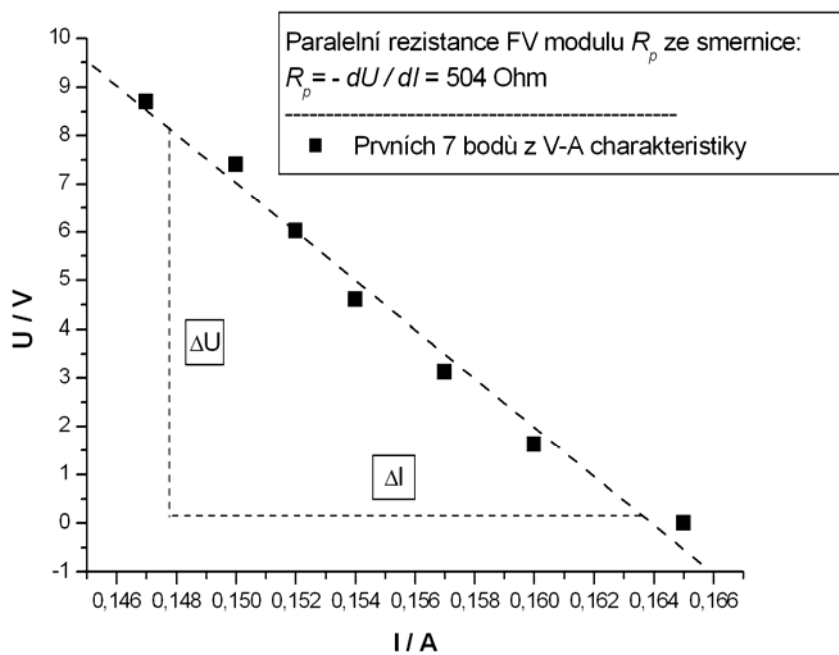


Obr. 8 VA křivka.





**Obr. 9** Stanovení vnitřní séiové rezistance FV modulu.



**Obr. 10** Stanovení vnitřní paralelní rezistance FV modulu.

### Výsledky:

MPP (viz obr. 8)

$$I_{450} = 0,164 \text{ A (Měřeno v rámci hlavního zapojení – tab. 2)}$$

$$U_{oc} = 18,1 \text{ V (tab. 2)}$$

$$I_{sc} = 0,165 \text{ A (tab. 2)}$$

$$U_m = 16,3 \text{ V (obr. 7, 8)}$$

$$I_m = 0,128 \text{ A (obr. 8)}$$

$$P_m = U_m \cdot I_m = 2,09 \text{ W (obr. 7)}$$

$$R_m = U_m / I_m = 127 \Omega$$

$$R_s = 10 \Omega \text{ (vnitřní sériová rezistance modulu viz obr. 9)}$$

$$R_p = 504 \Omega \text{ (vnitřní paralelní rezistance modulu viz obr. 10)}$$

$$FF = P_m / U_{oc} I_{sc} = 0,8 \text{ (činitel plnění)}$$

$$\eta = P_m / [ < E > S ] \cdot 100 = 7,3 \% \text{ (Účinnost fotovoltaiické konverze modulu)}$$

### Diskuse:

Výše uvedené parametry fotovoltaiického modulu WS-10 indického výrobce Waaree [3] vypovídají o standardní kvalitě výrobku. Vnitřní paralelní rezistance je 50x větší než vnitřní sériová rezistance, což je žádoucí, aby nedocházelo k vnitřnímu zkratu nebo k velkému úbytku napětí. Činitel plnění FF je rovněž dostatečně velký 0,8. Byla zjištěna fotovoltaiická účinnost  $\eta = 7.3 \%$  (výrobce udává 9,52 %). Obě účinnosti jsou poněkud nižší, než by odpovídalo polykrystalickému modulu, avšak naše hodnota byla jistě ovlivněna nestandardní teplotou 51 °C – standardní testovací teplota má být 25 °C – tím může být vysvětlen i rozdíl mezi naší hodnotou a hodnotou výrobce, který navíc používal standardní zdroj osvětlení na rozdíl od naší halogenové náhražky.

### Závěr:

Modul WS-10 z *hlediska testovaných elektrických parametrů* představuje spíše průměrný výrobek s poněkud nižší účinností, avšak celkově jde o spolehlivý výrobek střední třídy jakosti.

