



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# OPTIMALIZACE NÁVRHU VELIKOSTI PV SYSTÉMŮ

OPTIMIZATION PROPOSAL OF SIZE OF PV SYSTEMS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Vrzal

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2016



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	<b>Bc. Martin Vrzal</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

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 diplomové práce:

## Optimalizace návrhu velikosti PV systémů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma práce je zaměřeno na oblast střešních fotovoltaických systémů. V rámci práce bude představen aktuální stav v oblasti PV systémů pro rodinné domy. Pozornost bude zaměřena na panely, el. výzbroj, bateriovou akumulaci, napájení spotřebičů a celkově na řízení dodávky elektřiny ze systému. Vlastní návrh PV systému s akumulací bude zpracován pro konkrétní dům, včetně detailního technicko-ekonomického vyhodnocení.

### Cíle diplomové práce:

1. Zpracovat stručnou rešerši odrážející aktuální stav v oboru PV techniky a možnostech akumulace el. energie pro RD.
2. Stanovit charakteristické průběhy potřeby el. energie v RD s ohledem na dodávku energií z jiných zdrojů (dostupnost/nedostupnost ZP).
3. Zpracovat metodiku návrhu optimální velikosti PV systému pro stanovený průběh potřeby el. energie.
4. Pro zvolený RD provést návrh PV systému s akumulací.

### Seznam literatury:

Jílek M.: Provozní parametry FV panelů pracujících v hybridních energetických systémech

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Obsahem diplomové práce je optimalizace návrhu velikosti PV systémů. Z výsledků optimalizace byly provedeny varianty řešení fotovoltaického systému pro rodinný dům. Na základě ekonomického zhodnocení investičních nákladů a získaných úspor za dodávku elektrické energie přímo do vlastní spotřeby, byla posouzena výhodnost a návratnost dané investice pro jednotlivé varianty řešení. Teoretická část obsahuje seznámení se s tematikou slunečního záření, strukturou a fungování fotovoltaických systémů, elektrickými střídači a akumulací elektrické energie. V praktické části jsou změřeny spotřeby elektrické energie v rodinném domě, výpočty intenzity slunečního záření dopadající na rodinný dům a provedeny různé varianty řešení fotovoltaické elektrárny umístěné na rodinném domě spolu s ekonomickou návratností investic. V závěru jsou shrnuty výsledky řešení variant podle ekonomického hlediska.

## **Klíčová slova**

Fotovoltaický systém, akumulace, spotřeba elektrické energie, měnič, optimalizace

## **Abstract**

The master thesis deals with proposal of size optimization of PV systems. According to results of optimization, alternative solutions of photovoltaic system were proposed for family house. From the perspective of costs efficiency were compared investment costs and savings of implementation of electricity supply directly to private consumption. Particularly for each of the proposed solution, profitability assessment of comparing purchasing costs and returns on investment was performed. Theoretical part of the master thesis consists of introduction into solar radiation principles, structure and functionality of photovoltaic systems, electronics inverters and accumulation of electric energy. The practical part is focused on measuring of electricity consumption in particular family house, calculation of sunlight intensity hitting tested house, making various solutions of photovoltaic power plants placed on the family house in order to evaluate returns on investments. In conclusion are summarized all results of investigated solutions according to economics aspects.

## **Key words**

Photovoltaic system, accumulation, electric energy consumption, inverter, optimization

---

## **Bibliografická citace**

VRZAL, M. *Optimalizace návrhu velikosti PV systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 77 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Optimalizace návrhu velikosti PV systémů* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 17. května 2016

.....

Bc. Martin Vrzal

---

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Petru Čaňkovi ze společnosti Renerga za vstřícné a odborné rady při vedení diplomové práce. V neposlední řadě bych také rád poděkoval mé rodině za podporu při mém dosavadním studiu a při zpracování této práce.

