



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ PRO OHŘEV VODY

HEATING OF HOT WATER BY SYSTEM BASE ON PHOTOVOLTAIC PANELS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÍTEK ZDVOŘILÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Bc. Ing. JAN FIŠER, Ph. D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Vítek Zdvořilý

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití fotovoltaických panelů pro ohřev vody

v anglickém jazyce:

Heating of hot water by systme base on photovoltaic panels

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití fotovoltaických panelů jako zdroje energie pro ohřev teplé užitkové vody je v posledních letech stále častějším jevem. Díky poklesu cen panelů v posledních letech klesla cena instalací s PV panely na stejnou nebo dokonce nižší cenu než u fototermických systémů. Provoz systému pro přípravu TUV s PV panely má však některá specifika, kterým se věnuje tato bakalářská práce.

Cíle bakalářské práce:

Práce bude zaměřena na problematiku efektivního provoz fotovoltaického systému pro ohřev teplé vody a na typy systémů, které takové využití umí zajistit (MPPT, přepínání zátěže, přepínání řazení panelů, PMW regulace). Blíže se věnujte popisu jednotlivých komponent systému, typů PV panelů dostupných na trhu v ČR a odhadu jejich průměrné energetické výroba za typický klimatický rok pro vybranou lokalitu v ČR.

Seznam odborné literatury:


- [1] Karel Srdečný: Solární termické systémy – slepá vývojová větev?,
<http://oze.tzb-info.cz/10475-solarni-termicke-systemy-slepa-vyvojova-vetev>
- [2] Bronislav Bechník: Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory?,
<http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>
- [3] Wolf: Fotovoltaický systém pracující do odporové zátěže,
<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/fotovoltaicky-system-pracujici-do-odporove-zateze.html>
- [4] A. Luque, S. Hegedus: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley. 2003.
ISBN: 0-471-49196-9
- [5] Cihelka, J.: Solární tepelná technika, Nakl. T. Malina, Praha 1994

Vedoucí bakalářské práce: Bc. Ing. Jan Fišer, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 20.11.2013




doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

Abstrakt

Cílem práce je porovnání jednotlivých typů regulace pro efektivní ohřev teplé užitkové vody s využitím fotovoltaických panelů pro běžnou domácnost. V úvahu je brána regulace MPPT, přepínání zátěže, přepínání řazení panelů a PWM regulace. Součástí práce je návrh fotovoltaického systému, který umožňuje ohřev vody a výpočet množství vody, které by bylo možné ohřát, pokud by navržený systém byl zprovozněn v Poličce, okres Svitavy.

Abstract

The aim of the Bachelor thesis is to compare specific types of regulation for the effective heating water with using photovoltaic panels for the standard household. The follow types of regulation was taken into account: the MPPT controller, switching of load, switching of pannels connection and PWM regulator. The second part of the thesis is focused on design of photovoltaic system for domestic hot water heating which is designed for climatic conditions in Polička near Svitavy.

Klíčová slova:

Solární panely, fotovoltaické panely, ohřev teplé užitkové vody, regulace pomocí sledovače bodu maximálního výkonu, přepínání řazení panelů

Key words:

Solar panels, photovoltaic panels, heating of domestic hot water, regulation by maximal point tracker, switching of load

Bibliografická citace

ZDVOŘILÝ, V. *Využití fotovoltaických panelů pro ohřev vody*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014, 58 s. Vedoucí bakalářské práce Bc.Ing. Jan Fišer, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Využití fotovoltaických panelů pro ohřev vody vypracoval samostatně, za použití uvedené odborné literatury a dle pokynů vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 23.5.2014

.....

Podpis

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Bc. Ing. Janu Fišerovi, Ph.D. za jeho cenné rady, čas věnovaný konzultacím, ochotu a poskytnutí podkladových materiálů pro úspěšné vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval firmě DZD Dražice za ochotu k poskytnutí cenných informací nutných pro výpočet fotovoltaického systému.

V Brně dne 24.5.2014

.....
Podpis

Obsah

1. Úvod	11
2. Základní parametry ohřevu vody	12
3. Možnosti ohřevu vody	13
3.1. Zásobníkové ohřivače vody ('bojlery')	13
3.2. Průtokové ohřivače vody.....	13
3.3. Sluneční kolektory.....	14
4. Princip fotovoltaického systému	15
4.1. Sluneční záření.....	15
4.2. Fotovoltaický panel.....	15
4.3. Technologie fotovoltaických panelů.....	16
4.3.1. Monokrystalické.....	16
4.3.2. Polykrystalické.....	16
4.3.3. Tenkovrstvé.....	17
5. Sledované elektrické veličiny	18
6. Porovnání fototermického a fotovoltaického systému	19
6.1. Výhody a nevýhody.....	20
6.2. Technické parametry.....	21
6.3. Účinnosti.....	21
6.3.1. Standardní testovací podmínky.....	21
6.3.2. Letní jasná obloha.....	22
6.3.3. Letní zatažená obloha.....	22
6.3.4. Zimní jasná obloha.....	23
6.3.5. Běžné zimní podmínky.....	23
6.4. Finanční hlediska [37].....	24
6.5. Shrnutí.....	25
7. Princip ohřevu vody pomocí fotovoltaických panelů	26
7.1. Soustava.....	26
7.2. Elektrické vlastnosti.....	26
7.3. Impedanční přizpůsobení FV panelů a odporové zátěže pro ohřev vody.....	27
8. Popis jednotlivých systémů [02]	28
8.1. MPPT.....	29
8.2. Přepínání zátěže [13].....	29
8.3. Přepínání řazení panelů.....	29
8.4. PWM regulace.....	30
9. Porovnání jednotlivých systémů z hlediska vhodnosti použití za daných podmínek	31
9.1. Součásti systému pro vzorový výpočet porovnání ohřevu vody FV panely.....	31
9.1.1. Fotovoltaický ohřivač vody 'LX ACDC/M+K 125 B' [10].....	31

9.1.2. Solární panel STP6-245/60 Series.....	31
9.1.3. MPPT Tracker + měnič 2 kW (obr. 9.2.)	32
9.1.4. PWM Regulátor 'Axpert KS 24 V 1600 W' [16].....	33
9.2. Výpočet výkonu při různých typech regulace.....	33
9.2.1. Výkon při odporové zátěži.....	34
9.2.2. Výkon při přepínání zátěže.....	34
9.2.3. Výkon při MPPT regulaci.....	39
9.2.4. Vyhodnocení jednotlivých systémů regulace.....	39
9.3. Výpočet jednotlivých druhů regulací pro určenou klimatickou polohu ČR.....	41
9.4. Zhodnocení.....	44
10. Závěr.....	45
11. Seznam použitých zdrojů.....	46
12. Seznam použitých veličin a zkratk.....	48
13. Seznam příloh.....	50

1. ÚVOD

Pro člověka je jednou ze základních surovin voda, což dokládá i fakt, že tělo průměrného dospělého člověka obsahuje cca 70 % vody. S rozvojem civilizace se zvyšují nároky na kvalitu a množství vody využívané ve společnosti i v běžném životě. Jednou ze základních úprav vody, kterou využívají běžní občané pravidelně, je ohřev vody, protože teplá voda je používána pro hygienu, zpracování potravin, mytí nádobí, atd., přičemž průměrná spotřeba vody na osobu v Evropě činí přibližně 122 l denně.

Ohřev vody může probíhat mnoha způsoby. Vždy je nutné energii získat, jelikož energie v pravém slova smyslu nelze vyrábět, ale pouze přeměňovat z jednoho druhu na jiný. V praxi se ale používá termín '*výroba energie*' a znamená již zmíněnou přeměnu energie. Nejstarším a dodnes hojně využívaným způsobem ohřevu vody je ohřev při exotermické oxidaci, u které dochází ke spalování vhodné látky, tzv. paliva. S postupem času se vyvíjely požadavky na efektivitu, komfort obsluhy a ohleduplnost technologie pro ohřev vody k životnímu prostředí. Oba požadavky pomohly k tomu, že zatímco v dřívějších dobách bylo jako palivo používáno převážně dřevo a uhlí, v současnosti se spíše používá zemní plyn, propan-butan či automatizované systémy na tuhá paliva.

Při oxidaci vzniká velké množství látek, z nichž některé představují ve větším množství zátěž pro životní prostředí, a proto dochází k hledání a rozvoji alternativních způsobů ohřevu vody. Hojně rozšířený způsob ohřevu je za využití elektrické energie, který je mnohem ohleduplnější k životnímu prostředí a v místě použití nezpůsobuje žádné lokální zatížení. Nevýhodou je, že při výrobě elektrické energie běžným způsobem vznikají vedlejší produkty, které zatěžují životní prostředí v místě výroby elektrické energie a pokud je zdrojem energie fosilní palivo, tak je i přeměna na elektrickou energii zpravidla zatížena relativně nízkou účinností. Za účelem snížení negativních dopadů výroby elektrické energie jsou vyvíjeny tzv. obnovitelné zdroje energie, přičemž jedním z obnovitelných zdrojů energie je sluneční záření, jehož využitím se budu zabývat v této práci.

Sluneční záření se dá zachytit pomocí sběračů, tzv. kolektorů. Jedním z typů kolektorů jsou fotovoltaické panely, které se používají při výrobě elektrického proudu a pracují na principu fotovoltaického jevu.

Použití těchto panelů pro ohřev užitkové vody se v současnosti stále rozvíjí. Panely vyrábí elektrickou energii, která je následně využita k ohřevu vody. V dřívější době byla hlavním omezením pro tento ohřev vody především vysoká cena fotovoltaických panelů, dnes však již díky poklesu výrobní ceny existují případy, kdy pořízení fotovoltaických panelů pro pokrytí celé plochy střechy rodinného domu vychází přibližně finančně stejně jako tradiční střešní krytina. Fotovoltaické panely převádí sluneční energii na elektrickou, která má velice nízkou entropii, a proto není problém převést energii na teplo s vyšší entropií, což umožňuje činnost fotovoltaických panelů i při nízkých teplotách a systém tak lze použít pro ohřev vody po celý rok.

Využití fotovoltaických panelů pro ohřev teplé užitkové vody je v současné době stále ve fázi vývoje a je tedy otázkou, jak nejlépe navrhnout a provozovat takový systém s ohledem na jeho maximální využití. V práci se budu zabývat tím, jak by měl být nainstalován fotovoltaický systém, aby umožňoval ohřev vody, jak se uplatňuje regulace systému a proč se v něm používá. V práci se také zaměřím na popis vlastností a činností, které mají významný vliv na provoz systému.

2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY OHŘEVU VODY

Energii nezbytnou pro ohřev určitého množství vody lze vyjádřit kalorimetrickou rovnicí $Q = mc\Delta t$, kde Q [J] je potřebné teplo k ohřátí **hmotnosti** m [kg] vody o **měrné tepelné kapacitě** c [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$] o **teplotu** Δt [$^{\circ}\text{C}$]. Výše zmíněné jednotky jsou ale používány při výpočtech a na odborných pracovištích. V běžném životě jsou používány následující jednotky (včetně přepočtu):

$$P [\text{W}] \Rightarrow Q [\text{J}] \Rightarrow P = \frac{Q}{\tau} \dots \text{kde } P \text{ je výkon, } \tau \text{ je čas v [s]}$$

$V [\text{l}] \Rightarrow m [\text{kg}] \Rightarrow V = m \cdot \rho \dots V$ je objem [l], kde platí $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$, ρ hustota [kg/m^3] (hustota vody $\rho_V = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$) \Rightarrow po dosazení $\Rightarrow 1 [\text{m}^3] = 1 [\text{kg}] \cdot 1000 [\text{kg}/\text{m}^3] \Rightarrow 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ kg} \Rightarrow 1 \text{ l} \approx 1 \text{ kg}$

Pro představu jsou v tab. 1.1. uvedeny potřebné množství vody pro běžné denní úkony, které byly získány měřením v bytových domech panelového typu [38].

Činnost	Skutečná spotřeba [l·os ⁻¹ ·den ⁻¹]	Teoretická spotřeba [l·os ⁻¹ ·den ⁻¹]
Splachování WC	40	18
Velká hygiena (sprcha, koupel)	80	40
Malá hygiena (mytí rukou)	20	16
Praní prádla v AP	18	18
Vaření, pití	10	10
Mytí nádobí	12	10
Ostatní činnosti	10	10
Celkem	190	122

Tab. 1.1 Spotřeba vody v bytě

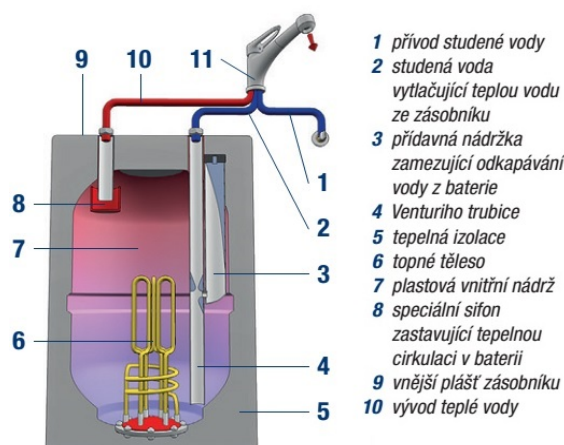
3. MOŽNOSTI OHŘEVU VODY

Pro ohřátí vody existuje mnoho způsobů. Všechny způsoby mají společné dvě základní části. Skládají se z nádoby pro vodu a z přívodu energie, která je předána vodě a pomocí které je voda ohřána.

Nejstarší způsob ohřívání je ohřev spalováním tuhých paliv. Tento způsob není v současnosti příliš využíván, lze se s ním setkat spíše v rekreačních a méně využívaných zařízeních. Vzhledem k ekologickým dopadům na životní prostředí je tento způsob nahrazován jinými způsoby ohřevu.

Nejrozšířenější způsoby ohřevu vody používané v současné době jsou dva:

3.1. Zásobníkové ohřivače vody ('bojlery')

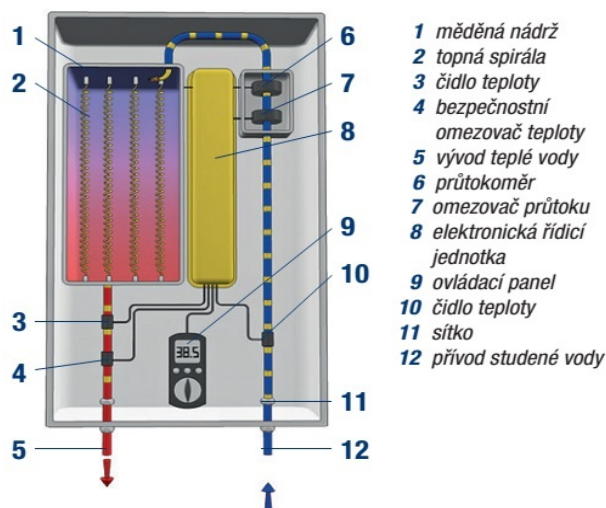


Obr 3.1. Řez zásobníkového ohřivače vody (upraveno) [2]

Zásobníkový ohřivač vody je zobrazen na obr. 3.1. Označení bojler se dnes využívá v mnoha významech. V současnosti tento pojem značí tlakový zásobníkový ohřivač s objemem 30 l a více. Zásobník vody bývá obvykle vyroben ze smaltované nerezové oceli a speciálního tepelně izolačního plastu. Optimální je ohřev na 55 – 60 °C, kdy jsou přiměřené energetické ztráty a také je nízká tvorba vodního kamene, která zkracuje životnost zařízení. Ohřev může být docílen elektrickou spirálou, výhodou je využití dvojtarifní sazby elektrické energie, přičemž bojler je využíván k ohřevu v době platnosti nízkého tarifu nebo může být napojen na topný okruh budovy.

3.2. Průtokové ohřivače vody

Průtokový ohřivač vody je znázorněn na obr. 3.2. *Princip funkce spočívá v ohřevu vody při jejím průtoku. Vhodné využití je při nárazovém odběru vody nebo v malých prostorech, kde není místo pro zásobníkový ohřivač vody.*[2]



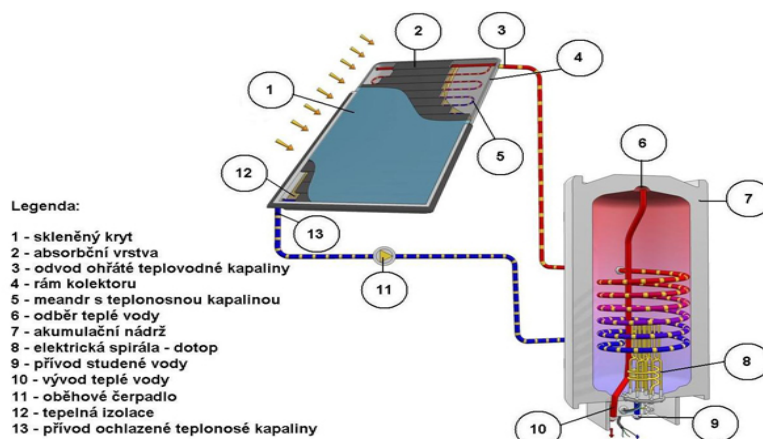
Obr. 3.2. Průtokový ohřivač vody [2]

3.3. Sluneční kolektory

Ke své funkci využívají energii získanou ze slunečního záření. Dle principu funkce se dělí na:

- fototermické kolektory
- fotovoltaické panely

Fototermické kolektory (obr. 3.3.) předávají teplo ze slunečního záření teplotnosné kapalině, která jej pomocí oběhového čerpadla přenáší do akumulární nádrže. V nádrži je obvykle umístěn tepelný výměník, kde se teplo z teplotnosné kapaliny předává do ohřívání vody, která je akumulována v zásobníku. Ochlazená teplotnosná kapalina proudí potrubím zpět do slunečního kolektoru. [2] Vzhledem k proměnlivosti počasí a nerovnoměrnosti distribuce solárního záření v průběhu roku bývá systém doplněn běžným způsobem ohřevu – elektrickou spirálou, napojením na topný okruh apod.

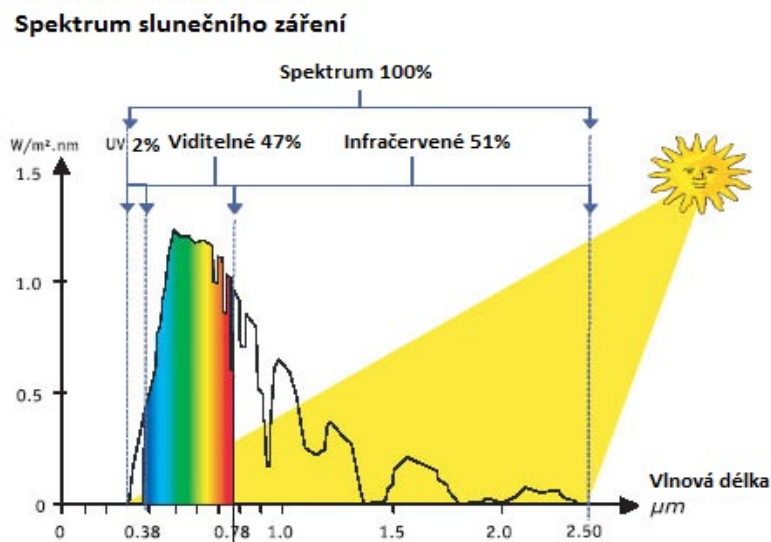


Obr. 3.3. Schéma fototermického kolektoru [34]

4. PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU

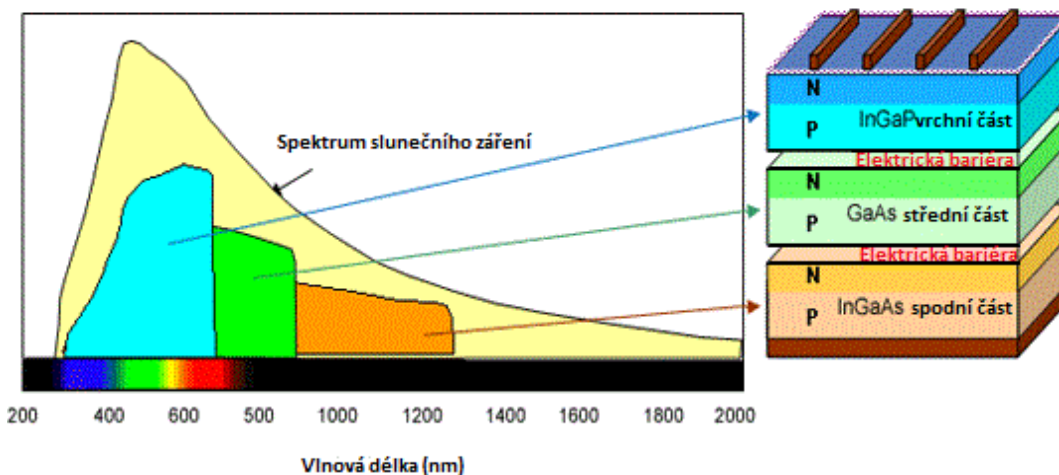
4.1. Sluneční záření

Sluneční záření má široký rozsah vlnových délek (obr. 4.1.). Určitá oblast vlnových délek je detekovatelná lidským okem a je označována jako světlo. Tato část spektra nese skoro polovinu veškeré energie slunečního záření. Oblast vlnových délek, které jsou kratší než je viditelná oblast, se nazývá ultrafialové záření. Oblast vlnových délek, které jsou delší než viditelné záření, je nazývána infračervené záření.