Pro kompletní otestování tohoto výrobku by bylo žádoucí provést další analýzy, které se týkají materiálových vad a provést jejich zviditelnění některou z vizuálních registračních technik jako jenapř. elektroluminiscence, luminiscence mikroplazmy nebo metoda LBIC (Light Beam Induced Current) apod. Testování materiálových vad je předmětem další samostatné laboratorní úlohy.

-----  
-----  
-----

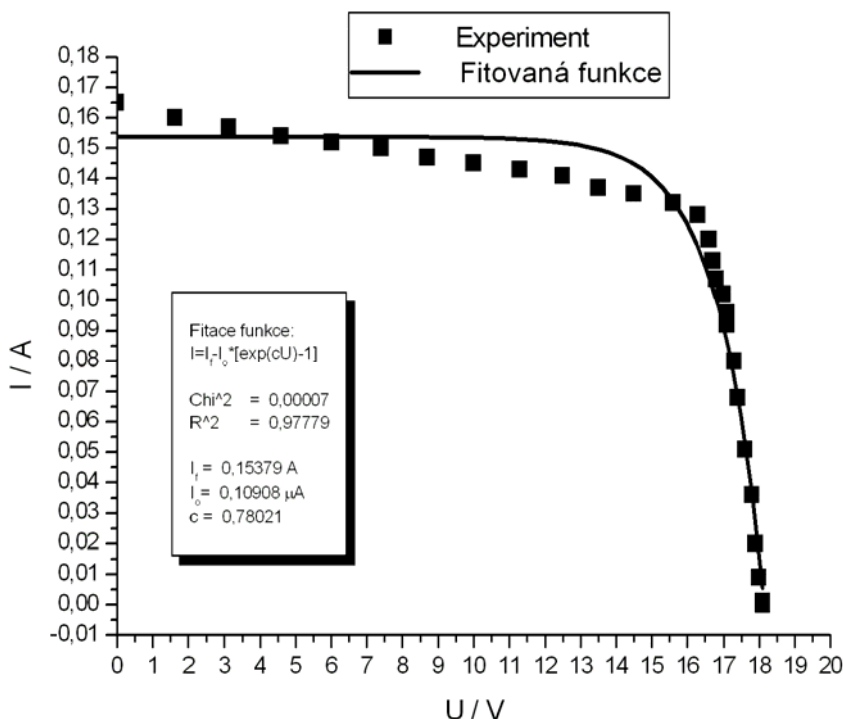
## Apendix - nepovinná část

Pro zájemce o detailnější rozbor naměřených závislostí, které souvisí s voltampérovou křivkou a výkonovou křivkou, je v této části textu proveden podrobnější rozbor experimentálních dat a jejich porovnání s teoretickým modelem fotodiody.

V úvodní kapitole I byla vysvětlena základní rovnice pro VA charakteristiku fotodiody. VA křivka čtvrtého kvadrantu byla překlopena do prvního kvadrantu a tím byla získána rovnice (3), tj.

$$I = I_f - I_o[\exp(cU) - 1] \quad (7)$$

Tuto funkci  $I(U)$  můžeme pomocí některé nelineární regresní metody nafitovat na naměřená data VA charakteristiky a zjistit přibližné hodnoty všech tří parametrů, tj. fotoproudu  $I_f$ , nasyceného proudu  $I_o$  v závěrném směru při zatměném modulu a také hodnotu konstanty  $c$ , která silně závisí na teplotě. Použili jsme k tomu Levenberg-Marquardtovu optimalizační metodu a výsledky je možno vidět na obrázku 11



**Obr. 11** Fitace VA charakteristiky pomocí funkce (7).

Jak je patrné z obrázku 11, voltampérovou charakteristiku FV modulu lze alespoň přibližně aproximovat rovnicí fotodiody, avšak vzhledem k viditelným odchylkám zejména v oblasti počátečního šikmého úseku nelze zcela spoléhat na numerickou přesnost parametrů fitace; např. fitovaný fotoproud  $I_f$  má hodnotu 0,154 A, kdežto naměřená hodnota tohoto fotoproudu byla 0,164 A - rozdíl ale činí pouhých 6%, což ve skutečnosti není tak velký rozdíl.