---

## Obsah

Úvod .....	11
<b>1. Slunce jako zdroj energie .....</b>	<b>12</b>
<b>2. Fotovoltaika .....</b>	<b>15</b>
2.1 Historie.....	15
2.2 Struktura a fungování solárního článku .....	15
2.3 Výroba solárních článků .....	17
2.4 Modul křemíkového solárního článku .....	18
2.5 Monokrystalické články.....	19
2.6 Polykrystalické články .....	19
2.7 Fotovoltaické články z tenkých vrstev.....	19
2.7.1 Amorfni křemíkové články (a-Si) .....	20
2.7.2 CIS články (Copper-Indium-diSelenid).....	21
2.7.3 Články na bázi teluridu kademnatého (CdTe).....	21
2.8 Fotovoltaické systémy .....	22
2.8.1 Ostrovní systémy (off-grid).....	22
2.8.2 Síťový systém (on-grid).....	23
<b>3. Elektronické střídače (invertory, měniče).....</b>	<b>24</b>
3.1 Ostrovní střídače .....	24
3.2 Síťové střídače .....	24
3.3 Účinnost střídačů .....	25
<b>4. Akumulace solární energie .....</b>	<b>26</b>
4.1 Akumulátory .....	26
4.1.1 Olověné akumulátory .....	26
4.1.2 Alkalické akumulátory .....	26
4.1.3 Lithium-iontové akumulátory.....	27
4.1.4 Na-S akumulátory.....	27
4.2 Průtokové baterie .....	27
4.3 Metal-air baterie.....	28
4.4 Superkondenzátor .....	28
4.5 Setrvačnick .....	29
4.6 Ukládání energie ve formě vodíku.....	30
<b>5. Legislativa .....</b>	<b>31</b>
5.1 Nová zelená úsporám.....	32
<b>6. Spotřeba elektrické energie v domácnostech.....</b>	<b>34</b>
6.1 Úsporné spotřebiče .....	34

---

6.2	Pohotovostní spotřeba (STANDBY).....	35
6.3	Vývoj celkové ceny elektřiny.....	37
6.4	Smart grid.....	38
<b>7.</b>	<b>Optimalizační návrh pro rodinný dům.....</b>	<b>39</b>
7.1	Měření spotřeby rodinného domu .....	39
7.1.1	Rozdělení elektrických spotřebičů do kategorií.....	40
7.2	Intenzity slunečního záření.....	43
7.2.1	Výpočet intenzity slunečního záření v měsíci červnu.....	49
7.3	Výpočet potřebné akumulace baterií a TUV .....	52
7.3.1	Návrh kapacity akumulátoru.....	52
7.3.2	Návrh ohřevu TUV .....	53
7.4	Optimalizační charakteristiky.....	54
7.4.1	Varianta 1, FVE bez akumulace .....	54
7.4.2	Varianta 2, FVE s akumulací do baterií.....	56
7.4.3	Varianta 3, FVE s akumulací do baterií a TUV .....	58
<b>8.</b>	<b>Ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>60</b>
8.1	Ekonomické zhodnocení FVE bez akumulace .....	60
8.1.1	Základní technické prvky FVE bez akumulace .....	60
8.1.2	Investiční náklady FVE bez akumulace.....	61
8.1.3	Přehled peněžní toků FVE bez akumulace .....	62
8.2	Ekonomické zhodnocení FVE s akumulací do baterií .....	63
8.2.1	Základní technické prvky FVE s akumulací do baterií.....	63
8.2.2	Investiční náklady FVE s akumulací do baterií .....	64
8.2.3	Přehled peněžní toků FVE s akumulací do baterií .....	65
8.3	Ekonomické zhodnocení FVE s akumulací do baterií a TUV .....	67
8.3.1	Základní technické prvky FVE s akumulací do baterií a TUV.....	67
8.3.2	Investiční náklady FVE s akumulací do baterií a TUV .....	68
8.3.3	Přehled peněžní toků FVE s akumulací do baterií a TUV .....	69
	<b>Závěr .....</b>	<b>71</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>72</b>
	<b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>	<b>75</b>