Obr. 4.1. Spektrum slunečního záření [33] (upraveno a přeloženo z anglického jazyka)

Různé druhy polovodičových materiálů jsou citlivé na různé části solárního spektra. Příklad rozložení spektrální citlivosti pro FV článek Sharp je znázorněn na obr. 4.2.



obr. 4.2. Rozsah využitého slunečního záření třívrstevnými fotovoltaickými panely Sharp [29] (upraveno a přeloženo z anglického jazyka)

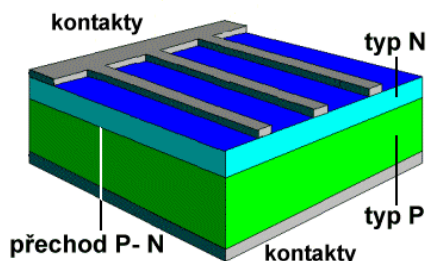
4.2. Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je využíván k výrobě elektrické energie. V posledních letech došlo k výraznému rozvoji trhu s FV panely především díky přesunu výroby do Asie, s čímž souvisí snížení pořizovací ceny a podstatný nárůst objemu výroby. Významný efekt mělo i poskytování dotací v EU na instalaci FV elektráren a výkup energie z nich. Princip ohřevu vody tímto způsobem bude rozebrán v následujících kapitolách.

Elementární částí panelu je fotovoltaický článek, který pracuje na principu

fotovoltaického jevu[12]:

Na PN přechod (obr. 3.4.) dopadá světlo, jehož nositelem jsou fotony (mají energii). Plátek krystalického křemíku s příměsí boru je typ P, ve spodní části je vodivá stříbrná mřížka. Difuze fosforu vytvoří asi 500 nm silnou vrstvičku – typ N. Na přechodu PN se vytvoří elektrická bariéra. Elektrony mohou přecházet pouze z typu P do typu N (PN přechod), nikoliv v opačném směru. Z typu P přechází elektrony do typu N, kde se hromadí. Pro překonání potenciálové bariéry na PN přechodu potřebují elektrony energii, kterou jim dodávají fotony. Účinnost zachycení fotonu na PN přechodu je označována a sledována, jedná se o účinnost článku a je pro různé materiály různá. Připojením spotřebiče je uzavřen elektrický obvod a elektrony proudí z vrstvy typu N přes spotřebič, kde předají svoji energii, která se následně změní např. na mechanickou práci či tepelnou energii zpět do typu P.



Obr. 3.4. Princip fotovoltaického článku

4.3. Technologie fotovoltaických panelů

V současné době jsou na trhu k dostání panely, při jejichž výrobě se používá jedna ze tří základních technologií. V této kapitole jsou uvedeny stručné popisy jednotlivých technologií.

Nejčastějším prvkem v technologii solárních systémů je křemík. Jednotlivé systémy se liší ve vazbách mezi atomy křemíku a v čistotě křemíku.

4.3.1. Monokrystalické

Panel je složen z monokrystalických článků, které jsou vyříznuty z ingotů monokrystalického křemíku a poté jsou zarovnané na rovnoměrnou tloušťku, vyleštěny a na povrchu odleptány. Ingot monokrystalického křemíku je vyroben pomalým tažením zárodku krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. [03]

Tyto panely (obr. 4.2.) jsou výrobně nejdražší.

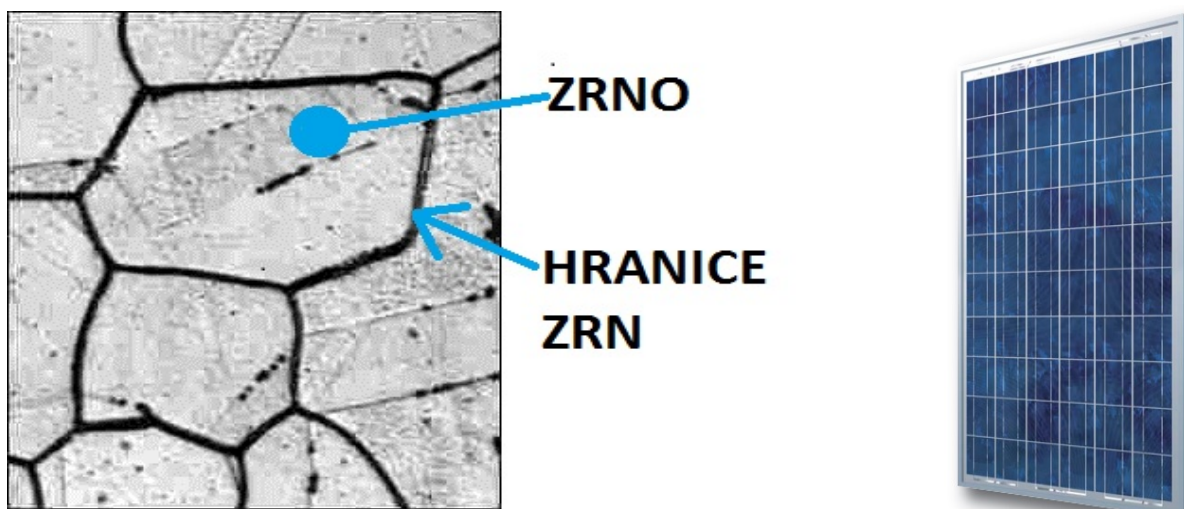


Obr. 4.2. Monokrystalický panel [08]

4.3.2. Polykrystalické

Články jsou vyrobeny z čistého křemíku, který je roztaven a odlit do forem, a ty jsou následně rozřezány na tenké plátky. [03] Atomy křemíku tvoří zrna (obr. 4.3.), uvnitř kterých jsou kovalentní vazby. Mezi jednotlivými zrny je tzv. 'hranice zrn', jedná se o místo, kde dochází mimo jiné k poklesu elektrické i tepelné vodivosti.

Specifické vlastnosti článku (obr. 4.4.) jsou čtvercový/obdélníkový profil a tmavě modrá barva.



Obr. 4.3. Struktura polykrystalu [41] (upraveno) Obr. 4.4. Polykrystalický fotovoltaický panel [39]

4.3.3. Tenkovrstvé

Známé také jako mikro/nanokrystaly. Vznikají pokládáním jednotlivých vrstev polovodičů na podkladový materiál.[7] Vychází z amorfni struktury, což je nejméně uspořádaná struktura v důsledku slabých vazebných sil mezi atomy. Výhodou je snadné tvarování a změna velikosti amorfniho materiálu a tím snadná výroba a úprava. V historii byl amorfni druh solárních článků jedním z prvních fotovoltaických panelů.

Amorfni křemík – a-Si: H (účinnost $\eta = 4,5 - 9,5\%$). Zvýšení účinnosti a-Si se docílí kombinací více vrstev a-Si, eventuálně mikrokrystalického (nanokrystalického Si), kde je každá vrstva dotována jiným prvkem tak, aby celkové využití energie světla slunečního spektra bylo maximální. Vyrábějí se až 3 polovodičové vrstvy na sobě.[7]



Obr. 4.6. Tenkovrstvý solární panel [44]

5. SLEDOVANÉ ELEKTRICKÉ VELIČINY

Proud nakrátko

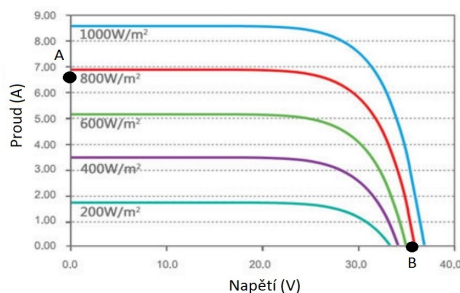
Elektrický proud procházející dokonale vodivým spojením dvou svorek elektrického obvodu. Způsobuje u elektrických strojů tepelné a mechanické namáhání.[26]

Výstup panelu je ve zkratu a panel dává maximální proud. Znázorněn je na obr. 5.1. jako bod A.

Napětí naprázdno

Napětí při nulovém odběru proudu[19]

Mezi výstupními svorkami panelu není připojena žádná zátěž, na panelu je maximální napětí pro danou intenzitu solární radiace. Znázorněn je na obr. 5.1. jako bod B.



Obr. 5.1. Znázornění proudu nakrátko a napětí naprázdno

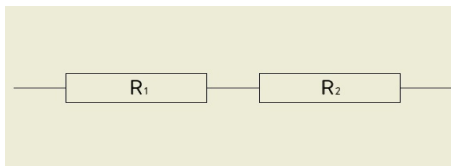
Sériový a paralelní odpor

Sériový odpor – odpory jsou zapojeny za sebou (viz. obr. 5.2.) a jejich výsledný odpor je součet dílčích odporů

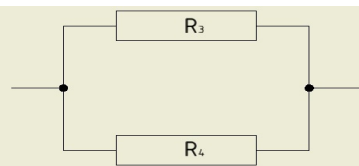
Paralelní odpor – odpory jsou zapojeny vedle sebe (viz. obr. 5.3.) a převrácená hodnota výsledného odporu je součet převrácených hodnot dílčích odporů.

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

$$\frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$



Obr. 5.2. Sériové zapojení



Obr. 5.3. Paralelní zapojení

Činitel plnění -FF

Slouží ke zjišťování účinnosti, podíl ploch A2/A1 (viz. Obr. 5.4.) [36]

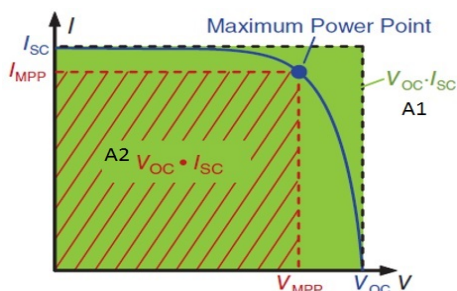
$$FF = A2/A1$$

V_{oc} – napětí naprázdno

I_{sc} – zkratový proud

I_{MPP} – proud při maximálním výkonu

U_{MPP} – napětí při maximálním výkonu



Obr. 5.4. Určení činitele plnění (upraveno) [07]

6. POROVNÁNÍ FOTOTERMICKÉHO FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU A

Základní rozdíl mezi fototermickým a fotovoltaickým způsobem je v tom, že z fototermického kolektoru vystupuje ohřáté teplotné médium, zatímco z fotovoltaického panelu je získávána elektrická energie.

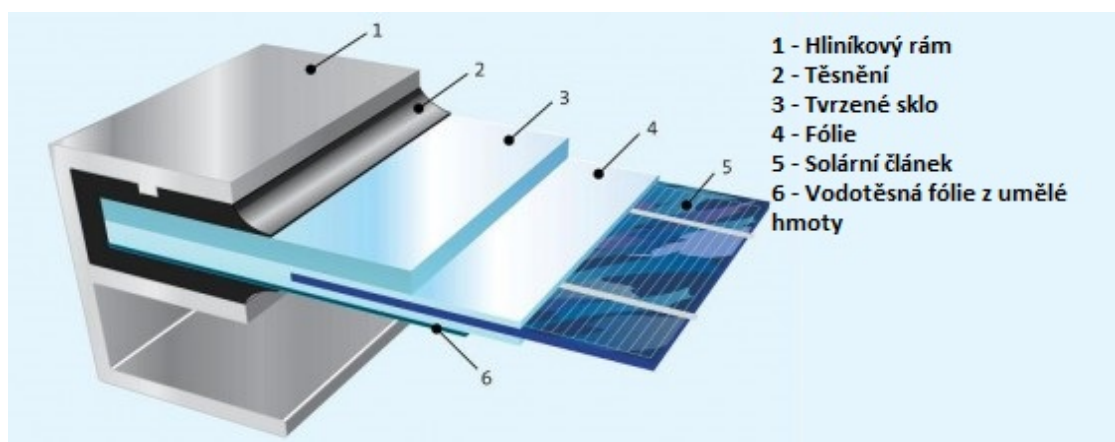
Na následujících obrázcích jsou řezy fototermickým a fotovoltaickým panelem.

Na obr. 6.1. je znázorněn řez fototermickým kolektorem. Tepelná izolace je umístěna v lisované skříně. Na tepelnou izolaci je položen lamelový absorbér se selektivním povrchem. Kolektor je zasklen bezpečnostním sklem. [31]



Obr. 6.1. Řez fototermickým kolektorem [05]

Fotovoltaický panel (obr. 6.2.) - Solární články (5) jsou zataveny ve speciální průhledné fólii EVA (4), zakryté pod vysoce průhledným a tvrzeným sklem (3). Celé souvrství je opatřeno montážním rámem z hliníku (1). Životnost takového panelu kvalitně vyrobeného dosahuje 30 let a více. [35] Bližší popis principu solárního článku (5) je obsažen v kap. 3.4.



Obr. 6.2. Řez fotovoltaickým panelem [35] (upraveno, doplněno o legendu)

6.1. Výhody a nevýhody

Jelikož se práce zabývá porovnáním dvou solárních systémů, jsou v následujícím výčtu uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých systémů.

Fotovoltaický systém

Výhody:

- ✓ *Jednodušší instalace a rozvod energie [24]*
- ✓ *Nízké ztráty při rozvodu ke spotřebiči [24]*
- ✓ *Přibližně stejná účinnost v letním i zimním období*
- ✓ *Nízké provozní náklady*
- ✓ *Vysoká spolehlivost*

Nevýhody:

- ✗ *Potřeba větší plochy [24]*
- ✗ *Nebezpečí úrazu elektrickým proudem*

Fototermický systém

Výhody:

- ✓ *Vysoká účinnost v letním období*

Nevýhody:

- ✗ *Nutnost použití čerpadla*
- ✗ *Závislost na rozdílu teplot a ztrátách do okolí*
- ✗ *Okruh s teplonosnou látkou*
- ✗ *Expanzní nádoba*
- ✗ *Pojistné prvky*
- ✗ *Izolace okruhu*
- ✗ *Sofistikované řídicí prvky/regulátor*

Pro tuto práci jsou významné výhody fotovoltaického systému, kdy je rovnoměrná účinnost v průběhu roku a vysoká spolehlivost. Vzhledem k využití prvků ze dvou druhů solárních systémů pro ohřev vody dochází k eliminaci nevýhod fototermického systému, není zde použito čerpadlo, minimalizuje se závislost na rozdílu teplot a ztrátách do okolí, systém neobsahuje okruh s teplonosnou látkou ani expanzní nádobou.

6.2. Technické parametry

Plošná hmotnost [27]

Plošná hmotnost vyjadřuje hmotnost panelu (příp. kolektoru) na jednotku plochy. Udává se v $[\text{kg}/\text{m}^2]$.

U fotovoltaických panelů je výsledná plošná hmotnost závislá především na použité technologii zapouzdření článků. U použité technologie sklo – plast, ve které jsou panely kryty ze zadní strany plastovými fóliemi, je plošná hmotnost kolem $10 \text{ kg}/\text{m}^2$. U technologie sklo – sklo, když jsou panely kryty oboustranně sklem, pohybuje se plošná hmotnost kolem $20 \text{ kg}/\text{m}^2$. Plošná hmotnost je také přímo závislá na tloušťce použitého skla.

Plošná hmotnost fototermických kolektorů včetně teplonosné kapaliny se pohybuje od $20 \text{ kg}/\text{m}^2$ výše.

Účinnost

Poměr energie, kterou lze získat z panelu a energie, která dopadá na panel v podobě slunečního záření.

Tomuto parametru je věnována kapitola 6.3.

Roční výnos energie [27]

Energetický výnos z dané plochy panelů za jeden rok, který je využíván při výpočtech solárních systémů, je ovlivněn množstvím dopadajícího slunečního záření a průměrné roční účinnosti (poměr získané užitečné energie a energie, která dopadá na panel ve formě slunečního záření)

U optimálně skloněných solárních panelů v ČR dopadá na 1 m^2 950 – 1150 kWh

energie ve formě slunečního záření ročně. Obvykle se počítá s hodnotou 1000 kWh/m². Z tohoto množství slunečního záření fotovoltaické panely získají 50 – 200 kWh/m² elektrické energie za rok. Zisk 200 kWh/m², který odpovídá účinnosti 20 %, je hraniční, v současnosti spíše teoretickou hodnotou.

Cena [27]

U fotovoltaických panelů se pohybuje po přepočtu přibližně 500 – 5000 Kč/m². V případě nahrazení střešní krytiny fotovoltaickými panely lze snížit cenu až na 300 Kč/m².

Pokud jsou fotovoltaické panely využity jako obkladový materiál, je účinnost o 30% menší oproti optimálnímu sklonu. Vzhledem ke skutečnosti, že plošná cena panelů vychází stejně jako plošná cena obkladového materiálu, lze vyrobenou elektřinu považovat za bonusovou.

U fototermických kolektorů se pohybuje cena mezi 4500 – 6000 Kč/m².

Cena fotovoltaických panelů v posledních letech výrazně klesla na rozdíl od fototermických kolektorů, u kterých cena stagnuje. Pokles ceny, výrazný nárůst výrobních kapacit panelů a také přesun výroby do asijských zemí s levnější výrobou zapříčinil rozšíření fotovoltaických panelů.

Uvedené ceny jsou pořizovací ceny samotných panelů a kolektorů, dále je nutné brát v úvahu instalační náklady, servisní a kontrolní výdaje, apod.

Cenu ovlivňují nemalou měrou také dotace, díky kterým je provoz solárních systémů výhodnější, na druhou stranu však dotace místy zkreslují reálnou cenu a vysílají nesprávné signály o poptávce na trh. Navíc dotace jsou většinou nenárokového charakteru a jejich výše se může snadno měnit změnou zákona – např. uvalení solární daně na FV panely v ČR.

Životnost [27]

Fyzická životnost je u fotovoltaických panelů udávána 30 – 40 let. Výrobci garantují pokles účinnosti po 25 letech provozu o 20 %. U nejstarších fotovoltaických elektráren, které převážně mají instalovány monokrystalické křemíkové články, byl zaznamenán pokles účinnosti po 30 letech provozu méně než 10 %.

U fotovoltaických panelů lze očekávat degradaci funkční vrstvy i laminační fólie. Ultrafialové sluneční světlo vede k vyblednutí článku. V případě mechanického poškození laminační fólie dochází k rozložení fólie a do modulu pronikne vzduch a vlhkost, což způsobí korozi. Dále může docházet k delaminaci, kdy se články uvolní od zapouzdření.[03]

Výrobci udávaná životnost termických kolektorů je 30 let. U těchto systémů výrobci neudávají garanci poklesu účinnosti.

Komponenty, které je potřebné měnit u termických soustav, bývají nejčastěji akumulární nádrž nebo čerpadlo.

6.3. Účinnosti

Účinnost je závislá na klimatických podmínkách, závisí především na teplotě okolí [°C] a na intenzitě dopadajícího slunečního záření.

6.3.1. Standardní testovací podmínky

Na obr. 6.3. jsou znázorněny účinnosti fototermických systémů a fotovoltaického systému při standardních testovacích podmínkách. Standardní testovací podmínky jsou:

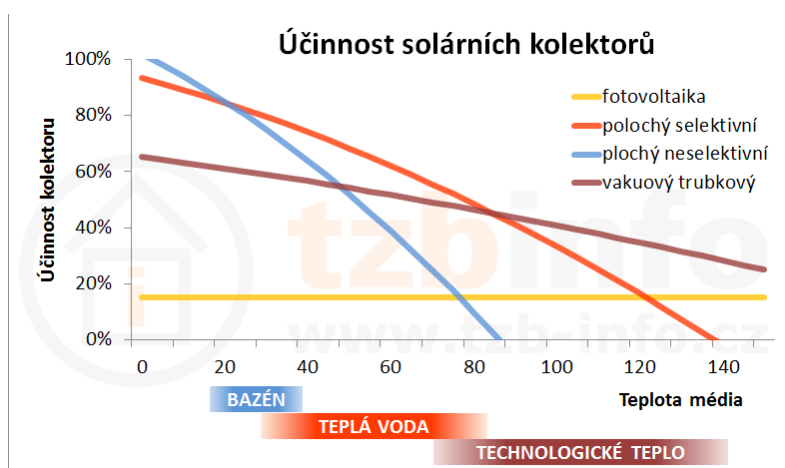
teplota okolí = 25°C

intenzita záření = 1000 W/m²

světelné spektrum odpovídá slunečnímu záření po průchodu bezoblačnou atmosférou Země (Air Mass 1,5) [27]

Na tyto podmínky byla vztažena jednotka *W_p* [06] (Watt peak – nominální výkon)

- Jednotka špičkového výkonu dodávaného solárním systémem za ideálních podmínek (k těmto podmínkám se blíží jasný sluneční letní den, viz. níže)
- Pomocí této jednotky se provádí výpočty fotovoltaických panelů.



Obr. 6.3. Porovnání účinností při standardních testovacích podmínkách [27]

Jak vyplývá z grafu, účinnost termických kolektorů je při standardních testovacích podmínkách přibližně 3x vyšší oproti fotovoltaickým panelům. Ve skutečném provozu je ale těchto podmínek dosaženo málokdy.

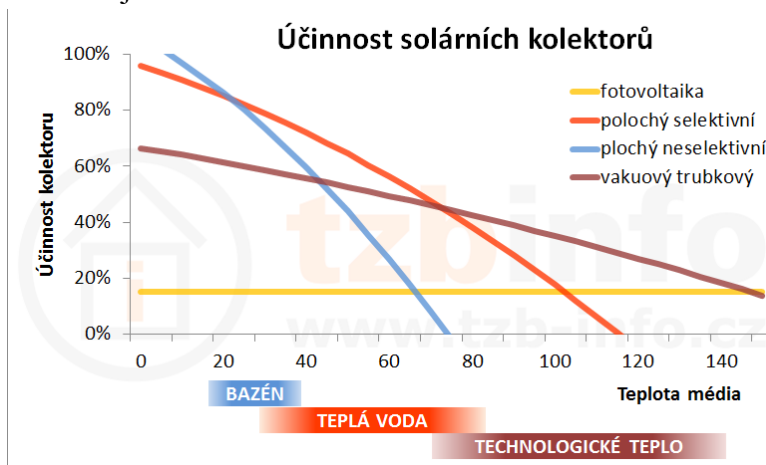
6.3.2. Letní jasná obloha

Podmínky pro reálné použití solárních systémů jsou následující:

teplota okolí = 25 °C

intenzita záření = 800 W/m² ... intenzita odpovídající slunečnímu záření v poledne, kdy dopadá na kolektor téměř kolmo; teplota fotovoltaického panelu je přibližně 45 °C [27]

Účinnosti znázorňuje obr. 6.4.