Využijeme-li okrajové podmínky  $I(U_{oc}) = I_{sc}$  a  $I(U_{oc}) = 0$ , můžeme z rovnice (11) vyjádřit konstantu  $c$

$$c = \frac{1}{U_{oc}} \ln \left( 1 + \frac{I_{sc}}{I_o} \right) \quad (8)$$

a porovnat její fitovanou hodnotu  $c = 0,780$  s hodnotou z výpočtu podle vzorce (8)  $c = 0,786$  – mezi nimi je zanedbatelný rozdíl 0,8 %. Můžeme konstatovat, že rovnice fotodiody (7) dosti dobře aproximuje chování VA charakteristiky vyšetřovaného FV modulu.

Jestliže tedy rovnice (7) popisuje dobře VA charakteristiku FV modulu, měla by být použitelná i pro odvození výkonové křivky  $P(U) = U \cdot I$ :

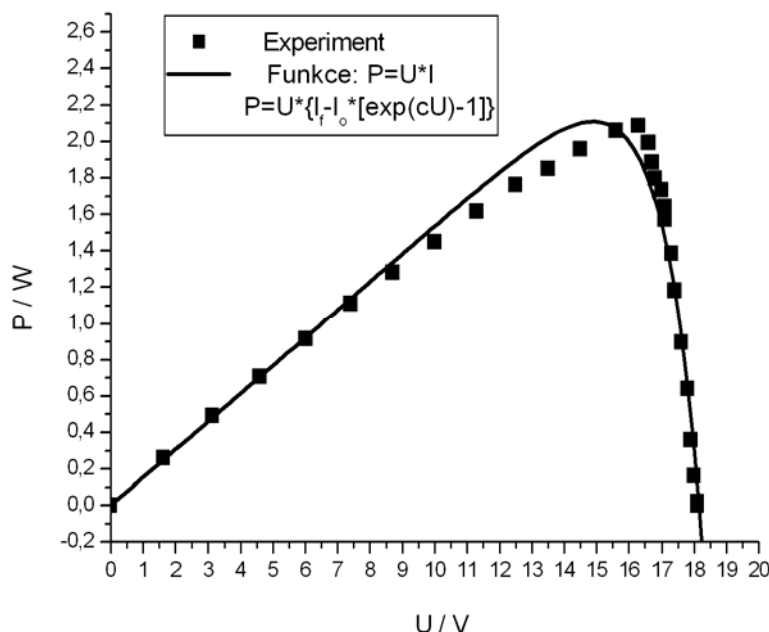
$$P = U \{ I_f - I_o [\exp(cU) - 1] \} \quad (9)$$

Z podmínky pro extrém  $dP/dU = 0$  dostáváme rovnici určující napětovou souřadnici  $U_m$  totálního maxima výkonové křivky:

$$\frac{I_f}{I_o} + 1 = (1 + cU_m) \exp(cU_m) \quad (10)$$

$$1,513 \cdot 10^6 = (1 + 0,78U_m) \exp(0,78U_m) \quad (11)$$

Rovnice (11) je transcendentní rovnicí. Takový typ rovnic se řeší iterativně. Z měření víme, že by řešení pro  $U_m$  mělo být v okolí hodnoty 16,3 V, a proto se v iteracích zaměříme na toto okolí. Lze ověřit, že rovnici (11) docela dobře vyhovuje hodnota 15,0 V. To sice není úplná shoda s naměřenou hodnotou, ale rozdíl činí pouhých 8 %. Když nyní vyneseme graf výkonové funkce (9) s dosazenými fitovanými hodnotami z VA fitace společně s naměřenými hodnotami výkonu, dostaneme výsledek, který je znázorněn na obrázku 12. Z něho je patrné, že teoretická křivka má maximum skutečně v blízkosti napětové souřadnice  $U_m = 15$  V. Celková grafická shoda obou průběhů je patrná.



**Obr. 12** Teoretická křivka výkonu versus experimentální výkonový průběh.

#### Literatura

- [1] V. Kopunec, "Analytické metody solárních panelů a systémů". Diplomová práce (FEKT VUT, Brno, 2011).
- [2] V. Quaschnig, Obnovitelné zdroje energií (Grada, Praha, 2010).
- [3] Webová stránka výrobce Waaree: [www.waaree.com](http://www.waaree.com) (aktivní v r. 2017).