---

## Úvod

V dnešní době je stále více se zvyšujícím trendem hledat úspory při spotřebě elektrické energie v rodinných domech. Jednou z možností je využití energii z obnovitelných zdrojů. Největší úskalí výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů je jeho nestabilní a často méně účinná produkce. U fotovoltaických systémů je zisk elektrické energie převážně přes den, od zhruba 5. hodiny ranní až po 19. hodinu večerní podle ročního období. Tuto energii, ale nevyužijeme celou, jelikož spotřeba elektrické energie rodinného domu je od 30 do 40 % ze zisku z fotovoltaického systému. Následné přetoky výroby ze solárního systému přepouštíme do rozvodné sítě, kde narušují přenosovou soustavu a mohou způsobit v období velké koncentrace slunečního záření blackout. V době, kdy elektrickou energii potřebujeme nejvíce, tedy v nočních hodinách, nám žádný zisk neprodukuje. To vede k připojení ke stávajícímu fotovoltaického systému vedlejší systém pro přetoky elektrické energie. Nejčastěji se používá akumulace elektrické energie. Na trhu se vyskytují různé způsoby ukládání elektrické energie, mezi nejvíce užívané pro malé aplikace do výkonu 10 kWp se považují akumulátory, které pracují na chemickém principu. Pro jejich dobrou životnost, účinnost a vysokou hustotu energie. Mezi slibné nástupce se řadí průtokové baterie a metal-air baterie, kde je potřeba zvýšit hustotu energie s ekonomickou návratností připojením k fotovoltaickému systému. Pro větší aplikace ukládání elektrické energie je možnost využít akumulace kinetické energie v setrvačnicku nebo technologického zařízení pro ukládání energie ve formě vodíku.

Spotřeba celkové energie v domácnostech je složena ze tří základních potřeb a to na vytápění, ohřev vody a elektrické spotřebiče spolu s osvětlením. Domácí spotřebiče se na celkové spotřebě elektrické energie podílejí 20 % a jejich výsledná spotřeba pořád narůstá. Zvyšujícím se podílem energie na používání domácích spotřebičů vede rozvoj výstavby nových rodinných domů a velkých bytů. Také snižující se spotřeby energie potřebné pro vytápění skrz zpřísnující se normy pro tepelné vlastnosti nových nebo rekonstruovaných budov. Možností jak zvýšit úspory je použitím úsporných spotřebičů, které v sobě obsahují energetický štítek a jsou tak možným vodítkem výběru spotřebiče podle energetické účinnosti a jeho dalších parametrů. Další realizací úspory je koupi kvalitnějších spotřebičů, které pracují v pohotovostním režimu standby s minimální spotřebou v tomto režimu. Způsobem je také umožnit odpojení spotřebičů od elektrické sítě např. přes prodlužovací šňůru s vypínačem. V budoucnu můžeme očekávat příchod smart grid (chytrá síť), jedná se o vytvoření automatizovaného energetického řídicího systému, který co nejoptimálněji využívá vyrobenou elektrickou energii k přerozdělování spotřeb jednotlivých odběratelů v síti. To povede k integraci obnovitelných zdrojů energie, zefektivnění řízení spotřeby energie a ochraně životního prostředí.

## 1. Slunce jako zdroj energie

Slunce je naše nejbližší hvězda, nijak se však neliší od ostatních hvězd, které jsou ve vesmíru v hojném počtu. Vznik Slunce se datuje do období přibližně před 5 miliardami let z mlhoviny řídkých plynů a prachu. Postupem docházelo působením gravitační síly ke smršťování mlhoviny a jejímu zahřívání. Když teplota v centru hvězdy dosáhla  $10^7 K$ , začalo docházet k termojaderné fúzi jader vodíku a stala se jedním velkým přírodním termojaderným reaktorem.[1] Vybrané parametry Slunce jsou v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Vybrané parametry Slunce [1]

Veličina	Střední hodnota	Jednotka
Poloměr Slunce	$6,96 \cdot 10^8$	m
Hmotnost Slunce	$1,99 \cdot 10^{30}$	kg
Výkon Slunce	$3,91 \cdot 10^{26}$	W
Efektivní teplota fotosféry	5 800	K
Tíhové zrychlení na povrchu	274	$m \cdot s^{-2}$
Vzdálenost Země od Slunce	$1,49 \cdot 10^{11}$	m
Solární konstanta	1367	$W \cdot m^{-2}$