Obr. 6.4. Porovnání účinností při intenzitě záření 800 W/m² [27]

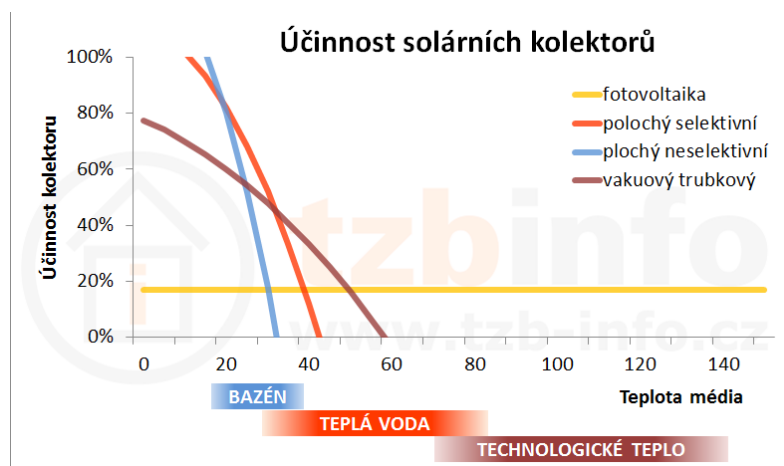
Při optimálním skutečném využití je účinnost termických kolektorů přibližně 2,5x vyšší než účinnost fotovoltaického systému. Těchto podmínek bývá dosaženo při jasném počasí a kolmém dopadu paprsků na panel, tedy v určitém časovém rozmezí.

6.3.3. Letní zatažená obloha

Obr. 6.5. znázorňuje porovnání účinností termického a fotovoltaického systému v létě při zatažené obloze. Této situaci odpovídají parametry:

Teplota okolí = 20 °C

Intenzita záření = 200 W/m²



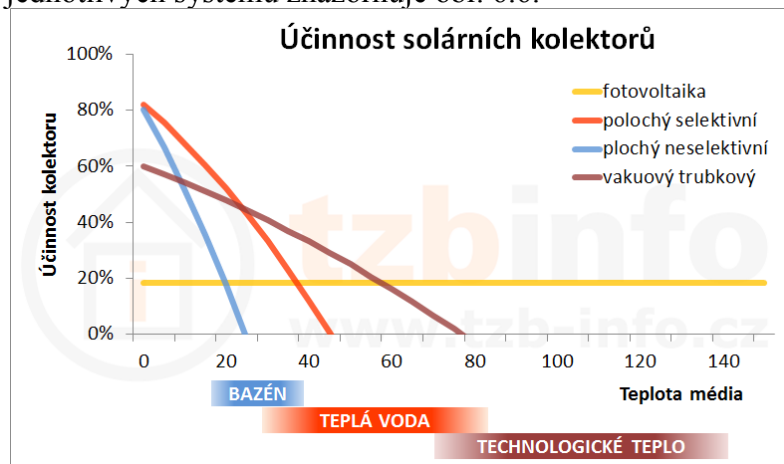
Obr. 6.5. Účinnosti systémů při letní zatažené obloze [27]

I přes fakt, že teplota okolí je 20 °C, ale obloha je zatažená, termické kolektory nejsou schopny ohřát vodu na 60 °C. Při tomto počasí lze termické systémy použít pro ohřev vody v bazénu. Pro ostatní účely lze termický systém využít pouze jako příhřev.

6.3.4. Zimní jasná obloha

Teplota okolí v zimním období bývá kolem 0 °C. Sluneční záření dopadá na panel i kolektory pod menším úhlem, než 90°. Intenzita záření je zhruba 400 W/m².

Účinnosti jednotlivých systémů znázorňuje obr. 6.6.

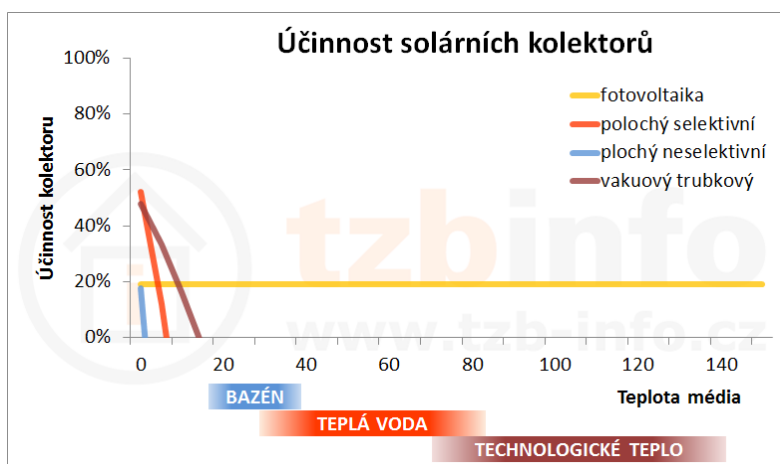


Obr. 6.6. Účinnosti systémů při zimní jasné obloze [27]

Pro ohřev vody na 60°C pomocí termických kolektorů je rozhodující, jaký druh termických kolektorů je použit. Jediný vakuový trubkový termický systém je schopný ohřevu vody na 60 °C, účinnost je při tomto ohřevu stejná jako u fotovoltaického systému.

6.3.5. Běžné zimní podmínky

Pro zimní období bývají typické teploty pod bodem mrazu. Intenzita záření nabývá poměrně nízkých hodnot. Obr. 6.5. znázorňuje účinnosti systémů při teplotě -5 °C a intenzitě záření 100 W/m².



Obr. 6.7. Účinnosti solárních systémů v zimním období [27]

Při typických zimních podmínkách termické solární systémy téměř nefungují. Tato skutečnost se dá vysvětlit druhým termodynamickým zákonem, který říká, že nelze ohřívát teplejší látku tím, že by se chladnější látko dále ochlazovalo.

6.4. Finanční hlediska [37]

Výpočet energetického zisku z termických kolektorů (tab. 6.1.):

Kolektory 5m², zásobník 300 l, cena včetně montáže a DPH 15 %

Využití	Nižší měrné	Nižší skutečné	Vyšší měrné	Vyšší skutečné
Náklady na solární systém	20000 Kč/m ²	100000 Kč	20000 Kč/m ²	100000 Kč
Roční energetický zisk	250 kWh/m ²	1250 kWh	350 kWh/m ²	1750 kWh
Energie získaná za 20 let	5000 kWh/m ²	25000 kWh	7000 kWh/m ²	35000 kWh
Cena energie ze solárního systému	<u>4</u> Kč/kWh	<u>4</u> Kč/kWh	<u>2,86</u> Kč/kWh	<u>2,86</u> Kč/kWh

Tab. 6.1. Výpočet energetického zisku z termických kolektorů

Vypočtená cena je dražší než ohřev vody z běžné elektrické sítě. Ve vypočtené ceně nejsou zahrnuty provozní náklady, mezi které patří výměna teplotnosné kapaliny, kontrola, servis, elektřina pro provoz, takže skutečné náklady jsou ještě vyšší. Je patrné, že bez dotací tento způsob ohřevu ekonomicky výhodný není.

Výpočet energetického zisku z fotovoltaického systému (tab. 6.2.):

Panely 2 kWp, zásobník 300 l, bez střídače (fotovoltaický systém slouží pouze k ohřevu vody, proto střídač není potřebný), cena včetně montáže a DPH 15%

	Měrné	Skutečné
Náklady na solární systém	50 000 Kč/kWp	100 000 Kč
Roční energetický zisk	900 kWh/kWp	1 800 kWh
Energie získaná za 20 let	18 000 kWh/kWp	36 000 kWh
Cena energie ze solárního systému	<u>2,78</u> Kč/kWh	<u>2,78</u> Kč/kWh

Tab. 6.2. Výpočet energetického zisku při ohřevu vody pomocí fotovoltaického systému

Při tomto způsobu také odpadají náklady na provoz čerpadla (není součástí systému).

6.5. Shrnutí

Shrnutí je v tab. 6.3.

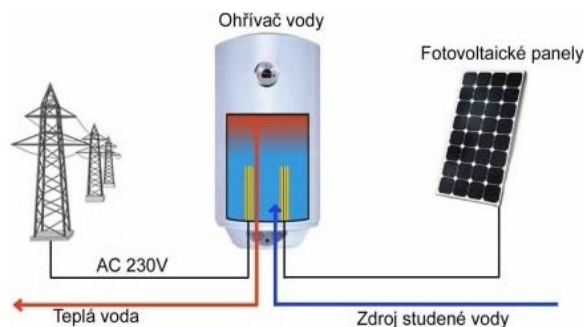
Porovnání technických parametrů fotovoltaických panelů a fototermických kolektorů				
	Jednotka	Fotovoltaické panely		Solární kolektory ploché selektivní
		Tenkovrstvé	Krystalické	
Plošná hmotnost	kg/m ²	10 až 20	10 až 20	20 a více
Jmenovitý výkon	Wp/m ²	50 až 120	120 až 200	400 až 600
Roční výnos energie		1 kWh/Wp	1 kWh/Wp	250 až 500 kWh/m ²
Cena panelu/kolektoru	Kč/m ²	500 až 1800	1800 až 4000	4500 až 6000
Cena 2 kW systému	tis. Kč	50 až 80	60 až 100	60 až 100
Životnost	roky	30	40	30
Účinnost v zimě		vyšší	vyšší	nízká
Účinnost při zatažené obloze		stálá	stálá	snížená

Tab. 6.3. Porovnání fototermického a fotovoltaického systému [27]

7. PRINCIP OHŘEVU VODY POMOCÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

7.1. Soustava

Základní části soustavy pro ohřev vody pomocí fotovoltaických panelů jsou znázorněny na obr. 7.1.



Obr. 7.1. Soustava pro ohřev vody pomocí fotovoltaických panelů [13]

Do *ohřivače vody* vstupuje studená voda. Na výstupu je voda teplá. K ohřevu dochází pomocí *topných spirál*, které využívají elektrickou energii. Když je dostatečné napětí na *fotovoltaických panelech*, je využívána tato elektrická energie. Pokud energie získaná fotovoltaickými panely není dostatečná, využívá se elektrické energie z *elektrické rozvodné sítě* (např. ČEZ, E-ON apod.). Tento systém vyžaduje dále kabeláž pro propojení fotovoltaických panelů a ohřivače vody, vstupní rozvaděč s odjištěním a přepětovými ochranami.

Topné spirály v ohřivači vody obsahují tepelnou ochranu a speciálně upravený termostat pro spínání stejnosměrného proudu.

7.2. Elektrické vlastnosti

Impedance [14]

- Fyzikální vyjádření vlastností obvodu střídavého proudu (alternativou je elektrický odpor u obvodu stejnosměrného proudu)
- Komplexní číslo, které popisuje zdánlivý odpor součástky a fázový posuv napětí proti proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence

Napětí naprázdno [36]

- Napětí při nulovém odběru proudu
- Na článku kolem 0,6 V, na panelu desítky voltů

Stav nakrátko (“zkrat”) [30]

- Stav obvodu, kdy elektrický proud neprochází přes žádný elektrický spotřebič
- Jediný odpor tvoří vodiče
- Dosažen maximální možný (zkratový) proud

Voltampérová charakteristika

Průběh – závislost velikosti proudu I [A] na velikosti napětí U [V]

Ovlivňující okolnosti:

- teplota měření
- přesnost měření
- aproximace naměřených dat

Cíle – vyhodnocení parametrů obvodu v závislosti napětí na proudu

Odporová zátěž

Spotřebič, který klade odpor průchodu elektrického proudu.

Odpor: R [Ω]

$$\text{Ohmův zákon: } R = \frac{U}{I}$$

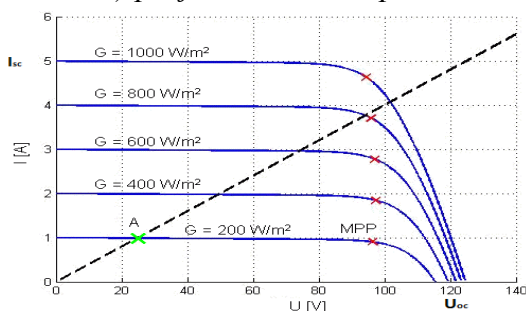
$$\text{Odpor vodiče: } R = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad \rho - \text{rezistivita } [\Omega\text{m}]$$

l – délka vodiče [m]

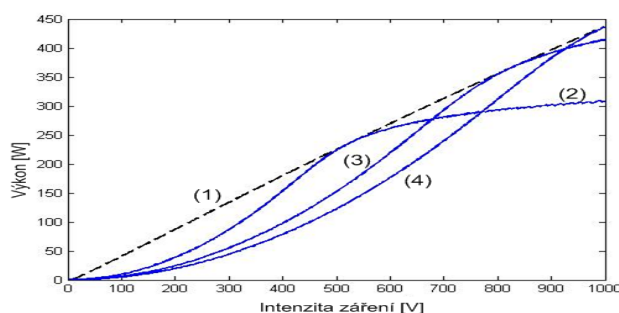
S – průřez vodiče [m²]

7.3. Impedanční přizpůsobení FV panelů a odporové zátěže pro ohřev vody

Přímé propojení mezi FV panely a odporovou zátěží vytváří jednoduchý systém, nicméně při použití se potýkáme s problémem impedančního přizpůsobení generátoru (FV panelů) a spotřebiče (odporové zátěže). Provozní podmínky FV panelů se neustále mění a bez využití regulátoru, který zajistí maximální předání energie z panelů do zátěže, systém dosahuje výrazně nižší účinnosti. Největší vliv na provozní parametry FV panelů má aktuální intenzita záření G , dále pak teplota samotných článků. Obr. 7.1. ukazuje příklad voltampérové (V - A) charakteristiky FV generátoru a konstantní odporové zátěže ($R = 25 \Omega$). Uvedený systém je navržen pro optimální provoz při intenzitě záření cca 800 W/m^2 , kdy bod maximálního výkonu FV generátoru (MPP) protíná zátěžovou přímkou spotřebiče. Při jiných intenzitách záření dochází k výrazným ztrátám účinnosti vlivem nevhodných pracovních podmínek (nepřizpůsobení MPP). Např. při intenzitě záření 200 W/m^2 by tento systém využil pouze cca 25 W (pracovní bod A, $U = 25 \text{ V}$, $I = 1 \text{ A}$), místo možných $85,5 \text{ W}$ (MPP, $U = 95 \text{ V}$, $I = 0,9 \text{ A}$) při jiné hodnotě odporu zátěže. [24]



Obr. 7.1. V-A charakteristiky FV generátoru s vyznačením MPP a zátěžová charakteristika spotřebiče (přímka) (upraveno) [24]



Obr. 7.2. (1) Výkon FV panelů v bodě MPP v závislosti na intenzitě záření. Využitelný výkon při odporové zátěži: (2) $R = 40 \Omega$, (3) $R = 25 \Omega$, (4) $R = 20 \Omega$ [24]

I_{sc} – maximální možný proud při daném záření (při stavu nakrátko)

U_{oc} – napětí naprázdno

G – intenzita záření

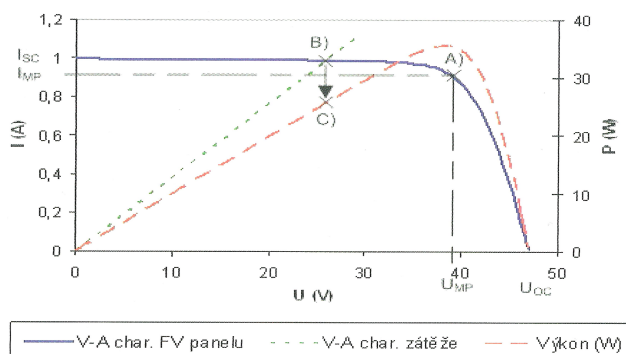
MPP – maximal power point

Pro impedanční přizpůsobení je sledován tzv. bod MPP (Maximal Power Point), bod maximálního výkonu. V tomto bodě je největší součin napětí a proudu, což znamená největší výkon soustavy.

Obr. 7.2. zobrazuje maximální výkon panelů (MPP), kdy pro každou hodnotu odporu zátěže existuje určitá intenzita záření při zanedbání teploty.

8. POPIS JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ [02]

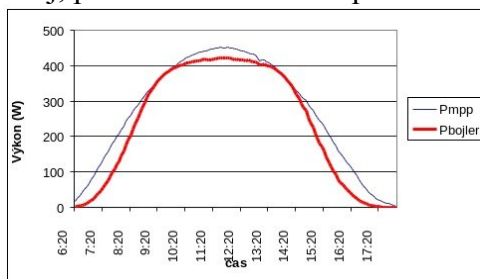
Pro zajištění co nejvyšší efektivity systému je sledován bod MPP (maximal power point), tedy bod maximálního výkonu (obr. 8.1.)



Obr. 8.1. V-A charakteristika FV panelu a impedační přizpůsobení odporové zátěži

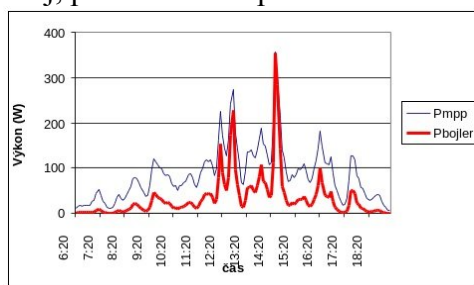
Jako ukázka pro porovnání vlivu sledovače bodu MPP nám bude sloužit měření získané simulací, které bylo zveřejněno v časopisu Energetika, č. 12/2012. Pro měření byl využit systém s odporovou zátěží, napájenou FV generátorem o výkonu 1 kWp. Experiment byl proveden při různých teplotních podmínkách.

Na obr. 8.2. je znázorněn rozdíl závislostí výkonu na denní době mezi systémem se sledovačem bodu MPP a bez něj, při slunečném letním počasí.



Obr. 8.2. Průběh výkonu se sledovačem bodu MPP (P_{mpp}) a bez sledovače (P_{bojler}) během slunečného dne

Na obr. 8.3. je znázorněn rozdíl závislostí výkonu na denní době mezi systémem se sledovačem bodu MPP a bez něj, při zataženém počasí.



Obr. 8.3. Průběh výkonu se sledovačem bodu MPP (P_{mpp}) a bez sledovače (P_{bojler}) během zataženého počasí

Rozdíl mezi systémem se sledovačem bodu MPP a bez něj je výrazně znatelný při nižších intenzitách záření.

Systém bez sledovače bodu MPP má nejvyšší energetickou celoroční výtěžnost, pokud je výkon generátoru a odpor zátěže navržen tak, aby systém pracoval ideálně při 400 – 800 W/m². Při těchto parametrech je dosaženo 77 % energie v porovnání se systémem, který má sledovač bodu MPP (a je trvale v činnosti).

8.1. MPPT

- maximal power point tracking = sledování bodu maximálního výkonu
Tento způsob je nejúčinnější, protože se zátěž neustále přizpůsobuje výkonu panelu a panel pracuje v optimálních podmínkách.



Obr. 8.4. Regulátor Sunnywatt Control Box [13]

Pro sledování bodu MPP se používá regulátor. Pro popis funkce regulátoru byl vybrán regulátor od firmy Sunnywatt CZ, s.r.o. [13]. Regulátor (obr. 8.4.) se jmenuje Sunnywatt Control Box a je schopen pracovat ve vstupním rozsahu napětí 120 – 300 V a proudu max. 12 A. Měnič je typu DC/DC, tedy na vstupu i výstupu měniče je stejnosměrný proud. Měnič je ve snižujícím zapojení, a proto je systém navržen tak, aby vstupní napětí z FV panelů bylo vždy dostatečně vysoké pro provoz s určitou odporovou zátěží. Podmínka dostatečného napětí bývá dosažena sériovým řazením panelů, nízkou hodnotou odporové zátěže, apod. Vyšším napětím se zjednoduší i kabelové rozvody a zvýší se účinnost přenosu energie. Bezobslužný regulátor je napájen pouze FV panely, a proto není potřeba externí zdroj pro napájení řídicí jednotky. LED dioda indikuje provozní stav a orientační aktuální výkon. Pokud je ale požadavek na přesné sledování provozu, je nutné využít stejnosměrný elektroměr.

8.2. Přepínání zátěže [13]

Jedná se o způsob, při kterém je snaha zajistit provoz systému v bodě MPP pomocí regulace na straně topného odporu. Mění se hodnota vnitřního odporu zátěže. Tento způsob je diskrétní, což znamená, že nelze měnit plynule, ale pouze mezi dílčími hodnotami. Z tohoto důvodu nelze dosáhnout přesně bodu MPP, ale pouze se k němu blížit.