Slunce může i za další zdroje energie jako je biomasa, která se časem přeměnila na uhlí, zemní plyn, ropu za pomoci vysokých teplot a tlaků bez přívodu vzduchu v hloubkách pod povrchem země. Vodní energie je důsledkem odpaření hladin vod, především oceánů a jejich následné kondenzace ve vyšších nadmořských místech na pevnině. Vítr vzniká nerovnoměrným zahříváním povrchu země, kde bere svou kinetickou energii. Energie vyzářená sluncem dopadá na Zemi kontinuálně, ne však rovnoměrně. Její rozložení závisí na místě a času. Uvnitř slunce tedy probíhá termojaderné slučování jader vodíku a hélia, než se však tato energie dostane k povrchu Slunce, trvá to řádově stovky tisíc let, odtud se poté vyzáří ve formě elektromagnetického záření a nabitých částic.[1]

Sluneční záření je obnovitelný zdroj a přitom naprosto čistý, to je také důkazem jeho rostoucího zájmu z řad investorů velkých firem, ale i jednotlivců v dlouhodobém časovém horizontu. Na Zemi dopadá zhruba sluneční záření o výkonu  $1,8 \cdot 10^{17} W$  s mírnými výkyvy v závislosti na aktivitě Slunce a roční době. To je přibližně o 3 řády více než celé lidstvo spotřebuje. Této dopadající energie se však může využít jen malá část.[1]

Vztah pro vyzařování energie pro černé těleso:

$$M_e = \sigma \cdot T^4 \approx 6,42 \cdot 10^7 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1.1)$$

kde:

$$\sigma - \text{Stefan – Boltzmannova konstanta} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$$

$$T - \text{Teplota na povrchu Slunce} \quad [K]$$

Výkon přenášený zářením z povrchu Slunce:

$$P_s = M_e \cdot 4 \cdot \pi \cdot r_s^2 \approx 3,91 \cdot 10^{26} \quad [W] \quad (1.2)$$

kde:

$$r_s - \text{poloměr Slunce} \quad [m]$$

Pouze část výkonu přenášeného zářením z povrchu Slunce dopadá na Zemi:

$$\Delta P_S = \frac{\pi \cdot r_Z^2}{4 \cdot \pi \cdot R_{SZ}^2} \cdot P_S \approx 1,79 \cdot 10^{17} \quad [\text{W}] \quad (1.3)$$

kde:

$$r_Z - \text{poloměr Země} \quad [\text{m}]$$

$$R_{SZ} - \text{střední vzdálenost Země od Slunce} \quad [\text{m}]$$

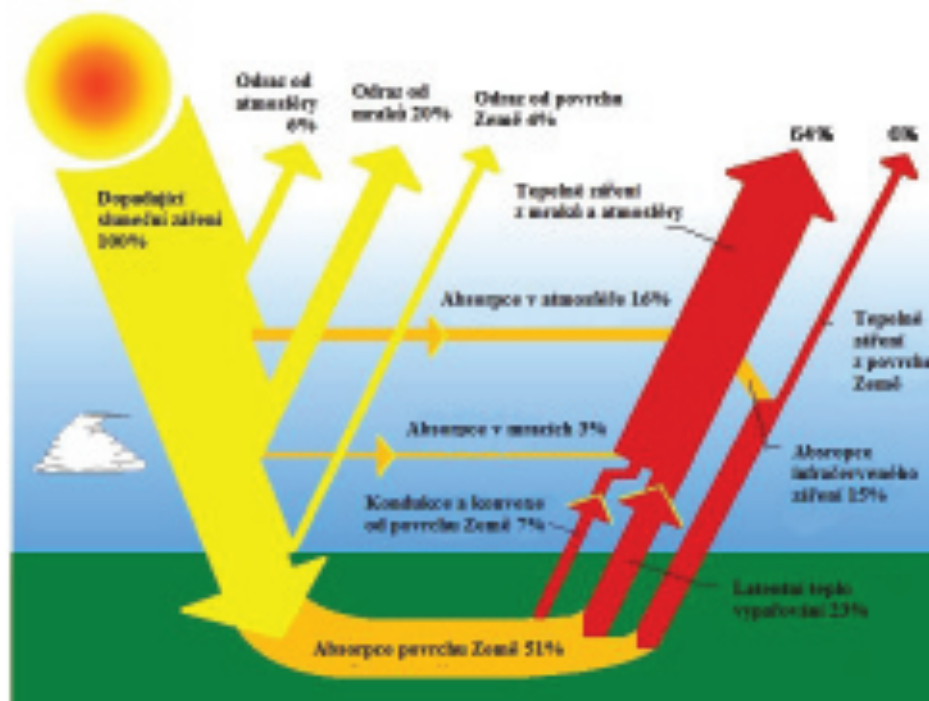
Střední hodnota energie slunečního záření dopadající za jeden den na Zemi:

$$W_Z = \Delta P_S \cdot t \approx 1,79 \cdot 10^{17} \cdot 86400 = 1,55 \cdot 10^{22} \quad [\text{J}] \quad (1.4)$$