Pro odpor platí ohmův zákon $R = U/I$ a rovnice $P = U \cdot I$

Úpravami dostaneme:

$$V_{MPP} I_{MPP} = V_{OUT}^2 / R \cdot \eta_E$$

V_{MPP} .. napětí FV panelů v bodě MPP V_{OUT} .. výstupní efektivní napětí regulátoru

I_{MPP} .. proud FV panelů v bodě MPP R .. odpor zátěže

η_E .. elektrická účinnost regulátoru

Výstupní napětí regulátoru je:

$$V_{OUT} = (V_{MPP} I_{MPP} R \eta_E)^{1/2}$$

Účinnost fotovoltaického systému η je dána účinnostmi jednotlivých dílů:

$$\eta = \eta_{FV} \eta_{KAB} \eta_E \eta_{MPP} \eta_{TOP}$$

účinnost:

η ... celková η_{KAB} ... kabelových výkonových rozvodů η_E ... regulátoru (elektrická konverzní)
 η_{FV} ... FV panelů η_{MPP} ... přesností určení bodu MPP η_{TOP} ... topného tělesa

8.3. Přepínání řazení panelů

Panely jsou řazeny buď sériově nebo paralelně. Při sériovém řazení je dosaženo vyššího napětí, při paralelním zapojení je získán větší proud. Těto vlastnosti se využívá při hledání bodu MPP. Vzhledem ke skutečnosti, že výkon P je součin napětí U a proudu I , lze přepínáním řazení panelů ovlivňovat výslednou velikost napětí v závislosti na velikosti proudu a tím dosáhnout bodu MPP.

Princip je obdobný, jako v kap. 8.2., s rozdílem, že odpor zátěže je konstantní, ale mění se napětí a proud na výstupu z fotovoltaického systému.

Pro přepínání zátěže či řazení panelů není vhodné využívat mechanické stykače z důvodu značné frekvence přepínání. Vhodné není ani zapojení pomocí řady polovodičových přepínačů z hlediska jejich ceny a sériového řazení. [13] Nevýhodou je také přepínání na střeše u panelů. Byla by možnost vést vodiče každého panelu dovnitř budovy, kde by bylo provedeno přepínání, tato možnost je však dražší a náročnější na instalaci.

8.4. PWM regulace

PWM = pulse-width modulation ('řízení šířky pulzu')

Jedná se o spojitý způsob regulace napětí zátěže. Napětí je udržováno mezi dvěmi hodnotami. Elektrický proud klesá k nulové hodnotě důsledkem otevření sériového spínače nebo uzavření vypínacího spínače v okamžiku, kdy bylo dosaženo horní hranice napětí. Současně dochází k poklesu napětí. Když napětí klesne na nižší hodnotu, dochází k zavření sériového spínače nebo k otevření vypínacího spínače a napětí narůstá. Tento cyklus se opakuje několikrát za vteřinu. Spínací frekvence ovládacího elementu je pevná a je určena časovým generátorem. Běžná frekvence bývá kolem 100 Hz.[01]

Výhodou PWM regulace je, že frekvence spínání je známá a je konstantní.

Využívá se PWM regulátor, což je dvoustupňový ovladač. Pro popis funkce regulátoru byl zvolen regulátor ARN5580X2 [28] (obr. 8.5.), který je k dostání na internetovém obchodu www.bel-shop.eu



Obr. 8.5. PWM regulátor ARN5580X2

Regulátor pracuje při napětí 8 – 55 V při proudu max. 2x80 A nebo 1x160 A. Výstupní napětí je řízeno potenciometrem od 0 % do 100 %. Frekvence je nastavitelná od 3,5 do 12 kHz.

9. POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMŮ Z HLEDISKA VHODNOSTI POUŽITÍ ZA DANÝCH PODMÍNEK

9.1. Součásti systému pro vzorový výpočet porovnání ohřevu vody FV panely

Vzorový systém byl sestavený z komponent, které jsou běžně k dostání na trhu a zvolených tak, aby spolu mohly reálně fungovat.

9.1.1. Fotovoltaický ohřívač vody 'LX ACDC/M+K 125 B' [10]

Jedná se o kombinovaný ohřívač vody, který pro svůj účel používá buď střídavé (AC) napětí, ke kterému je připojen k rozvodné síti, nebo stejnosměrné (DC) napětí, které je získáno z fotovoltaických panelů. Každé napětí má svůj termostat, což umožňuje např. nastavit teplotu pro sepnutí ohřevu vody DC napětím na 55 °C a sepnutí ohřevu vody AC napětím na 40 °C a tím docílit stále ohřáté vody při nejvýhodnějších podmínkách ohřevu. Parametry ohřívače jsou uvedeny v tab. 9.1.

Tepelné ztráty	Objem	Příkon AC spirály	Teplostěnná plocha výměníku	Tepelný výkon výměníku při 80°C a 720 l/h
[kWh/24h]	[l]	[kW]	[m ²]	[kW]
1,09	120	2	1	24

Tab. 9.1. Parametry ohřívače dané prodejcem

Při ohřevu vody jsou prodejcem dány počty fotovoltaických panelů [23]:

4 ks panelů s výkonem 250 W/1 panel - 1,0 kW/120V (A)

6 ks panelů s výkonem 250 W/1 panel - 1,5 kW/180V (B)

8 ks panelů s výkonem 250 W/1 panel - 2,0 kW/240V (C)

Pro následující výpočet zvolena varianta B → 6 ks panelů s výkonem 250 W

Pro lepší představu zapojení je uveden skutečný pohled na obr. 9.1. [23]



Obr. 9.1. Zapojení ohřívače vody podle výkonu fotovoltaických panelů

9.1.2. Solární panel STP6-245/60 Series

Jedná se o polykrystalický fotovoltaický modul s výkonem 245 Wp. Parametry dané výrobcem jsou uvedeny v tab. 9.2. Pro tento typ panelu je dostupná voltampérová charakteristika MPP (obr. 9.3.)

Účinnost článku	Účinnost modulu	P _{max} Max.výkon	V _{mp} Napětí při max.výkonu	I _{mp} Proud při max.výkonu	V _{oc} Napětí naprázdno	I _{sc} Proud nakrátko
%	%	W	V	A	V	A
17,45	15	245	29,9	8,21	37	8,78

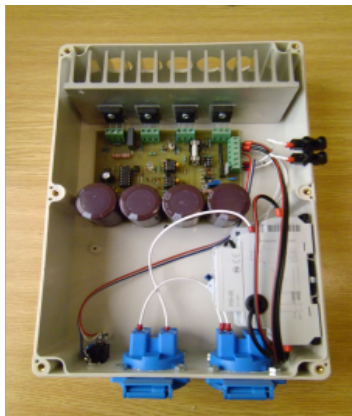
Počet panelů	Plocha panelu	a rozměr článku	b rozměr článku	počet článků
ks	m ²	mm	mm	ks
6	1,460	156	156	60

Tab. 9.2. Parametry fotovoltaického panelu dané výrobcem [40]

9.1.3. MPPT Tracker + měnič 2 kW (obr. 9.2.)

Tento regulátor konvertuje stejnosměrný proud, získaný z fotovoltaických panelů, na střídavý proud (modifikovaný sinus, cca 50 Hz). Díky konverzi lze k regulátoru připojit 6 až 11 ks fotovoltaických panelů o jmenovitém výkonu 200 – 250 Wp i k neupraveným bojlerům, které mají spirálu o výkonu 2,5 – 3 kW, aniž by hrozilo riziko opálení kontaktů.

Daný sledovač bodu maximálního výkonu je k dostání na shop.mypower.cz za 7990 Kč s DPH.



Obr. 9.2. MPPT Tracker + měnič 2 kW [18]

Výrobce a prodejce uvádí:

Pokud by nebyl konvertován stejnosměrný proud na střídavý, v situaci, kdy by byla voda ohřátá a termostat odpojil FV panely od spirály v ohřivači vody, hrozil by vznik elektrického oblouku ze stejnosměrného proudu a tím by mohlo nastat opalování kontaktů stykače, což by vedlo ke snížení jejich životnosti.

Výstup měniče není stabilizovaný. Pohybuje se v rozpětí 150 – 300 V střídavého napětí, v závislosti na napětí FV panelů. Další výhodou trackeru je, že na něj lze připojit i další elektrická zařízení, která nejsou závislá na přesné hodnotě napětí. Takovým zařízením je například žárovka, vrtačka, transformátorová nabíječka baterií atd. Pro provoz zařízení MPPT není nutný žádný další zdroj elektrického proudu, zařízení pracuje na elektrický proud získaný z FV panelů. [18]

Prodejce shop.mypower.cz udává následující specifikace:

Maximální rozsah napětí z FV: 60 - 400V DC

Optimální rozsah napětí z FV (V_{mpp}): 180 - 270V DC

Optimální rozsah napětí z FV (V_{oc}): 220 - 360V DC

Nastavení vstupního rozsahu: 3x DIP přepínače

Řízení MPP: automaticky

Výstupní napětí AC: řídí se napětím panelů, max. -300V / + 300V

Tvar výstupního napětí: modifikovaný sinus, 3 úrovně (+,0,-)

Výstupní výkon: max. 2,6 kW

Následující tabulka (tab. 9.3.) uvádí elektrické parametry MPPT trackeru podle počtu fotovoltaických panelů. Jsou brány v úvahu polykrystalické panely s 30 V v zátěži a 36 V napětí naprázdno.

	SW1	SW2	SW3	REGULÁTOR	TRIMR P1 - V	DOPOR - U	PRAC - U	PRAC - I	ZÁTĚŽ - R	SPIRÁLA BOJLER
	30	62	120	58	14	4	28	8	3,5	230
PANELY				P1-0V	min 0-52V		max U	max W	min R	výkon W
3	ON	ON	ON	58	72	72	84	672	10,5	5038
4	30	ON	ON	88	102	112	112	896	14	3779
5	ON	62	ON	120	134	120	140	1120	17,5	3023
6	30	62	ON	150	164	144	168	1344	21	2519
7	ON	ON	120	178	192	168	196	1568	24,5	2159
8	30	ON	120	208	222	192	224	1792	28	1889
9	ON	62	120	240	254	216	252	2016	31,5	1679
10	30	62	120	270	284	240	280	2240	35	1511

Tab. 9.3. Elektrické parametry v závislosti na počtu zapojených FV panelů [17]

9.1.4. PWM Regulátor 'Axpert KS 24 V 1600 W' [16]

PWM regulátor se využívá při dobíjení akumulátoru. Daný typ je možné použít při maximálním spojení 4 ks fotovoltaických panelů do série, při vyšším napětí je nutné použít MPPT tracker.

V tab. 9.4. jsou uvedeny parametry PWM regulátoru dané výrobcem.

Max.výkon Pmax	Max.napětí Vmpp	Max.proud Impp	Napětí naprázdno Voc	Zkratový proud Isc
W	V	A	V	A
260	30,9	8,42	37,7	8,89

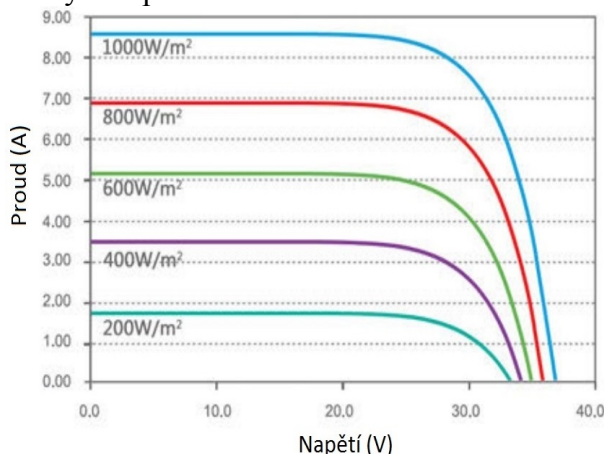
Tab. 9.4. Parametry PWM regulátoru dle výrobce

Ohřev vody s využitím akumulátoru není pro svoji neefektivnost využíván. Při tomto druhu ohřevu by bylo nutné použít i MPPT regulátor, což představuje v případě fotovoltaického ohřevu vody zbytečné náklady navíc. Z těchto důvodů není PWM regulace zohledňována při porovnávání jednotlivých druhů regulace.

9.2. Výpočet výkonu při různých typech regulace

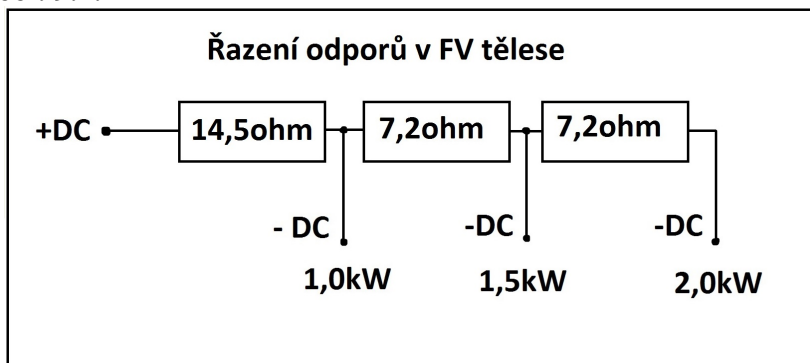
Vzhledem ke skutečnosti, že regulace pomocí řízení změny řazení panelů není pro obtížnost technické realizace v praxi příliš využívána, není zohledněna v tomto porovnání. Změna řazení panelů je složitá a ne příliš vhodná, jelikož se jedná o změnu ve venkovním, mnohdy těžko přístupném prostředí.

Pro výpočet výkonu byl využit graf [40] voltampérové charakteristiky se znázorněním průběhu MPP při odlišných světelných podmínkách (obr. 9.3.) pro vzorový panel STP6-245/60 Series, uvedený v kapitole 9.1.2.



Obr. 9.3. Voltampérová charakteristika v závislosti na světelných podmínkách (přeloženo)

Pro výkon odporové zátěže bylo využito schéma poskytnuté firmou DZD Dražice, které je uvedeno na obr. 9.4.



Obr. 9.4. Zapojení topných spirál ve fotovoltaickém ohřevači vody

9.2.1. Výkon při odporové zátěži

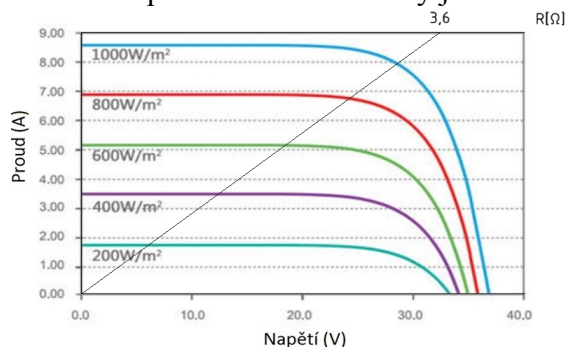
Zapojení 6 ks fotovoltaických panelů (sériově) odpovídá dle výrobce:

Typ zapojení:	B
Příkon:	1500 W
Napětí:	180 V
Proud:	8,3 A
Odpor zátěže:	21,7 Ω

Z daných hodnot lze vypočítat:

$$\text{Odpor panelu: } R_p = \frac{R}{6} = \frac{21,7}{6} = 3,6 \Omega$$

Znázornění odporu do voltampérové charakteristiky je na obr. 9.5.



Obr. 9.5. Voltampérová charakteristika jednoho panelu a znázornění zatěžovací přímky daného rezistoru

Z charakteristiky na obr. 9.5. lze vyčíst, jaké napětí a proud dodává jeden fotovoltaický panel při určité intenzitě osvětlení. Z napětí a proudu lze určit výkon. Panely jsou zapojeny do série, proto napětí soustavy je součtem napětí na jednotlivých panelech a výkon soustavy je součtem výkonů jednotlivých panelů. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 9.5.

Intenzita osvětlení [W/m ²]	Panel				Systém			
	Napětí U [V]	Proud I [A]	Odpor R _p [Ω]	Výkon P _p [W]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Odpor R _c [Ω]	Výkon P [W]
200	6,48	1,80	3,6	12	38,88	1,80	21,6	70
400	12,42	3,45	3,6	43	74,52	3,45	21,6	257
600	18,36	5,10	3,6	94	110,16	5,10	21,6	562
800	24,66	6,85	3,6	169	147,96	6,85	21,6	1014
1000	28,98	8,05	3,6	233	173,88	8,05	21,6	1400

Tab. 9.5. Elektrické hodnoty odporové zátěže

Pro výpočet byl použit následující výpočet:

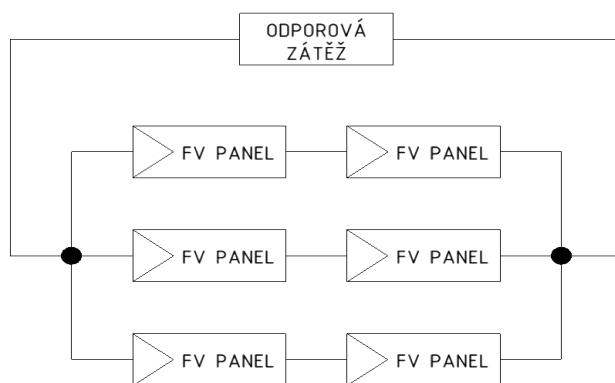
- Odečtení napětí U a proudu I pro jeden panel z průsečíku zatěžové přímky a křivky pro příslušnou intenzitu záření
- Výpočet výkonu panelu $P_p \rightarrow P_p = U \cdot I$
- Výpočet napětí systému U_c vycházející ze sériového zapojení $\rightarrow U_c = 6 \cdot U$
- Výpočet odporu systému R_c , který je stejný jako odpor zátěže $\rightarrow R_c = 6 \cdot R$
- Výpočet proudu, který prochází systémem \rightarrow proud procházející odporovou zátěží \rightarrow

$$I_c = \frac{U_c}{R_c}$$

- Výkon odporové zátěže $\rightarrow P = U_c \cdot I_c$

9.2.2. Výkon při přepínání zátěže

Pro tento druh regulace, v jehož obvodu jsou panely zapojeny sério – paralelně, 2 panely v sérii ve třech větvích (obr. 9.6.), byly odvozeny všechny možné kombinace sériových, paralelních a sério-paralelních zapojení odporové zátěže z obr. 9.4. Kombinace jsou uvedeny na obr. 9.7. a) – j). Tyto kombinace jsou pouze teoretickým řešením. Pokud bychom chtěli dostat tyto kombinace do reálného fyzického využití, bylo by nutné vyřešit zapojení z pohledu elektrotechniky.

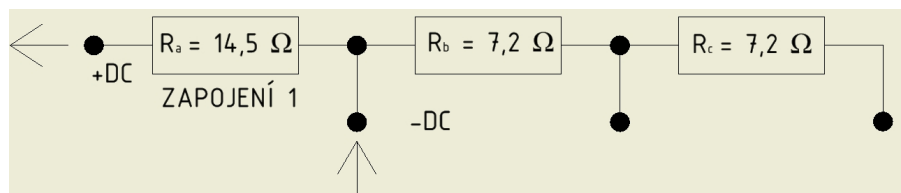


Obr. 9.6. Zapojení panelů a odporové zátěže pro ohřev při využití přepínání zátěže

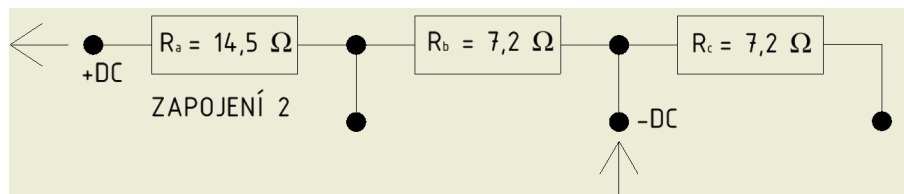
Přehled jednotlivých kombinací zapojení odporové zátěže včetně výsledných odporů je uveden v tab. 9.6.

Č. zapojení [-]	Původ zapojení [-]	Typ zapojení [-]	Odpor [Ω]
1	Výrobce	sériové	14,40
2	Výrobce	sériové	21,60
3	Výrobce	sériové	28,80
4	Úprava	sériové	7,20
5	Úprava	sériové	14,40
6	Úprava	paralelní	4,81
7	Úprava	paralelní	3,60
8	Úprava	paralelní	2,88
9	Úprava	sérió – paralelní	18,10
10	Úprava	sérió – paralelní	12,01

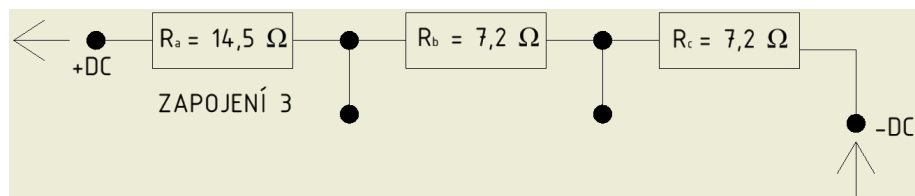
Tab. 9.6. Přehled možných kombinací zapojení



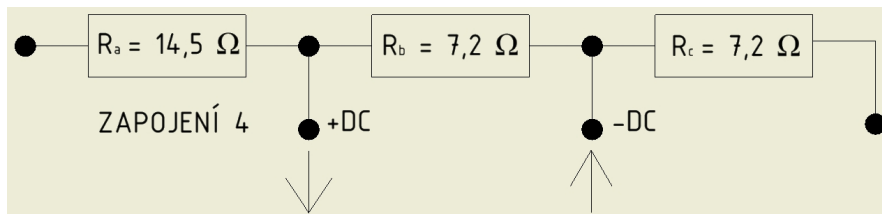
Obr. 9.7. a) Zapojení č.1



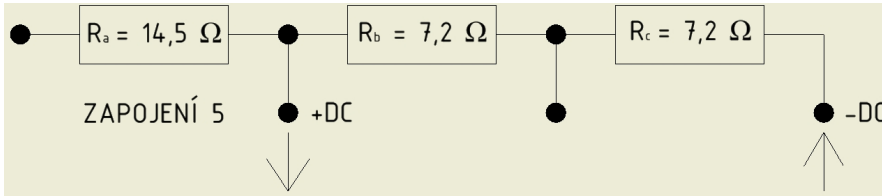
Obr. 9.7. b) Zapojení č.2



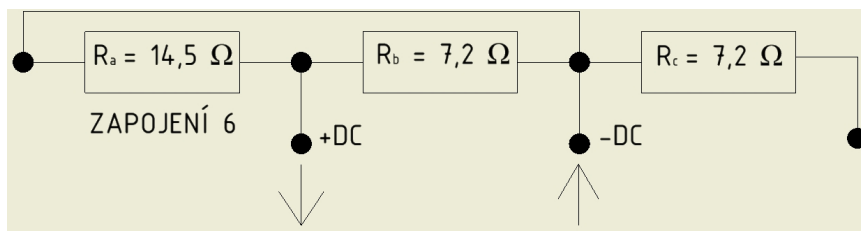
Obr. 9.7. c) Zapojení č.3



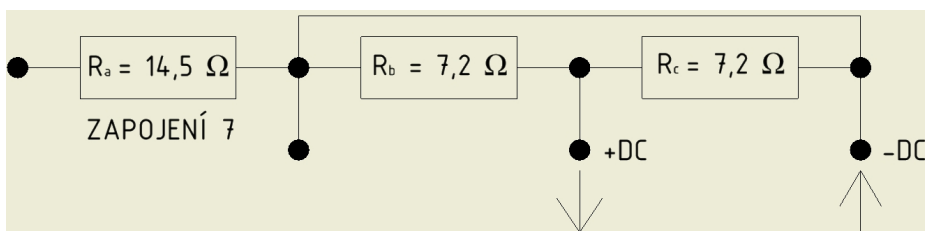
Obr. 9.7. d) Zapojení č.4



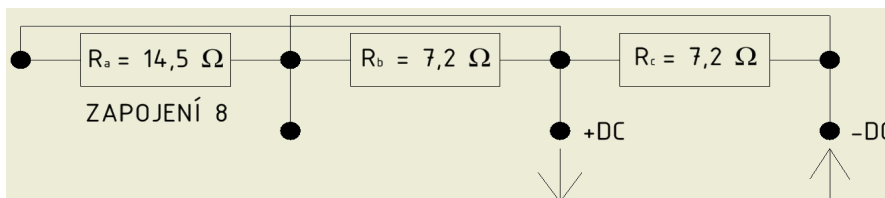
Obr. 9.7. e) Zapojení č.5



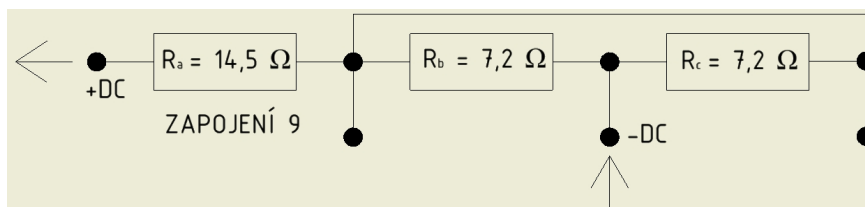
Obr. 9.7. f) Zapojení č.6



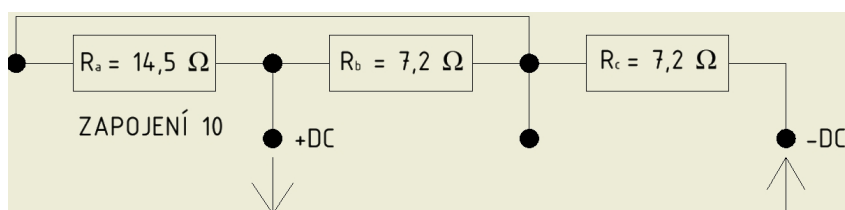
Obr. 9.7. g) Zapojení č.7



Obr. 9.7. h) Zapojení č.8



Obr. 9.7. i) Zapojení č.9



Obr. 9.7. j) Zapojení č.10

Výpočty celkových elektrických odporů jednotlivých kombinací

Zapojení č.1	$R_1 = R_a = 14,5 \Omega$... dáno výrobcem [20]
Zapojení č.2	$R_2 = R_b = 21,6 \Omega$... dáno výrobcem [20]
Zapojení č.3	$R_3 = R_c = 28,8 \Omega$... dáno výrobcem [20]
Zapojení č.4	$R_4 = R_b = 7,2 \Omega$
Zapojení č.5	$R_5 = R_b + R_c = 7,2 + 7,2 = 14,4 \Omega$
Zapojení č.6	$R_6 = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} = \frac{1}{\frac{1}{14,4} + \frac{1}{7,2}} = 4,8 \Omega$
Zapojení č.7	$R_7 = \frac{1}{\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}} = \frac{1}{\frac{1}{7,2} + \frac{1}{7,2}} = 3,6 \Omega$
Zapojení č.8	$R_8 = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}} = \frac{1}{\frac{1}{14,4} + \frac{1}{7,2} + \frac{1}{7,2}} = 2,9 \Omega$
Zapojení č.9	$R_9 = R_a + \frac{1}{\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c}} = 14,5 + \frac{1}{\frac{1}{7,2} + \frac{1}{7,2}} = 18,1 \Omega$
Zapojení č.10	$R_{10} = \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}} + R_c = \frac{1}{\frac{1}{14,4} + \frac{1}{7,2}} + 7,2 = 12 \Omega$

Z voltampérové charakteristiky byly zvoleny body, které se nejvíce blížily k bodům MPP jednotlivých intenzit osvětlení a pro kombinaci, která odpovídá danému bodu, byl vypočten výkon systému. Výkon systému pro ideální podmínky při jednotlivých intenzitách osvětlení je uveden v tab. 9.7.

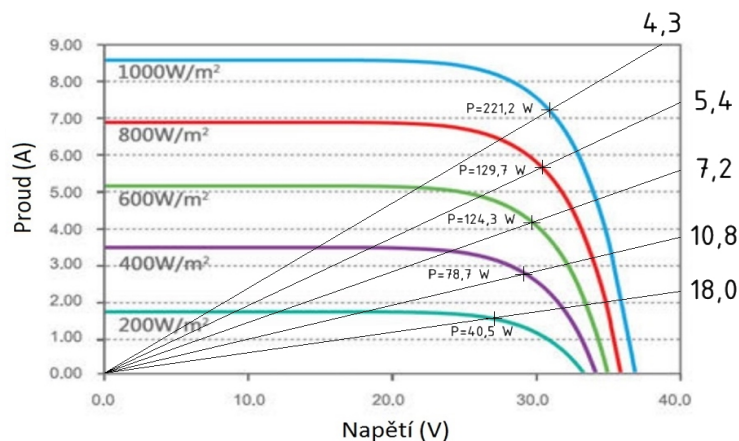
Intenzita osvětlení [W/m ²]	Kombinace zapojení	Panel			Větev				Systém → zátěž			
		Napětí U [V]	Proud I [A]	Odpor R _p [Ω]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Odpor R _c [Ω]	Výkon P _c [W]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Odpor R _c [Ω]	Výkon P _c [W]
200	(č.10)	28,00	1,55	18,06	56,00	1,55	36,13	86,80	56,00	4,65	12,04	260
400	(č.4)	30,00	2,50	12,00	60,00	2,50	24,00	150,00	60,00	7,50	8,00	450
600	(č.6)	30,00	4,10	7,32	60,00	4,10	14,63	246,00	60,00	12,30	4,88	738
800	(č.7)	29,00	6,05	4,79	58,00	6,05	9,59	350,90	58,00	18,15	3,20	1053
1000	(č.8)	28,00	8,00	3,50	56,00	8,00	7,00	448,00	56,00	24,00	2,33	1344

Tab. 9.7. Výkon ideální zátěže FV panelů v závislosti na intenzitě osvětlení

Pro reálný systém byly vypočtené hodnoty zaznamenány do tab. 9.8. a zátěžové přímky odporů panelů při určitých intenzitách záření byly zobrazeny do voltampérové charakteristiky na obr. 9.8.

Intenzita osvětlení [W/m ²]	Kombinace zapojení	Odpor			Panel			Větev			Systém		
		Systému R _c [Ω]	Větve R _v [Ω]	Panelu R _p [Ω]	Napětí U _p [V]	Proud I _p [A]	Výkon P _p [W]	Napětí U _v [V]	Proud I _v [A]	Výkon P _v [W]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Výkon P _c [W]
200,0	č.10	12,0	36,0	18,0	27,0	1,5	40,5	54,0	1,5	81,1	54,0	4,5	243,2
400,0	č.4	7,2	21,6	10,8	29,2	2,7	78,7	58,3	2,7	157,5	58,3	8,1	472,4
600,0	č.6	4,8	14,4	7,2	29,9	4,2	124,3	59,9	4,2	248,6	59,9	12,5	745,7
800,0	č.7	3,6	10,8	5,4	26,5	4,9	129,7	52,9	4,9	259,3	52,9	14,7	777,9
1000,0	č.8	2,9	8,7	4,3	30,9	7,2	221,2	61,9	7,2	442,3	61,9	21,5	1326,9

Tab. 9.8. Vypočítané výkony reálné soustavy



Obr. 9.8. Zatěžovací přímky pro jeden panel a jim odpovídající výkony pro regulační mód přepínání zátěže

Hodnoty v tab. 9.7. byly vypočítány následujícím způsobem:

- Odečtení napětí a proudu získané z jednoho panelu z průřezu vhodné zatěžovací přímky a křivky intenzity záření
- Výpočet napětí U_V a odporu R_V v jedné větvi (2 panely v sériovém zapojení) → $U_V = 2 \cdot U$; $R_V = 2 \cdot R$
- Výpočet proudu v jedné větvi → $I_V = \frac{U_V}{R_V}$
- Výpočet výkonu jedné větve → $P_V = U_V \cdot I_V$
- Výpočet odporu soustavy FV panelů → $\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_V}$
- Napětí soustavy FV panelů $U_C =$ napětí větve $U_V \leftrightarrow$ paralelní zapojení
- Proud tekoucí soustavou FV panelů I_C , který je stejný jako proud, který protéká odporovou zátěží → $I_C = \frac{U_C}{R_C}$
- Výkon odporové zátěže $P_C = U_C \cdot I_C$
- Z výsledného odporu R_C byla vybrána kombinace zapojení odporové zátěže z tab. 9.6. a přiřazena dané intenzitě záření

Nevýhodou daného typu regulace jsou drobné rozdíly mezi vypočtenými odpory pro jednotlivé kombinace zapojení (tab. 9.6.) a vypočtenými odpory vycházející ze sérioparalelního zapojení FV panelů (tab. 9.7.)

V tab. 9.8. jsou uvedeny pro reálnou zátěž. Postup při tomto výpočtu byl následující:

- Přiřazení kombinace zapojení odporové zátěže na základě tab. 9.7.
- Z odporu systému R_C byly vypočteny odpory větve a odpor jednoho panelu → $\frac{1}{R_C} = \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_V}$, resp. $R_P = \frac{R_C}{2}$
- Zatěžovací přímky odporů panelů pro jednotlivé intenzity záření byly vyneseny do voltampérové charakteristiky panelu, která je na obr. 9.8.
- Z obr. 9.8. bylo odečteno napětí a proud pro jednotlivé intenzity záření, které získá jeden panel
- Výpočet hodnot pro větve → elektrické napětí $U_V = 2 \cdot U_P$, elektrický proud $I_V = \frac{U_V}{R_V}$, výkon panelu $P_V = U_V \cdot I_V$
- Výpočet hodnot pro systém → elektrické napětí $U_C = U_V$, elektrický proud $I_C = \frac{U_C}{R_C}$, výkon soustavy $P_C = U_C \cdot I_C$

9.2.3. Výkon při MPPT regulaci

Sledovač bodu MPP (Maximal Power Point Tracker) sleduje bod maximálního výkonu u 6 ks panelů zapojených do série. Tyto body jsou uvedeny v tab. 9.9. Z těchto bodů jsou odečtena napětí a proudy, pomocí kterých je vypočten výkon systému při jednotlivých osvitových podmínkách.

Výpočet pro MPPT regulaci je shodný s výpočtem v kapitole 9.2.1., jediný rozdíl je, že napětí a proud získané z jednoho panelu je odečten z bodu maximálního výkonu (MPP).

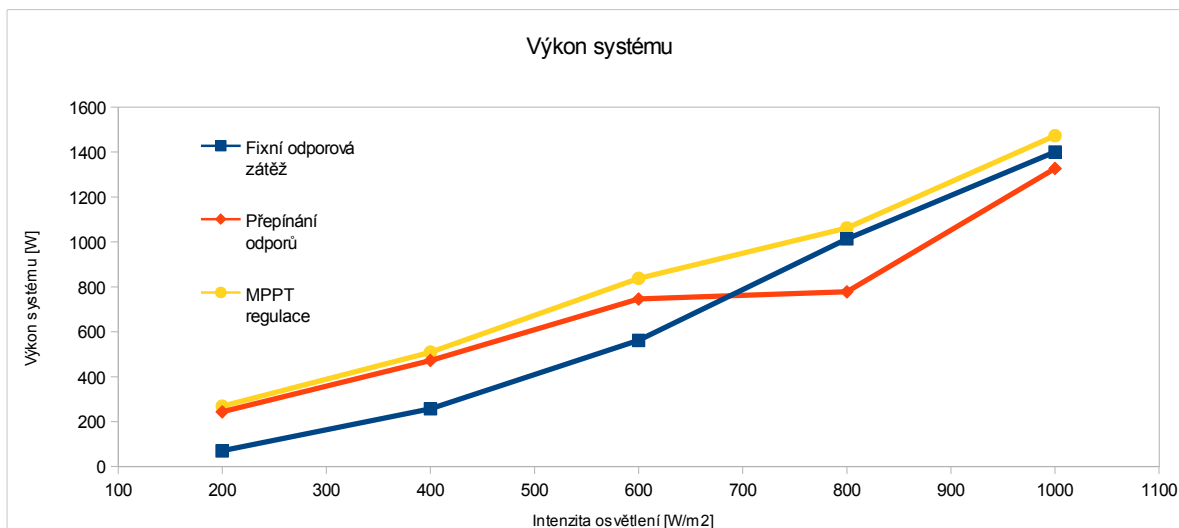
Intenzita osvětlení [W/m ²]	Panel			Systém			
	Napětí U [V]	Proud I [A]	Odpor R _p [Ω]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Odpor R _c [Ω]	Výkon P _c [W]
200	28,00	1,60	17,50	168	1,60	105,00	269
400	28,30	3,00	9,43	170	3,00	56,60	509
600	28,50	4,90	5,82	171	4,90	34,90	838
800	29,50	6,00	4,92	177	6,00	29,50	1062
1000	29,90	8,21	3,64	179	8,21	21,85	1473

Tab. 9.9. Výkon systému MPPT v závislosti na osvitových podmínkách

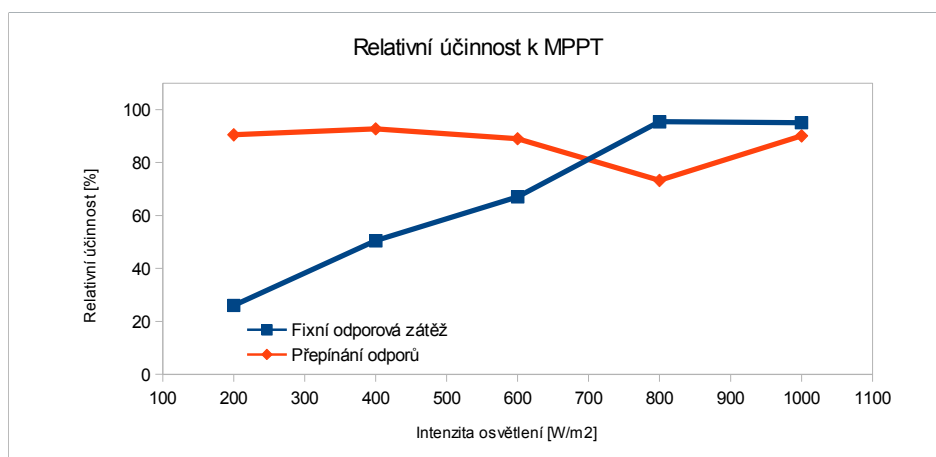
9.2.4. Vyhodnocení jednotlivých systémů regulace

Intenzita osvětlení [W/m ²]	Typ regulace	Panel				Systém				Relativní účinnost [%]
		Napětí U [V]	Proud I [A]	Odpor R _p [Ω]	Výkon P _p [W]	Napětí U _c [V]	Proud I _c [A]	Odpor R _c [Ω]	Výkon P _c [W]	
200	Fixní odporová zátěž	6,48	1,80	3,6	12	38,9	1,8	21,6	70	26
	Přepínání odporů (č. 10)	27,02	1,50	18,02	41	54,0	4,5	12,0	243	90
	MPPT regulace	28,00	1,60	17,5	45	168,0	1,6	105,0	269	100
400	Fixní odporová zátěž	12,42	3,45	3,6	43	74,5	3,5	21,6	257	50
	Přepínání odporů (č. 4)	29,16	2,70	10,80	79	58,3	8,1	7,2	472	93
	MPPT regulace	28,30	3,00	9,4	85	169,8	3,0	56,6	509	100
600	Fixní odporová zátěž	18,36	5,10	3,6	94	110,2	5,1	21,6	562	67
	Přepínání odporů (č. 6)	29,95	4,15	7,22	124	59,9	12,5	4,8	746	89
	MPPT regulace	28,50	4,90	5,8	140	171,0	4,9	34,9	838	100
800	Fixní odporová zátěž	24,66	6,85	3,6	169	148,0	6,9	21,6	1014	95
	Přepínání odporů (č. 7)	26,46	4,90	5,40	130	52,9	14,7	3,6	778	73
	MPPT regulace	29,50	6,00	4,9	177	177,0	6,0	29,5	1062	100
1000	Fixní odporová zátěž	28,98	8,05	3,60	233,29	173,9	8,1	21,6	1400	95
	Přepínání odporů (č. 8)	30,93	7,15	4,33	221	61,9	21,5	2,9	1327	90
	MPPT regulace	29,90	8,21	3,6	245	179,4	8,2	21,9	1473	100

Tab. 9.10. Přehled jednotlivých systémů regulace



Obr. 9.10. Porovnání výkonů jednotlivých systémů regulace



Obr. 9.11. Porovnání výkonů jednotlivých regulací se systémem MPPT

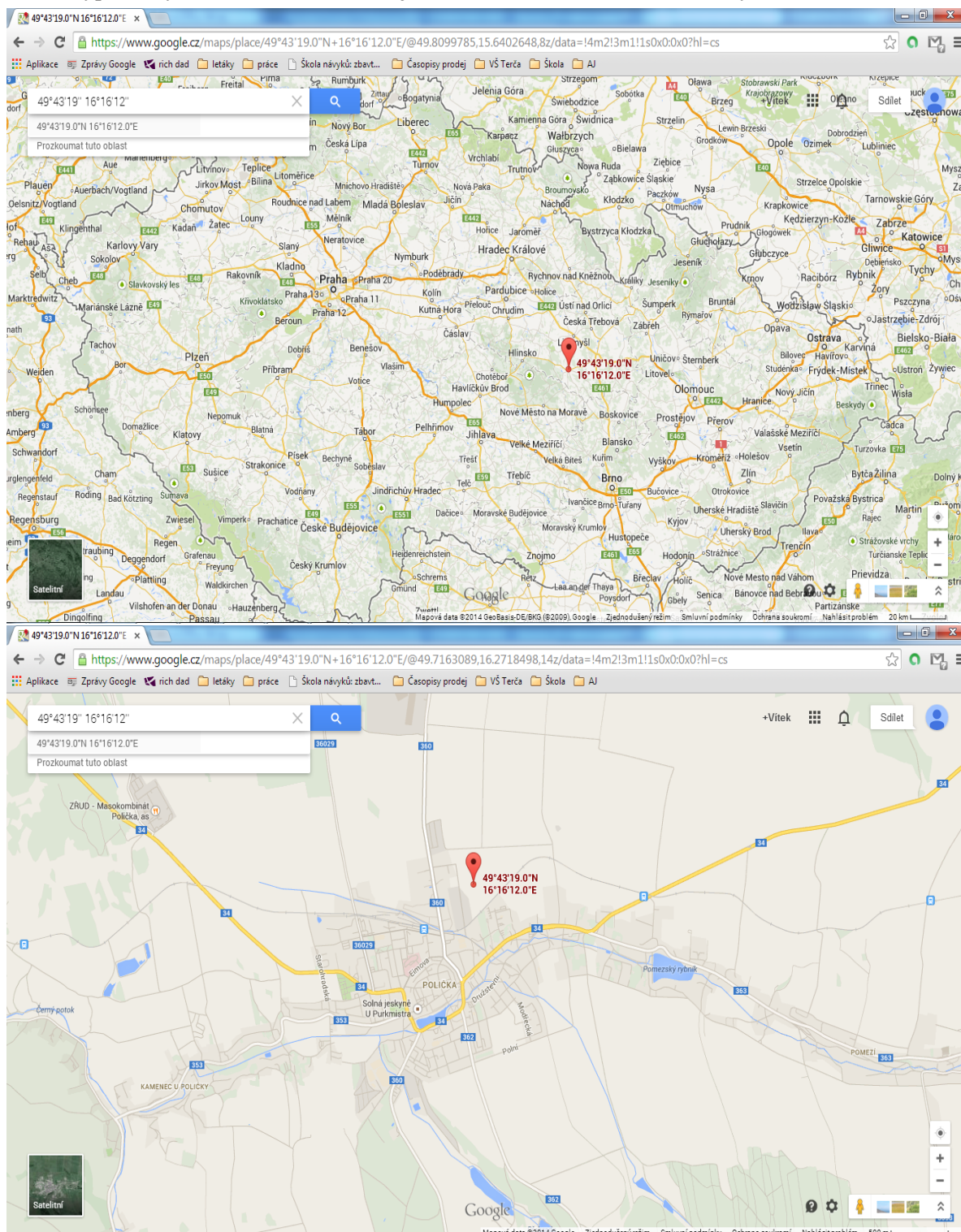
Ohřev vody pomocí odporové zátěže je vhodný zejména pro vysoké osvitové podmínky, cca $1000 W/m^2$, těchto podmínek však lze dosáhnout pouze v relativně krátkých časových intervalech v letních slunečných dnech. Největší výkon lze získat ze systému s MPPT, jehož cena se pohybuje v řádu tisíců korun. Správným zvolením a nastavením regulátoru, který by přepínal zátěž podle aktuálních osvitových podmínek, lze získat přibližně stejný výkon, jako pomocí MPPT.

Ohřev vody se všeobecně jeví jako nejvýhodnější s použitím MPPT regulace, vzhledem k ceně, která nepřesahuje 10 000 Kč. Pro přepínání zátěže je nutné zkonstruovat vhodný regulátor, který je schopen přepínat mezi několika různými obvody, podle aktuálních světelných podmínek.

Konstrukci regulátoru zjednoduší sledování polohy umístění fotovoltaických panelů. Při sledování intenzity osvětlení v dané poloze lze usoudit, mezi kterými hodnotami se budou pohybovat body MPP a dle zjištěných výsledků lze zkonstruovat nejvhodnější a nejjednodušší regulátor, proto může být v některých případech výhodnější použití přepínání zátěže oproti MPPT.

9.3. Výpočet jednotlivých druhů regulací pro určenou klimatickou polohu ČR

Pro výpočet byla zvolena Polička, což je město s 10 000 lidmi, ležící ve Východních Čechách.



Obr. 9.12. Klimatická poloha pro výpočet FV systému

Pro výpočet byl využit software PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Tento software je volně dostupný a slouží k výpočtům fotovoltaických systémů. Při užívání softwaru je zvoleno místo, pro které software zobrazí sluneční záření a ostatní důležité hodnoty pro výpočet fotovoltaických systémů. Při výpočtu byl zvolen následující postup (tab. 9.9.):

- 1) Pro zmíněnou klimatickou polohu byly zobrazeny hodnoty záření, dopadajícího na sluneční panel v určitých časech v jednotlivých měsících. Tyto hodnoty jsou uvedeny v příloze č.1.
- 2) Ze sloupce G – celkové záření dopadající na pevný panel [W/m^2] - byly určeny dvě průměrné hodnoty pro jednotlivé měsíce:
 - a/ Průměrná hodnota dopadajícího záření na panel v denním období mezi 8:22 a 15:22. Daný časový interval je využitelný pro celý rok. Tyto hodnoty jsou uvedeny v řádku č. 4 a slouží spíše pro vzájemné porovnání.
 - b/ Průměrná hodnota dopadajícího záření na panel pro denní období, které lze využít k ohřevu vody. Dané období je pro každý měsíc individuální. Mezní časy intervalů jsou uvedeny na řádku č. 2 a č. 3. Průměrná denní hodnota slunečního záření dopadajícího na panel je uvedena v řádku č. 5.
- 3) Průměrné intenzity osvětlení z řádku č. 5 byly vyneseny do voltampérové charakteristiky s průběhem MPP (obr. 9.13.) a pro jednotlivé intenzity záření, odpovídající jednotlivým měsícům, byly odečteny hodnoty napětí (řádek č.6) a proudu (řádek č.7) získané z fotovoltaických panelů.
- 4) Výpočet odporu panelu, který byl uveden v řádku č. 8 $\rightarrow R_p = \frac{U_p}{I_p}$
- 5) Výpočet výkonu panelu (řádek č. 9) $\rightarrow P_p = U_p \cdot I_p$
- 6) Výpočet napětí (ř. č. 10) a odporu (ř. č. 11) systému \rightarrow jedná se o 6 sériově řazených panelů $\rightarrow U_c = 6 \cdot U_p$, resp. $R_c = 6 \cdot R_p$
- 7) Proud v soustavě (ř. č. 12) $\rightarrow I_c = \frac{U_c}{R_c}$
- 8) Výkon soustavy (ř. č. 13) $\rightarrow P_c = U_c \cdot I_c$
- 9) Celková energie získaná ze slunečního záření, využitelná pro ohřev vody (řádek č. 10), se získá z rovnice $Q = P \cdot \tau$, kde Q [J] je energie, P [W] výkon a τ [s] čas. Čas je získán odečtením hodnot z řádku č. 2 od řádku č. 3 a převedením na vteřiny.
- 10) Řádek č. 11 udává objem vody v m^3 , který je možné ohřát z teploty t_1 na teplotu t_2 . Tato hodnota byla získána z kalorimetrické rovnice:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow m = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} \Rightarrow V \cdot \rho = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} \Rightarrow V = \frac{Q}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}$$

Vypočítané množství ohřáté vody odpovídá regulaci MPPT vzhledem ke skutečnosti, že dosud bylo počítáno s bodem maximálního výkonu.

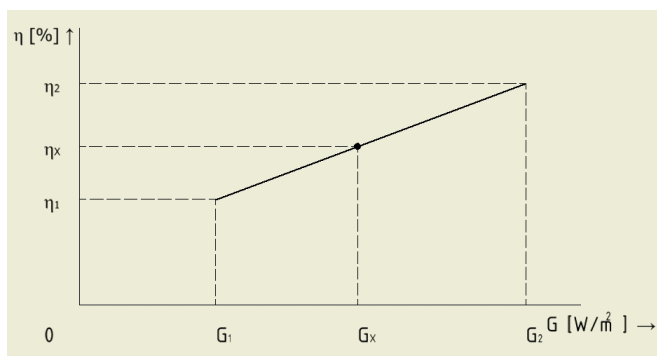
- 11) Při výpočtu množství ohřáté vody pomocí odporové zátěže a pomocí přepínání zátěže byly využity relativní účinnosti vzhledem k MPPT, uvedené v tab. 9.9. Relativní účinnost je vztažena na výkon a následně převedena na objem pomocí níže uvedených rovnic:

$$V_{MPPT} = \frac{Q}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} = \frac{P \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta t}$$

$$V_{odporova\ zatez} = \frac{P \cdot \tau \cdot \eta}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} = \eta \cdot \frac{P \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} = \eta \cdot V_{MPPT}$$

$$V_{odporova\ zatez} = \eta \cdot V_{MPPT}$$

Relativní účinnosti jsou vztaženy pro diskrétní hodnoty intenzity záření. Pro přepočítání na vypočtené hodnoty intenzity záření byla využita lineární interpolace:



$G_{1(2)}$ – intenzita osvětlení na spodní (horní) hranici intervalu

G_x – intenzita osvětlení, pro kterou je počítána účinnost

$\eta_{1(2)}$ – relativní účinnost při intenzitě na spodní (horní) hranici intervalu

η_x – relativní účinnost při intenzitě osvětlení I_x

Výsledná účinnost η_x je spočítána dle vzorce:

$$\eta_x = \eta_2 - \frac{(\eta_2 - \eta_1) \cdot (G_2 - G_x)}{(G_2 - G_1)}$$

Jednotlivé účinnosti jsou uvedeny v řádcích č. 14 a č. 16.

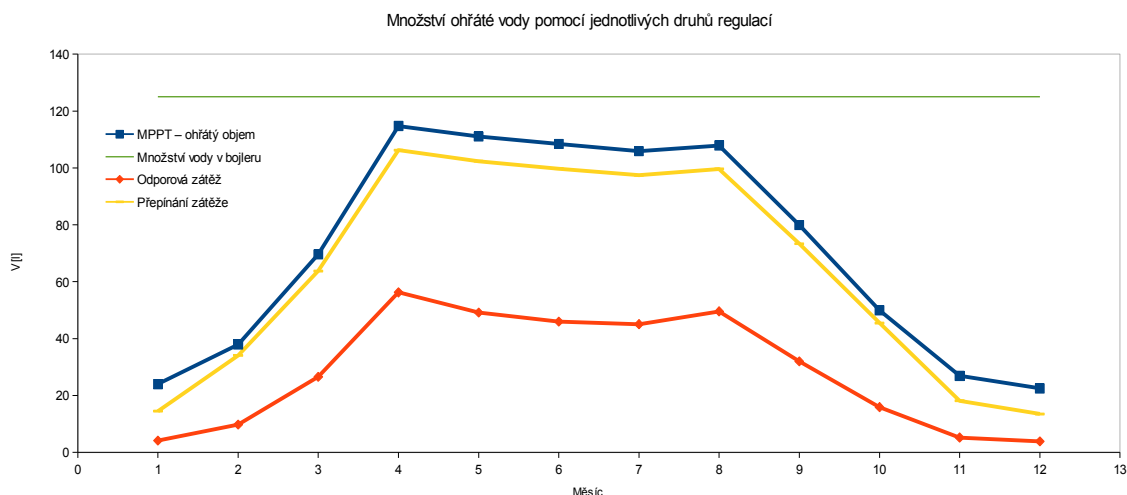
12) Objemy ohřáté vody jsou zapsány v řádcích č. 15 a č. 17.

13) Objemy vody, kterou lze ohřát z teploty t_1 na teplotu t_2 pomocí jednotlivých typů ohřevu, byly vyneseny do grafu (obr. 9.13.) Konstantní přímkou znázorňuje objem zásobníku vody. Pokud je objem ohřáté vody pro daný způsob v grafu v části nad přímkou, je v daném období soustava schopna ohřevu vody pro plný zásobník vody.

Poloha	49°43'19" North
	16°16'12" East
Nadmořská výška	561 above sea level
Množství vody v bojleru	125 l
Natočení panelů	35 °
t_1	15 °C
t_2	60 °C
ρ	1000 kg/m³
c	4180 J/kg K

Č. řádku	Hodnoty PVGIS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Měsíc		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
2	Počátek časového období	od [hh:mm]	08:07	07:22	06:37	05:37	04:52	04:22	04:37	05:22	06:07	07:07	07:52	08:22
3	Konec časového období	do [hh:mm]	16:07	16:52	17:37	18:37	19:22	19:52	19:37	18:52	18:07	17:07	16:22	15:52
4	Průměrná intenzita záření mezi 8:22 – 15:52	G_p [W/m²]	140	233	380	547	517	512	501	521	426	299	164	133
5	Průměrné ozáření přes den	G [W/m²]	133	198	299	388	349	334	335	363	315	248	149	133
6	Napětí panelu	U_p [V]	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00
7	Proud panelu	I_p [A]	0,90	1,20	1,90	2,65	2,30	2,10	2,12	2,40	2,00	1,50	0,95	0,90
8	Odpor panelu	R_p [Ω]	32,22	24,17	15,26	10,94	12,61	13,81	13,68	12,08	14,50	19,33	30,53	32,22
9	Výkon jednoho panelu	P_p [W]	26,10	34,80	55,10	76,85	66,70	60,90	61,48	69,60	58,00	43,50	27,55	26,10
10	Napětí systému	U_c [V]	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00	174,00
11	Odpor systému	R_c [Ω]	193,33	145,00	91,58	65,66	75,65	82,86	82,08	72,50	87,00	116,00	183,16	193,33
12	Proud v systému	I_c [A]	0,90	1,20	1,90	2,65	2,30	2,10	2,12	2,40	2,00	1,50	0,95	0,90
13	Výkon celé soustavy	P [W]	156,60	208,80	330,60	461,10	400,20	365,40	368,88	417,60	348,00	261,00	165,30	156,60
14	Získaná energie za časový úsek	Q [J]	451,0E+4	714,1E+4	130,9E+5	215,8E+5	208,9E+5	203,9E+5	199,2E+5	203,0E+5	150,3E+5	939,6E+4	505,8E+4	422,8E+4
15	Objem ohřáté vody z t_1 na t_2 při MPPT	V [m³]	0,02	0,04	0,07	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,08	0,05	0,03	0,02
16	Množství ohřáté vody pomocí jednotlivých metod													
17	MPPT – ohřátý objem	V [l]	23,98	37,96	69,60	114,72	111,06	108,40	105,90	107,90	79,92	49,95	26,89	22,48
18	Odporová zátěž	η [%]	17,37	25,83	38,18	49,05	44,26	42,42	42,57	45,94	40,06	31,85	19,40	17,28
19		V [l]	4,16	9,80	26,57	56,27	49,15	45,98	45,08	49,57	32,01	15,91	5,22	3,88
20	Přepínání zátěže	η [%]	60,36	89,75	91,60	92,60	92,16	91,99	92,01	92,32	91,78	91,02	67,44	60,06
21		V [l]	14,47	34,07	63,76	106,24	102,36	99,72	97,43	99,61	73,35	45,47	18,13	13,50

Tab. 9.11. Specifické hodnoty v jednotlivých měsících



Obr. 9.14. Množství vody ohřáté za využití jednotlivých druhů regulací v závislosti na ročním období

9.4. Zhodnocení

Nejvyšší výkon a nejlepší podmínky pro ohřev vody jsou dosaženy při použití sledovače bodu maximálního výkonu (MPPT). Tento sledovač je ale finančně náročný, proto lze použít alternativně přepínání řazení zátěže. Tento způsob dosahuje přibližně stejných výsledků, ale protože takové zařízení není běžně na trhu, musela by být vyřešena jeho zakázková výroba. Při zapojení odporové zátěže podle výrobce, tedy fixně nastavené odporové zátěži, je účinnost v rozmezí 30 ÷ 99 % oproti sledovači bodu MPP (MPPT) nebo přepínání řazení panelů. Tato varianta ohřevu vody je nejlevnější a nejjednodušší, ale je nutné vzít v úvahu, že stejný výkon fixně nastavené odporové zátěže a sledovače bodu MPP je pouze při intenzitě slunečního záření 1000 W/m², která se u nás vyskytuje pouze teoreticky.

Pokud by byl uvažován ohřev vody z teploty 15°C na teplotu 60°C v zásobníku vody o objemu 125 l v okolí Poličky, bylo by možné k tomuto ohřevu využít regulaci pomocí MPPT nebo přepínání řazení zátěže od poloviny března do poloviny srpna pro ohřev přibližně 100 l vody a pro dodání zbylého tepla by bylo nutné použít elektrickou energii ze sítě. Při ohřevu vody odporovou zátěží, danou výrobcem, lze tento způsob ohřevu použít od poloviny března do poloviny srpna pro ohřev 40 ÷ 60 l vody. Výkon pro ohřev 125 l vody z teploty 15°C na 60°C během jednoho dne není dostatečný při žádném způsobu regulace ani v jednom ročním období.

10. ZÁVĚR

Pro využití sluneční energie prostřednictvím PV panelů k ohřevu vody jsou dostupné čtyři základní druhy regulace, z nichž se dva druhy příliš nevyužívají. Regulace pomocí změny řazení panelů není příliš využitelná, protože k regulaci dochází ve venkovním prostředí, často těžko dostupném, např. pokud jsou panely umístěny na střeše, vysokém kopci apod., což s sebou nese řadu komplikací, týkajících se funkčních i bezpečnostních hledisek. Tuto regulaci také značně komplikují povětrnostní vlivy. PWM regulace je regulace určená spíše pro ukládání elektrické energie do akumulátorů a dobíjecích zařízení. Pro ohřev vody tato regulace samotná nemá žádný účel.

První dostupnou a využitelnou možností ohřevu vody je pořízení solárního panelu a kombinovaného ohříváče vody ve stavu, v jakém ho nabízí prodejce. Kombinovaný ohříváč vody využívá elektrický proud z fotovoltaických panelů, a pokud je výkon menší, než je potřebný výkon, získá doplňkovou energii z rozvodné elektrické sítě. Bez úpravy ohříváče vody je výkon poměrně nízký pro danou klimatickou polohu (ČR v blízkosti Poličky). Při pořízení 6 ks solárních panelů lze ohřát v průběhu roku 5 - 60 l vody z teploty 15°C na 60°C za den. Procentuální vyjádření vzhledem ke 125 l zásobníku vody činí 4 - 50 %, proto i v teplejších letních měsících je občas potřeba využít elektrickou energii ze sítě pro dohřev vody.

V případě provedení elektrotechnické úpravy lze využít topné spirály kombinovaného ohříváče vody tak, že jejich vhodným propojením je získán vhodný elektrický odpor a je tak udržován optimální výkon FV panelů. Energetický zisk v tomto případě dosahuje množství, které umožňuje ohřát od 15 l do 105 l vody z teploty 15 °C na teplotu 60 °C. Ani v nejpříznivějším ročním období, od dubna do září, není dosaženo takového množství energie, které by umožnilo ohřev 125 l zásobníku vody bez nutnosti dodatečné dodávky elektrické energie ze sítě.

Energeticky nejvýnosnější, ale také pravděpodobně nejdražší je regulace pomocí MPPT. Jedná se o zařízení, které udržuje výkon panelů v bodě optimálního výkonu, proto lze ze solárních panelů získat nejvyšší množství elektrické energie pro ohřev vody. Při ohřevu vody z 15 °C na 60 °C lze ohřát 25 l – 115 l vody. Stejně jako v případě regulace řazení zátěže je nutné použít elektrickou energii z rozvodné sítě v případě ohřevu 125 l vody v průběhu jednoho dne.

Nejvhodnější metoda pro ohřev vody fotovoltaickými panely je využití sledovače maximálního výkonu (MPPT) nebo regulace změnou řazení zátěže. Oba způsoby jsou prakticky rovnocenné. Sledovač bodu maximálního výkonu (MPPT) je cenově relativně náročný prvek systému, ale je dnes běžně dostupný na trhu. Při změně řazení zátěže lze získat zařízení, u kterého je těžké odhadnout finanční výhodnost, protože náročnost zařízení, a z toho vycházející cena, je závislá na konkrétním provedení a použitých komponentech systému.

11. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [01] A. Luque, S. Hegedus: Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley. 2003. ISBN: 0-471-49196-9
- [02] Energetika: Odborný měsíčník pro elektrárny, teplárny a použití energie. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2012, roč. 62, č. 12. ISSN 0375-8842
- [03] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, s. 122, 123., 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [04] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrická energie ze slunce*. 1. vyd. Praha: EkoWATT, 2009, 93 s. ISBN 978-80-87333-01-3. Strany 24 – 26.
- [05] *Czech nature energy* [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: http://www.cne.cz/data/editor/26cs_8_big.jpg
- [06] Detail zkratky Wp. *Zkratky* [online]. 2010 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.zkratky.cz/Wp/16927>
- [07] Figures from the Textbook Photovoltaics. *Textbook PV* [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.textbook-pv.org/figures.html>
- [08] Flexibilní monokrystalické sluneční panel 180 W. *Flexpro* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://flexpro-industry.net/E-Shop/cs/domov/97-flexibilni-monokrystalicke-slunecni-panel-180w.html>
- [09] Fotovoltaické fólie. *Cetam* [online]. 2009 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.cetam.cz/index.php?page=fotovoltaicke-folie>
- [10] Fotovoltaické ohřivače vody - bojler. *DZD Dražice* [online]. 2012 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.dzd.cz/cs/ohrivace-vody-bojlery/fotovoltaicke-ohrivace-vody>
- [11] Fotovoltaické solární panely CSUN CEEG SST 240 - 260 / 60M. *Solar Liglass* [online]. 2009 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/solarni-fotovoltaicke-panely-ceeg-produkty/19-solarni-panely-ceeg-sst-155-190w-mono.html>
- [12] Fotovoltaický jev. *ČEZ* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/f8.htm>
- [13] Fotovoltaický systém pracující do odporové zátěže. HW. *HW* [online]. 2012 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/fotovoltaicky-system-pracujici-do-odporove-zateze.html>
- [14] Impedance. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Impedance>
- [15] IP Rated Enclosures Explained. *Eurobox* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.euroboxenclosures.co.uk/IP-Ratings-Explained.php>
- [16] Kombi měnič Axpert KS 24V 1600W. *Ostrovni fotovoltaické elektrárny* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.ostrovni-elektrarny.cz/index.php?detail=NTUwMzk=&search_all=1&to_search=PWM
- [17] MPPT Tracker: FV DC->modifikovaná AC pro ohřev vody. *MYPOWER* [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://shop.mypower.cz/shopfile?Reg_AC-navod.pdf
- [18] MPPT Tracker + měnič 2kW. *MYPOWER* [online]. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://shop.mypower.cz/mppt-tracker-m-ni-2kw-2255#.UyYH7YVc1g>
- [19] Napětí naprázdno (článků nebo baterií). *BATTEX. Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. 2009-2014 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: [http://www.battex.info/slovnicek-a-pojmy/nap%C4%9Bt%C3%AD+napr%C3%A1zdno+\(%C4%8D1%C3%A1nk%C5%AF+nebo+bateri%C3%AD\)](http://www.battex.info/slovnicek-a-pojmy/nap%C4%9Bt%C3%AD+napr%C3%A1zdno+(%C4%8D1%C3%A1nk%C5%AF+nebo+bateri%C3%AD))
- [20] Ohřev vody LOGITEX. *LOGITEX* [online]. 2011 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.logitex.cz/8/index.php?ac=161>
- [21] OHŘEV VODY. *Energetický poradce* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/ohrev-vody/>
- [22] OHŘEV VODY - RADY, TIPY, INFORMACE. PRAŽSKÁ ENERGETIKA, a. s. *Energetický poradce* [online]. Praha, 2013 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/poradenske-centrum/tiskoviny-poradenstvi/2013/ohrev-vody-rady-tipy-informace/>
- [23] Ohřivače LX ACDC/M+K. *DZD Dražice* [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: http://www.dzd.cz/images/download/letak_LX_ACDC-A4.pdf
- [24] Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody. Ing. WOLF, Petr a Vítězslav CSc. prof. Ing. BENDA. *TZB-INFO. TZB* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/10697-optimalizace-fotovoltaickeho-systemu-pro-pripravu-teple-vody>

- [25] PA05: 60-cell Universal Module. *Trina Solar* [online]. 2013 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.trinasolar.com/us/product/PA05.html>
- [26] Proud nakrátko. CO JE CO. *Encyklopedie Co Je Co* [online]. 2000 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z: http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&s_lang=2&id_desc=77183
- [27] Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory?. ING. BECHNIK, Bronislav Ph.D. TZB-INFO. *TZB* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/10453-priprava-teple-vody-fotovoltaika-nebo-solarni-tepelne-kolektory>
- [28] Pulsní regulátor napětí ARN 5580X2. ARN. *Bel-shop* [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: http://www.bel-shop.eu/_obchody/bel.shop5.cz/prilohy/0-pulsni-regulator-napeti-arn-5580x2.pdf
- [29] Sharp develops 36.9 percent efficient solar cell. STUART, Becky. *PV MAGAZINE. PV Magazine* [online]. 07.11.2011. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/sharp-develops-369-percent-efficient-solar-cell_100004890/
- [30] Skrat. *Wikipedia SK* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Skrat>
- [31] SLUNEČNÍ TERMICKÉ KOLEKTORY. *Odborný stavební portál* [online]. [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/fotogalerie/tzb/slunecni-termicke-kolektory-fotoalbum/slunecni-termicke-kolektory-3>
- [32] Solar Laminate PVL-series. *Uni-Solar* [online]. 2009 [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.cetam.cz/download/UniSolar.pdf>
- [33] Solar spectrum. *Glass blog* [online]. 18.12.2006. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://theglassblog.files.wordpress.com/2011/02/solar-spectrum1.jpg>
- [34] Solární kolektory. *Energetický poradce PRE* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/cs/uspory-energie/ohrev-vody/solarni-kolektory/>
- [35] Solární panely. NEOSOLAR. *Energie a úsporné technologie* [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: http://eshop.neosolar.cz/solarni_panely
- [36] Solární panely s jedním nebo více články – jak na to? (1. část: Vnitřní osvětlení). HW. *HW* [online]. 2011 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/solarni-panely-s-jednim-nebo-vice-clanky-jak-na-to-1-cast-vnitрни-osvetleni.html>
- [37] Solární termické systémy - slepá vývojová větev?. ING. SRDEČNÝ, Karel. *EKOWATT. TZB info* [online]. 2013 [cit. 2014-03-28]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/10475-solarni-termicke-systemy-slepa-vyvojova-vetev>
- [38] Spotřeba vody v bytových domech v kontextu modernizace bytových jader. *TZB-info* [online]. 18.12.2006. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3767-spotreba-vody-v-bytovych-domech-v-kontextu-modernizace-bytovych-jader>
- [39] STP6-XXX/60. SCHUTTEN SOLAR. *Ostrovni elektrárny* [online]. 2011 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/Schutten_solar.pdf
- [40] STP6-XXX/60 Series. *Schutten solar* [online]. 2013 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.schutten-solar.com/uploads/soft/20131016/1381889932.pdf>
- [41] Stress Corrosion Cracking of a Stainless Steel Pipeline. *Corrosion Testing Laboratories* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.corrosionlab.com/Failure-Analysis-Studies/20030.scc.304hss-pipeline.htm>
- [42] Technical sheet CSUN CEEG SST 240 - 260 / 60M. *Solar Liglass* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.solar-liglass.cz/images/stories/csunkatalog/csun%20245-60m%202.jpg>
- [43] Tenkovrstvé FV technologie. ING. ČADA, Roman. *VOTUM. Votum* [online]. 2009-14 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/Thin-film/>
- [44] Thin Film: Solar's New Superstar. TAYLOR, Lara. *Lara Taylor - Real Estate Broker* [online]. 2013 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.askforlara.com/thin-film-solar%E2%80%99s-new-superstar/>
- [45] TSM PC-05. *Trina Solar* [online]. 2012 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.trinasolar.com/HtmlData/downloads/us/products/multi/PA05_EN_datasheet_June_2012_US.pdf

12. SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
Q	Tepelná energie	J
m	Hmotnost	kg
c	Měrná tepelná kapacita	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
Δt	Změna teploty	$^{\circ}C$
T_H	Požadovaná teplota	$^{\circ}C$
T_C	Teplota zdroje	$^{\circ}C$
P	Výkon	W
τ	Čas	s
V	objem	l
ρ	Hustota	kg/m^3
U	Elektrické napětí	V
I	Elektrický proud	A
V_{OC}	Napětí naprázdno	V
U_{OC}	Napětí naprázdno	V
I_{SC}	Zkratový proud (proud nakrátko)	A
I_{MPP}	Elektrický proud při maximálním výkonu	A
I_{MP}	Elektrický proud při maximálním výkonu	A
U_{MPP}	Elektrické napětí při maximálním výkonu	V
V_{MPP}	Elektrické napětí při maximálním výkonu	V
V_{MP}	Elektrické napětí při maximálním výkonu	V
V_{MO}	Optimální provozní elektrické napětí	V
I_{MO}	Optimální provozní elektrický proud	A
V_{OUT}	Výstupní efektivní napětí regulátoru MPPT	V
P_{MAX}	Maximální výkon	W
P_P	Výkon jednoho panelu	W
R	Elektrický odpor	Ω
R_P	Elektrický odpor fotovoltaického panelu	Ω
U_P	Elektrické napětí na fotovoltaickém panelu	V
I_P	Elektrický proud tekoucí fotovoltaickým panelem	A
R_C	Elektrický odpor fotovoltaického systému	Ω
U_C	Elektrické napětí fotovoltaického systému	V
I_C	Elektrický proud tekoucí fotovoltaickým systémem	A
U_V	Elektrické napětí jedné větve	V
I_V	Elektrický proud protékající jednou větví	A

R_V	Elektrický odpor jedné větve	Ω
P_V	Výkon jedné větve	W
ρ	Rezistivita	$\Omega \cdot m$
l	Délka vodiče	m
S	Průřez vodiče	m^2
G	Intenzita záření	W/m^2
G_P	Průměrná intenzita záření	W/m^2
η	Účinnost	%
η_{FV}	Účinnost FV panelů	%
η_{KAB}	Účinnost kabelových výkonových rozvodů	%
η_{MPP}	Účinnost přesnosti určení bodu MPP	%
η_E	Elektrická konverzní účinnost regulátoru	%
η_{TOP}	Účinnost topného tělesa	%
a	Rozměr článku fotovoltaického panelu	mm
b	Rozměr článku fotovoltaického panelu	mm
ϵ_{TOP}	Topný faktor	-
AC	Střídavý elektrický proud	
DC	Stejnoseměrný elektrický proud	
MPP	Bod maximálního výkonu (Maximal power point)	
V_{MPPT}	Objem vody ohřátý systémem s MPPT regulací	m^3
$V_{odporova\ zatez}$	Objem vody ohřátý systémem s fixní odporovou zátěží	m^3

13. SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1: Hodnoty získané ze systému PVGIS
Příloha č. 2: Příklady výrobků komerčně dostupných typů FV panelů

Příloha č.1: Hodnoty získané ze systému PVGIS

The time shown is local solar time. To find GMT time, add -1.08 hours

G	Global irradiance on a fixed plane (W/m2)
Gd	Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m2)
Gc	Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m2)
DNI	Direct normal irradiance (W/m2)
DNlc	Clear-sky direct normal irradiance (W/m2)
A	Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)
Ad	Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)
Ac	Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)

Leden								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
08:07:00	40	26	111	36	205	59	21	254
08:22:00	58	35	171	50	281	83	31	364
08:37:00	76	45	240	62	353	105	40	461
08:52:00	92	52	299	73	414	122	46	534
09:07:00	107	59	355	82	465	137	51	595
09:22:00	121	65	408	90	508	150	56	647
09:37:00	133	70	458	96	545	161	60	689
09:52:00	145	75	503	101	575	170	64	725
10:07:00	155	79	544	106	600	178	67	755
10:22:00	164	82	580	109	621	185	70	779
10:37:00	172	85	611	112	639	191	72	800
10:52:00	178	88	638	115	652	196	74	816
11:07:00	184	90	659	117	663	199	76	828
11:22:00	188	91	675	118	671	202	77	837
11:37:00	190	92	686	119	676	204	78	843
11:52:00	191	92	691	120	679	204	78	846
12:07:00	191	92	691	120	679	204	78	846
12:22:00	190	92	686	119	676	204	78	843
12:37:00	188	91	675	118	671	202	77	837
12:52:00	184	90	659	117	663	199	76	828
13:07:00	178	88	638	115	652	196	74	816
13:22:00	172	85	611	112	639	191	72	800
13:37:00	164	82	580	109	621	185	70	779
13:52:00	155	79	544	106	600	178	67	755
14:07:00	145	75	503	101	575	170	64	725
14:22:00	133	70	458	96	545	161	60	689
14:37:00	121	65	408	90	508	150	56	647
14:52:00	107	59	355	82	465	137	51	595
15:07:00	92	52	299	73	414	122	46	534
15:22:00	76	45	240	62	353	105	40	461
15:37:00	58	35	171	50	281	83	31	364
15:52:00	40	26	111	36	205	59	21	254
16:07:00	15	15	14	0	0	8	6	7

únor								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
07:22:00	43	30	79	43	182	72	26	231
07:37:00	65	43	133	63	265	109	43	353
07:52:00	89	56	198	81	344	140	55	455
08:07:00	111	67	258	97	411	166	64	536
08:22:00	133	77	319	111	467	188	72	605
08:37:00	153	86	379	122	515	208	79	663
08:52:00	173	94	436	132	556	225	86	712
09:07:00	191	101	491	140	590	239	92	753
09:22:00	208	107	543	147	620	252	98	788
09:37:00	224	113	591	153	645	263	103	818
09:52:00	238	118	636	158	667	273	107	843
10:07:00	251	122	676	162	686	281	111	865
10:22:00	262	126	712	166	701	288	114	882
10:37:00	272	129	743	169	714	294	117	897
10:52:00	280	132	769	172	725	299	119	908
11:07:00	286	134	790	174	733	303	121	917
11:22:00	291	135	806	175	739	306	122	924
11:37:00	294	136	817	176	743	307	123	928
11:52:00	296	137	822	176	745	308	123	930
12:07:00	296	137	822	176	745	308	123	930
12:22:00	294	136	817	176	743	307	123	928
12:37:00	291	135	806	175	739	306	122	924
12:52:00	286	134	790	174	733	303	121	917
13:07:00	280	132	769	172	725	299	119	908
13:22:00	272	129	743	169	714	294	117	897
13:37:00	262	126	712	166	701	288	114	882
13:52:00	251	122	676	162	686	281	111	865
14:07:00	238	118	636	158	667	273	107	843
14:22:00	224	113	591	153	645	263	103	818
14:37:00	208	107	543	147	620	252	98	788
14:52:00	191	101	491	140	590	239	92	753
15:07:00	173	94	436	132	556	225	86	712
15:22:00	153	86	379	122	515	208	79	663
15:37:00	133	77	319	111	467	188	72	605
15:52:00	111	67	258	97	411	166	64	536
16:07:00	89	56	198	81	344	140	55	455
16:22:00	65	43	133	63	265	109	43	353
16:37:00	43	30	79	43	182	72	26	231
16:52:00	17	16	13	0	0	8	7	7

Březen								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
06:37:00	51	40	60	68	188	116	45	255
06:52:00	79	58	107	96	268	167	66	368
07:07:00	106	72	157	122	340	208	80	460
07:22:00	135	85	212	145	402	245	93	539
07:37:00	164	98	269	164	456	277	105	608
07:52:00	193	110	328	181	503	305	115	666
08:07:00	222	121	388	196	544	330	125	716
08:22:00	249	131	446	208	579	352	134	760
08:37:00	276	140	504	220	610	371	141	797
08:52:00	301	148	559	229	637	388	148	830
09:07:00	325	155	612	238	661	403	154	857
09:22:00	347	162	663	246	682	416	160	881
09:37:00	368	168	709	252	700	427	164	901
09:52:00	386	173	752	258	716	437	168	919
10:07:00	403	177	791	263	730	445	172	933
10:22:00	418	180	825	267	741	452	175	945
10:37:00	430	183	855	270	751	458	177	955
10:52:00	441	186	881	273	759	463	179	963
11:07:00	450	188	901	275	765	466	181	970
11:22:00	456	189	916	277	770	469	182	974
11:37:00	460	190	927	278	773	471	182	977
11:52:00	462	191	932	279	774	471	183	979
12:07:00	462	191	932	279	774	471	183	979
12:22:00	460	190	927	278	773	471	182	977
12:37:00	456	189	916	277	770	469	182	974
12:52:00	450	188	901	275	765	466	181	970
13:07:00	441	186	881	273	759	463	179	963
13:22:00	430	183	855	270	751	458	177	955
13:37:00	418	180	825	267	741	452	175	945
13:52:00	403	177	791	263	730	445	172	933
14:07:00	386	173	752	258	716	437	168	919
14:22:00	368	168	709	252	700	427	164	901
14:37:00	347	162	663	246	682	416	160	881
14:52:00	325	155	612	238	661	403	154	857
15:07:00	301	148	559	229	637	388	148	830
15:22:00	276	140	504	220	610	371	141	797
15:37:00	249	131	446	208	579	352	134	760
15:52:00	222	121	388	196	544	330	125	716
16:07:00	193	110	328	181	503	305	115	666
16:22:00	164	98	269	164	456	277	105	608
16:37:00	135	85	212	145	402	245	93	539
16:52:00	106	72	157	122	340	208	80	460
17:07:00	79	58	107	96	268	167	66	368
17:22:00	51	40	60	68	188	116	45	255
17:37:00	30	26	30	40	111	66	23	143

Duben								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNIc	A	Ad	Ac
05:37:00	36	35	26	0	0	133	46	215
05:52:00	50	48	36	124	242	206	78	334
06:07:00	76	62	68	163	318	265	96	430
06:22:00	105	76	109	197	384	317	112	515
06:37:00	137	90	156	227	442	362	126	588
06:52:00	172	104	208	253	493	402	139	651
07:07:00	208	116	263	276	538	437	151	706
07:22:00	244	129	320	296	577	468	161	754
07:37:00	280	140	379	314	612	495	170	796
07:52:00	316	150	438	330	642	519	177	832
08:07:00	352	160	496	344	670	541	184	863
08:22:00	386	168	554	356	694	559	190	890
08:37:00	419	176	609	367	716	575	195	914
08:52:00	450	183	663	377	735	589	199	934
09:07:00	479	189	714	386	752	601	203	951
09:22:00	507	194	761	394	767	611	206	966
09:37:00	532	199	806	400	780	620	208	978
09:52:00	555	203	847	406	792	628	210	989
10:07:00	576	206	884	411	802	634	211	998
10:22:00	594	209	916	416	810	639	212	1010
10:37:00	610	211	945	420	817	643	213	1010
10:52:00	623	213	969	423	823	647	214	1020
11:07:00	634	214	988	425	828	649	214	1020
11:22:00	642	215	1000	427	831	651	215	1020
11:37:00	647	216	1010	428	834	652	215	1020
11:52:00	650	216	1020	429	835	653	215	1020
12:07:00	650	216	1020	429	835	653	215	1020
12:22:00	647	216	1010	428	834	652	215	1020
12:37:00	642	215	1000	427	831	651	215	1020
12:52:00	634	214	988	425	828	649	214	1020
13:07:00	623	213	969	423	823	647	214	1020
13:22:00	610	211	945	420	817	643	213	1010
13:37:00	594	209	916	416	810	639	212	1010
13:52:00	576	206	884	411	802	634	211	998
14:07:00	555	203	847	406	792	628	210	989
14:22:00	532	199	806	400	780	620	208	978
14:37:00	507	194	761	394	767	611	206	966
14:52:00	479	189	714	386	752	601	203	951
15:07:00	450	183	663	377	735	589	199	934
15:22:00	419	176	609	367	716	575	195	914
15:37:00	386	168	554	356	694	559	190	890
15:52:00	352	160	496	344	670	541	184	863
16:07:00	316	150	438	330	642	519	177	832
16:22:00	280	140	379	314	612	495	170	796
16:37:00	244	129	320	296	577	468	161	754
16:52:00	208	116	263	276	538	437	151	706
17:07:00	172	104	208	253	493	402	139	651
17:22:00	137	90	156	227	442	362	126	588
17:37:00	105	76	109	197	384	317	112	515
17:52:00	76	62	68	163	318	265	96	430
18:07:00	50	48	36	124	242	206	78	334
18:22:00	36	35	26	0	0	133	46	215
18:37:00	22	21	16	0	0	70	21	113

Květen								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNIc	A	Ad	Ac
04:52:00	36	36	26	0	0	108	42	192
05:07:00	49	48	36	0	0	166	68	297
05:22:00	62	61	45	0	0	215	84	385
05:37:00	74	73	54	0	0	259	100	466
05:52:00	93	82	76	177	397	300	114	537
06:07:00	120	95	116	200	446	336	128	601
06:22:00	148	107	161	219	491	369	140	657
06:37:00	177	119	210	237	530	399	151	707
06:52:00	207	131	262	253	566	425	161	751
07:07:00	238	142	316	268	598	449	170	789
07:22:00	269	152	371	281	627	471	178	824
07:37:00	299	161	427	292	653	490	186	853
07:52:00	329	169	482	303	677	507	192	880
08:07:00	358	177	537	312	698	522	198	902
08:22:00	386	184	590	321	717	535	202	922
08:37:00	413	190	642	329	735	546	207	939
08:52:00	439	195	692	335	750	556	210	954
09:07:00	462	200	739	342	764	565	213	967
09:22:00	485	204	783	347	776	572	215	977
09:37:00	505	208	824	352	787	578	217	987
09:52:00	524	211	862	356	797	584	219	994
10:07:00	540	213	896	360	805	588	220	1000
10:22:00	555	215	926	363	812	591	221	1010
10:37:00	567	217	952	366	818	594	221	1010
10:52:00	578	218	974	368	823	596	222	1010
11:07:00	586	219	992	370	827	598	222	1020
11:22:00	593	220	1010	371	830	599	222	1020
11:37:00	597	220	1010	372	832	600	222	1020
11:52:00	599	221	1020	373	833	601	222	1020
12:07:00	599	221	1020	373	833	601	222	1020
12:22:00	597	220	1010	372	832	600	222	1020
12:37:00	593	220	1010	371	830	599	222	1020
12:52:00	586	219	992	370	827	598	222	1020
13:07:00	578	218	974	368	823	596	222	1010
13:22:00	567	217	952	366	818	594	221	1010
13:37:00	555	215	926	363	812	591	221	1010
13:52:00	540	213	896	360	805	588	220	1000
14:07:00	524	211	862	356	797	584	219	994
14:22:00	505	208	824	352	787	578	217	987
14:37:00	485	204	783	347	776	572	215	977
14:52:00	462	200	739	342	764	565	213	967
15:07:00	439	195	692	335	750	556	210	954
15:22:00	413	190	642	329	735	546	207	939
15:37:00	386	184	590	321	717	535	202	922
15:52:00	358	177	537	312	698	522	198	902
16:07:00	329	169	482	303	677	507	192	880
16:22:00	299	161	427	292	653	490	186	853
16:37:00	269	152	371	281	627	471	178	824
16:52:00	238	142	316	268	598	449	170	789
17:07:00	207	131	262	253	566	425	161	751
17:22:00	177	119	210	237	530	399	151	707
17:37:00	148	107	161	219	491	369	140	657
17:52:00	120	95	116	200	446	336	128	601
18:07:00	93	82	76	177	397	300	114	537
18:22:00	74	73	54	0	0	259	100	466
18:37:00	62	61	45	0	0	215	84	385
18:52:00	49	48	36	0	0	166	68	297
19:07:00	36	36	26	0	0	108	42	192
19:22:00	23	22	17	0	0	12	10	8

Červen								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNIc	A	Ad	Ac
04:22:00	30	30	22	0	0	73	29	128
04:37:00	43	43	32	0	0	121	52	214
04:52:00	56	55	41	0	0	168	71	300
05:07:00	69	68	51	0	0	211	87	379
05:22:00	81	80	60	0	0	251	103	451
05:37:00	92	88	62	163	373	288	117	517
05:52:00	115	100	98	182	418	322	131	576
06:07:00	141	113	138	200	460	354	143	630
06:22:00	168	125	182	217	497	382	155	678
06:37:00	196	136	230	232	531	408	166	721
06:52:00	225	147	280	245	562	432	175	760
07:07:00	253	157	331	258	591	454	184	794
07:22:00	282	167	383	269	616	473	192	824
07:37:00	311	176	436	279	640	490	200	851
07:52:00	338	184	489	288	661	506	206	875
08:07:00	365	191	541	297	681	520	212	895
08:22:00	391	198	591	304	698	532	217	913
08:37:00	416	204	640	311	714	543	221	929
08:52:00	440	209	687	318	728	552	224	942
09:07:00	462	213	731	323	741	560	227	953
09:22:00	482	217	773	328	753	567	230	963
09:37:00	501	221	812	333	763	572	232	971
09:52:00	518	224	848	337	772	577	233	978
10:07:00	534	226	880	340	780	581	234	984
10:22:00	547	228	909	343	787	585	235	988
10:37:00	559	229	933	346	793	587	236	992
10:52:00	569	231	954	348	797	589	236	995
11:07:00	576	232	971	349	801	591	237	997
11:22:00	582	232	984	350	804	592	237	999
11:37:00	586	233	992	351	806	593	237	1000
11:52:00	588	233	996	352	807	593	237	1000
12:07:00	588	233	996	352	807	593	237	1000
12:22:00	586	233	992	351	806	593	237	1000
12:37:00	582	232	984	350	804	592	237	999
12:52:00	576	232						

Srpen								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
05:22:00	35	35	29	0	0	116	43	194
05:37:00	48	47	39	0	0	176	67	295
05:52:00	64	59	54	138	273	228	84	383
06:07:00	89	72	88	168	333	275	99	462
06:22:00	117	85	129	195	387	317	114	533
06:37:00	147	98	175	220	435	355	127	595
06:52:00	178	110	224	241	478	389	138	650
07:07:00	211	121	277	260	516	420	149	698
07:22:00	244	132	331	278	550	447	158	741
07:37:00	277	142	386	293	581	471	166	778
07:52:00	310	151	442	307	608	493	174	811
08:07:00	342	160	497	320	633	512	180	840
08:22:00	373	168	551	331	655	529	186	865
08:37:00	403	175	604	341	675	543	191	887
08:52:00	432	181	654	350	693	556	195	905
09:07:00	459	186	702	358	709	568	199	922
09:22:00	484	191	747	365	723	577	201	935
09:37:00	507	195	789	371	735	585	204	947
09:52:00	529	199	828	377	746	592	206	957
10:07:00	548	202	863	382	756	598	207	965
10:22:00	564	205	894	386	764	603	208	972
10:37:00	579	207	920	389	771	607	209	978
10:52:00	591	208	943	392	777	610	210	982
11:07:00	601	210	961	394	781	613	210	985
11:22:00	608	210	975	396	784	615	211	988
11:37:00	613	211	984	397	787	616	211	990
11:52:00	616	211	989	398	788	616	211	990
12:07:00	616	211	989	398	788	616	211	990
12:22:00	613	211	984	397	787	616	211	990
12:37:00	608	210	975	396	784	615	211	988
12:52:00	601	210	961	394	781	613	210	985
13:07:00	591	208	943	392	777	610	210	982
13:22:00	579	207	920	389	771	607	209	978
13:37:00	564	205	894	386	764	603	208	972
13:52:00	548	202	863	382	756	598	207	965
14:07:00	529	199	828	377	746	592	206	957
14:22:00	507	195	789	371	735	585	204	947
14:37:00	484	191	747	365	723	577	201	935
14:52:00	459	186	702	358	709	568	199	922
15:07:00	432	181	654	350	693	556	195	905
15:22:00	403	175	604	341	675	543	191	887
15:37:00	373	168	551	331	655	529	186	865
15:52:00	342	160	497	320	633	512	180	840
16:07:00	310	151	442	307	608	493	174	811
16:22:00	277	142	386	293	581	471	166	778
16:37:00	244	132	331	278	550	447	158	741
16:52:00	211	121	277	260	516	420	149	698
17:07:00	178	110	224	241	478	389	138	650
17:22:00	147	98	175	220	435	355	127	595
17:37:00	117	85	129	195	387	317	114	533
17:52:00	89	72	88	168	333	275	99	462
18:07:00	64	59	54	138	273	228	84	383
18:22:00	48	47	39	0	0	176	67	295
18:37:00	35	35	29	0	0	116	43	194
18:52:00	22	22	18	0	0	62	21	103

Září								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
06:07:00	30	27	28	44	98	73	26	135
06:22:00	49	41	53	74	166	127	50	241
06:37:00	76	57	93	104	234	176	66	334
06:52:00	103	71	137	133	297	220	82	418
07:07:00	132	84	185	158	354	260	95	493
07:22:00	162	97	238	180	403	296	108	559
07:37:00	193	109	292	199	447	327	119	616
07:52:00	223	120	348	216	486	355	129	667
08:07:00	254	130	405	232	520	380	139	711
08:22:00	284	139	460	245	551	403	147	749
08:37:00	312	148	515	258	578	422	154	782
08:52:00	340	156	567	268	602	440	160	812
09:07:00	366	163	618	278	623	455	166	837
09:22:00	390	169	665	286	642	468	171	858
09:37:00	413	174	710	293	659	480	175	877
09:52:00	433	179	751	300	673	490	179	893
10:07:00	452	183	787	305	686	498	182	906
10:22:00	468	187	820	310	696	505	185	917
10:37:00	482	189	849	314	705	511	187	926
10:52:00	494	192	873	317	713	516	188	934
11:07:00	504	194	892	320	718	520	190	939
11:22:00	511	195	907	322	723	522	191	944
11:37:00	516	196	917	323	726	524	191	946
11:52:00	518	196	922	324	727	525	191	948
12:07:00	518	196	922	324	727	525	191	948
12:22:00	516	196	917	323	726	524	191	946
12:37:00	511	195	907	322	723	522	191	944
12:52:00	504	194	892	320	718	520	190	939
13:07:00	494	192	873	317	713	516	188	934
13:22:00	482	189	849	314	705	511	187	926
13:37:00	468	187	820	310	696	505	185	917
13:52:00	452	183	787	305	686	498	182	906
14:07:00	433	179	751	300	673	490	179	893
14:22:00	413	174	710	293	659	480	175	877
14:37:00	390	169	665	286	642	468	171	858
14:52:00	366	163	618	278	623	455	166	837
15:07:00	340	156	567	268	602	440	160	812
15:22:00	312	148	515	258	578	422	154	782
15:37:00	284	139	460	245	551	403	147	749
15:52:00	254	130	405	232	520	380	139	711
16:07:00	223	120	348	216	486	355	129	667
16:22:00	193	109	292	199	447	327	119	616
16:37:00	162	97	238	180	403	296	108	559
16:52:00	132	84	185	158	354	260	95	493
17:07:00	103	71	137	133	297	220	82	418
17:22:00	76	57	93	104	234	176	66	334
17:37:00	49	41	53	74	166	127	50	241
17:52:00	30	27	28	44	98	73	26	135
18:07:00	13	13	12	0	0	7	6	6

Říjen								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac
07:07:00	47	32	75	61	179	96	33	237
07:22:00	74	46	130	88	258	143	51	353
07:37:00	99	58	184	113	330	180	62	444
07:52:00	125	69	242	134	395	212	72	522
08:07:00	152	79	300	153	446	240	81	589
08:22:00	177	88	359	168	491	264	89	646
08:37:00	202	96	416	182	531	286	96	695
08:52:00	225	104	472	194	565	304	103	736
09:07:00	248	111	525	204	594	321	108	772
09:22:00	269	117	575	213	620	335	113	802
09:37:00	288	123	622	220	642	347	118	828
09:52:00	305	127	665	227	661	358	122	850
10:07:00	321	131	704	232	677	367	125	869
10:22:00	335	135	739	237	691	374	128	884
10:37:00	347	138	769	241	703	381	130	897
10:52:00	357	140	795	244	712	386	132	908
11:07:00	366	142	815	247	719	390	134	915
11:22:00	372	143	831	248	725	393	135	921
11:37:00	376	144	841	250	728	395	136	925
11:52:00	378	145	846	250	730	396	136	927
12:07:00	378	145	846	250	730	396	136	927
12:22:00	376	144	841	250	728	395	136	925
12:37:00	372	143	831	248	725	393	135	921
12:52:00	366	142	815	247	719	390	134	915
13:07:00	357	140	795	244	712	386	132	908
13:22:00	347	138	769	241	703	381	130	897
13:37:00	335	135	739	237	691	374	128	884
13:52:00	321	131	704	232	677	367	125	869
14:07:00	305	127	665	227	661	358	122	850
14:22:00	288	123	622	220	642	347	118	828
14:37:00	269	117	575	213	620	335	113	802
14:52:00	248	111	525	204	594	321	108	772
15:07:00	225	104	472	194	565	304	103	736
15:22:00	202	96	416	182	531	286	96	695
15:37:00	177	88	359	168	491	264	89	646
15:52:00	152	79	300	153	446	240	81	589
16:07:00	125	69	242	134	392	212	72	522
16:22:00	99	58	184	113	330	180	62	444
16:37:00	74	46	130	88	258	143	51	353
16:52:00	47	32	75	61	179	96	33	237
17:07:00	26	20	38	36	105	54	16	131

Listopad								
Time	G	Gd	Gc	DNI	DNlc	A	Ad	Ac

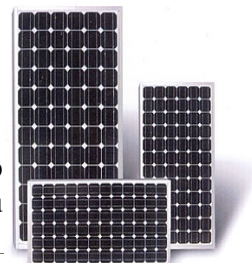
Příloha č.2: PŘÍKLADY VÝROBKŮ KOMERČNĚ DOSTUPNÝCH TYPŮ FV PANELŮ

I. I. Monokrystalické

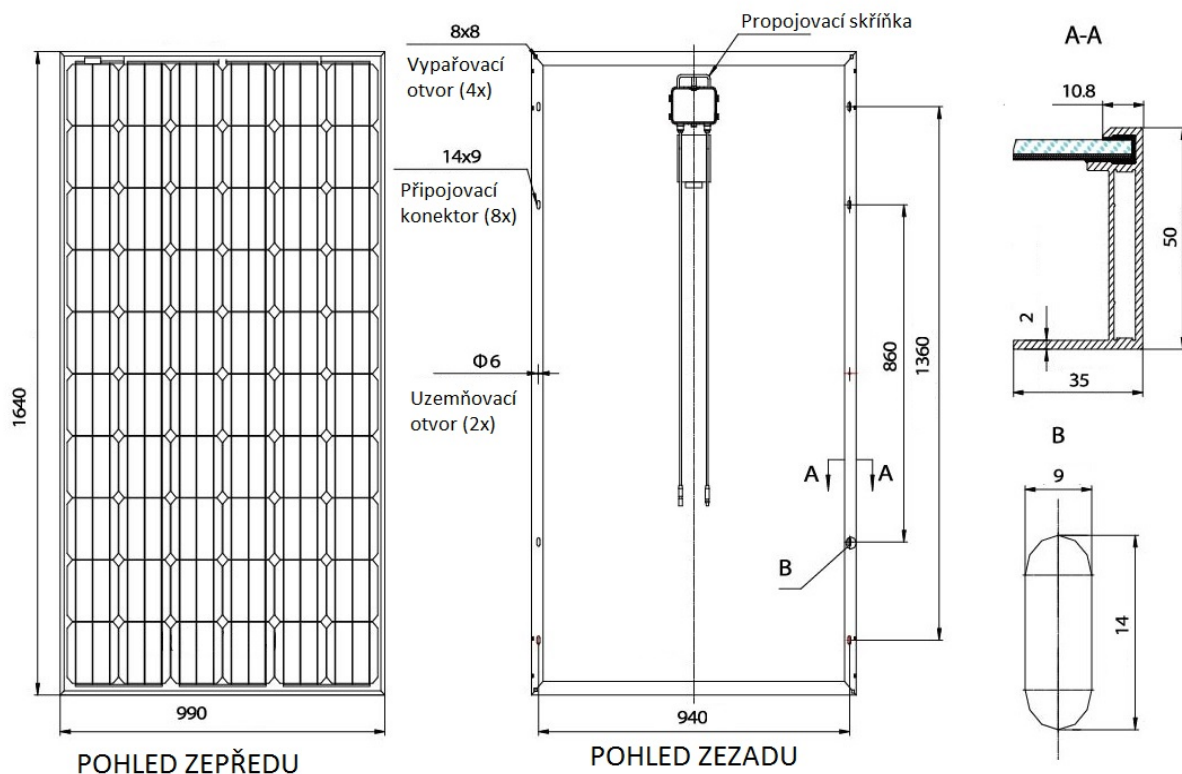
Jako příklad byl zvolen solární panel, který lze zakoupit např. na <http://www.solarliglass.cz/solarni-fotovoltaicke-panely-ceeg-produkty/19-solarni-panely-ceeg-sst-155-190w-mono.html>

CSUN CEEG SST 245/60 M [11]

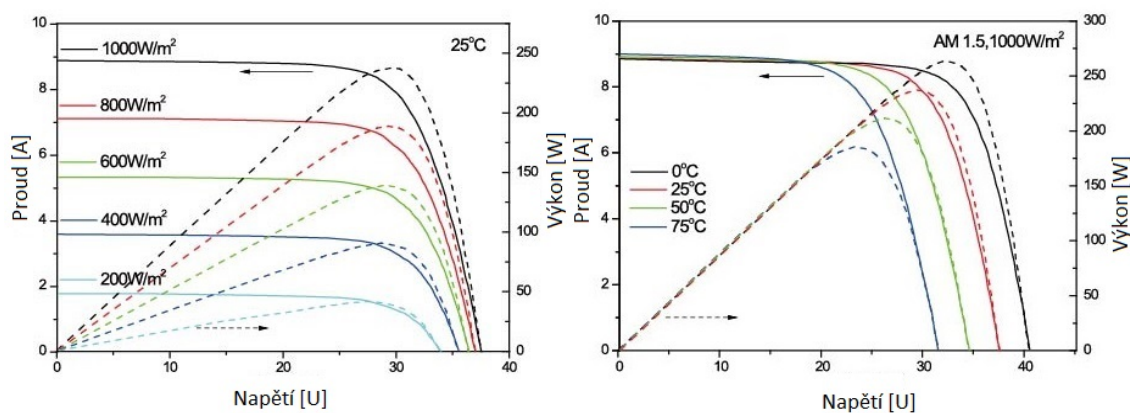
- složen ze 60 solárních článků
- záruka 25 let na výkon = některý modul s nominální silou nejméně 25 Wp ukáže sílu výkonu méně než 80% z minima nejvyššího výkonu uvedeného na záznamovém listu



Parametr	Hodnota
Max. výkon (P_m)	245 W
Napětí naprázdno (V_{oc})	37,2 V
Zkratový proud (I_{sc})	8,69 A
Optimální provozní napětí (V_{mp})	30,0 V
Optimální provozní proud (I_{mo})	8,17 A
Skutečná účinnost (%)	15,09
Maximální izolace systému [V]	1
Teplotní závislost napětí	-0,307 %/K
Teplotní závislost proudu	+0,039 %/K
Teplotní závislost výkonu	-0,423 %/K
Pojistka [A]	15
Články	6x10 ks monokrystalických solárních článků
Rozměr článku	156x156 mm
Propojovací skříňka	Se 6 bypass diodami
Konektor	MC3, MC4
Kabel	1 x 4 mm ² , délka 900 mm
Krycí sklo	Čiré, tvrzené bezpečnostní sklo síly 3,2 mm
Zapouzdření (utěsnění) článku	EVA (Etylen – Vinyl - Acetát)
Spodní strana	Kompozit
Rám, kostra	Profil z elektrolytického hliníku
Rozměr	1640 mm x 990 mm x 50 mm (d x š x v)
Váha	19,8 kg
Max. nosnost povrchu článku	Zkoušeno do 2400 Pa podle ČSN EN 61215, ed. 2
Odolnost povrchu proti nárazu	Dopad ledových krup o 25 mm rychlostí 23 m/s
Teplotní rozsah	- 40 °C až + 85 °C
Tab. 10.1. Technické parametry monokrystalického panelu CSUN CEEG SST 245/60 M [11]	



Obr. 10.2. Výkresová dokumentace solárního panelu CSUN245-60M [42] (přeloženo a upraveno)



Obr. 10.3. Zisk elektrického napětí a proudu při odlišných světelných podmínkách [42] (přeloženo)

I . II . Polykrystalické

Trina Solar TSM-PC05, 245 W [25] (obr. 10.4.)

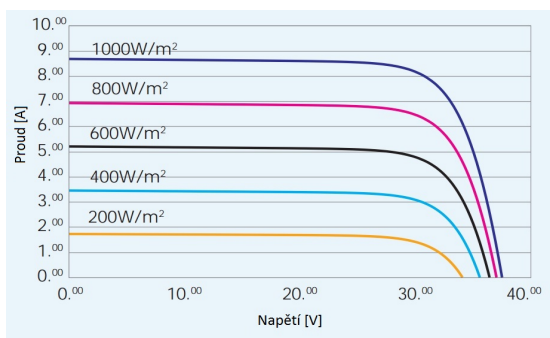


Obr. 10.4. Trina Solar TSM-PC05, 245 W

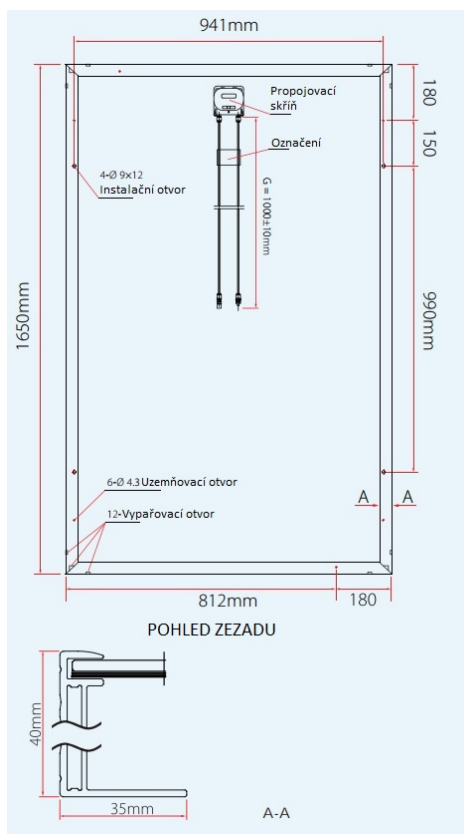
Parametr	Hodnota
Max. výkon (P_m)	245 W
Napětí naprázdno (V_{oc})	37,3 V
Zkratový proud (I_{sc})	8,47 A
Optimální provozní napětí (V_{mp})	30,7 V
Optimální provozní proud (I_{mo})	7,98 A
Skutečná účinnost (%)	15
Teplotní závislost napětí	-0,32 %/K
Teplotní závislost proudu	+0,047 %/K
Teplotní závislost výkonu	-0,43 %/K
Pojistka [A]	15
Články	6x10 ks monokrystalických solárních článků
Propojovací skříňka	IP 65*
Rozměr článku	156 x 156 mm
Konektor	MC4
Kabel	4 mm ² , délka 1000 mm
Krycí sklo	Vysoce propustné sklo síly 3,2 mm
Rám, kostra	Eloxovaná slitina hliníku
Rozměr	1650 mm x 992 mm x 40 mm (d x š x v)
Váha	19,5 kg
Max. nosnost povrchu článku	2400 Pa při zatížení sněhem 5400 Pa při zatížení větrem
Teplotní rozsah	- 40 °C až + 85 °C

Tab. 10.2. Technické parametry polykrystalického panelu Trina Solar TSM-PC05, 245 W [45]

*hodnocení IP = ('Ingress Protection') = Ochrana před vniknutím = udává třídu účinnosti utěsnění elektrických částí před cizími tělesy i před vlhkostí. První číslice znamená třídu ochrany před lidským zraněním pohyblivými částmi, a současně ochranu před vniknutím cizích těles dovnitř skříňe. Druhá číslice značí stupeň ochrany před vlhkostí v různých formách (kapky, spreje, ponoření do kapaliny). Značení IP 65 značí, že skříňka je utěsněna tak, že těsněním neprojde ani částice o velikosti prachu a těsnění chrání skříňku před slabým vodním proudem. [15]



Obr. 10.5. Zisk elektrického napětí a proudu v závislosti na intenzitě osvětlení [45] (přeloženo)

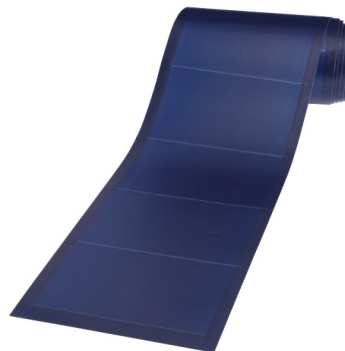


Obr. 10.4. Výkresová dokumentace solárního panelu Trina Solar TSM-PC05, 245 W [45]
(přeloženo a upraveno)

I. III. Tenkovrstvé

Solární fólii [09] (obr. 10.5.) lze zakoupit např. na <http://www.cetam.cz/index.php?page=fotovoltaicke-folie>

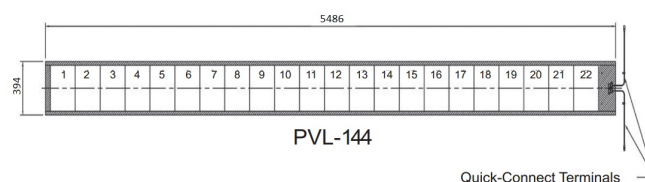
Uni – solar PVL – 144 [32]



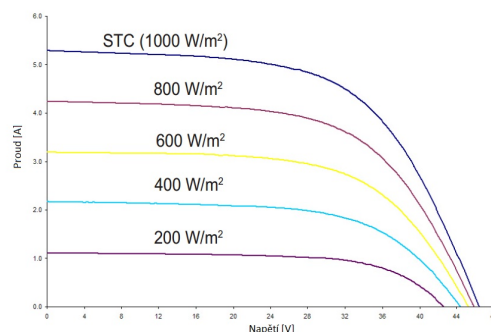
Obr. 10.6. Uni – solar PVL – 144

Parametr	Hodnota
Max. výkon (P_m)	144 W
Napětí naprázdno (V_{oc})	46,2 V
Zkratový proud (I_{sc})	5,3 A
Optimální provozní napětí (V_{mp})	33,0 V
Optimální provozní proud (I_{mo})	4,36 A
Skutečná účinnost (%)	
Maximální izolace systému [V]	1000
Teplotní závislost napětí	- 0,38 %/K
Teplotní závislost proudu	+ 0,10 %/K
Teplotní závislost výkonu	- 0,21 %/K
Pojistka [A]	8
Články	22 trojic amorfních křemíkových článků v sérii
Rozměr článku	356 x 239 mm
Konektor	Rychlospojka
Kabel	4 mm ² , délka 560 mm
Zapouzdření (utěsnění) článku	Polymer, odolný ETFE s vysokou propustností světla
Spodní strana	Laminát
Rám, kostra	Fólie, do které jsou zalaty elektrické přípojky
Rozměr	5486 mm x 394 mm x 16 mm (d x š x v)
Váha	7,7 kg
Teplotní rozsah	Max. 85 °C

Tab. 10.3. Technické parametry tenkovrstvého panelu Uni – solar PVL – 144 [32]



Obr. 10.7. Výkresová dokumentace tenkovrstvého panelu Uni – solar PVL – 144 [32]



Obr. 10.8. Závislost napětí a proudu na osvitových podmínkách