Střední intenzita dopadající na jednotku plochy Země:

$$I_0 = \frac{\Delta P_S}{\pi \cdot r_Z^2} \approx 1367 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1.5)$$

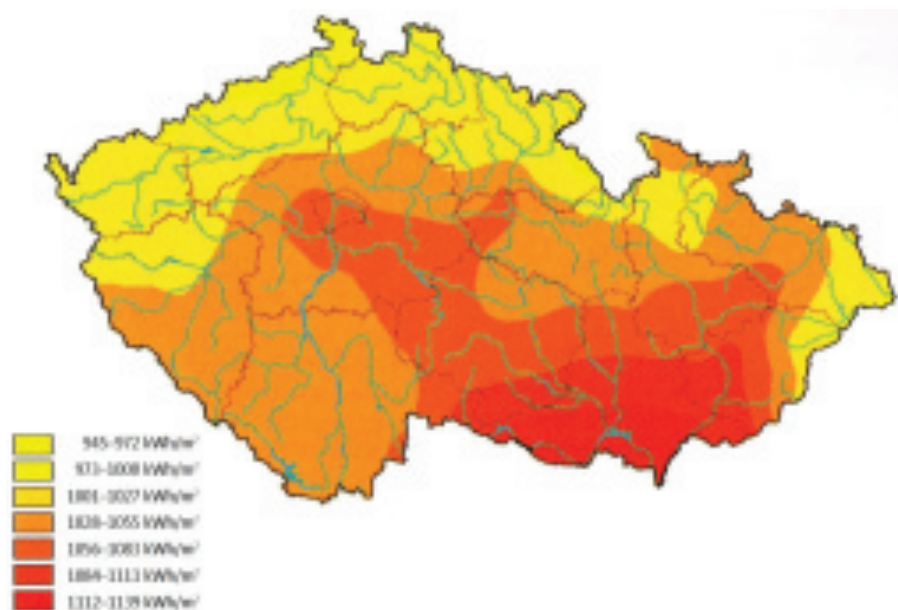
Střední intenzita dopadajícího slunečního záření je měřena nad zemskou atmosférou a nazývá se solární konstanta. Energie, která dopadne na Zemi je menší o hodnotu odraženou od atmosféry a část pohlcenou atmosférou. Maximální intenzita záření dopadající na zemský povrch je  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Tuto energii lze poté přeměnit na tepelnou ve fototermických kolektorech nebo na elektrickou ve fotovoltaických panelech. Jednotlivé hodnoty velikosti intenzity záření se liší v závislosti na místě dopadu, meteorologických podmínkách a denní či roční době.[1]



Obr. 1.1 Bilance energie dopadající na Zemi [2]

Dopadající sluneční záření na Zemi je složeno z difúzního záření a přímého záření. Při jasném počasí dochází k přímému záření bez vychylování ze směru Slunce. K difúznímu záření dochází při zatažené obloze, kde sluneční světlo prochází vrstvou mraků, mlhy, ale i ozonovou prachovou vrstvou. Poté je záření filtrováno a vychylováno a dochází k menší intenzitě záření než za přímého záření. Zařízení pro výrobu elektřiny ze solárního záření využívají oba dva typy záření.[3]

Sluneční výkon se zmenšuje, jakmile začíná procházet zemskou atmosférou, z důvodu odražení, pohlcení a rozptýlení molekul vzduchu, vodních kapek a aerosolů. Pro stanovení jmenovitých výkonů modulů se používá v praxi pravidlo, že z 1kW instalovaného výkonu lze za rok získat 800 až 1100 kWh elektrické energie.[3]



Obr. 1.2 Průměrné roční hodnoty slunečního svitu v České republice v kWh/m<sup>2</sup> [4]

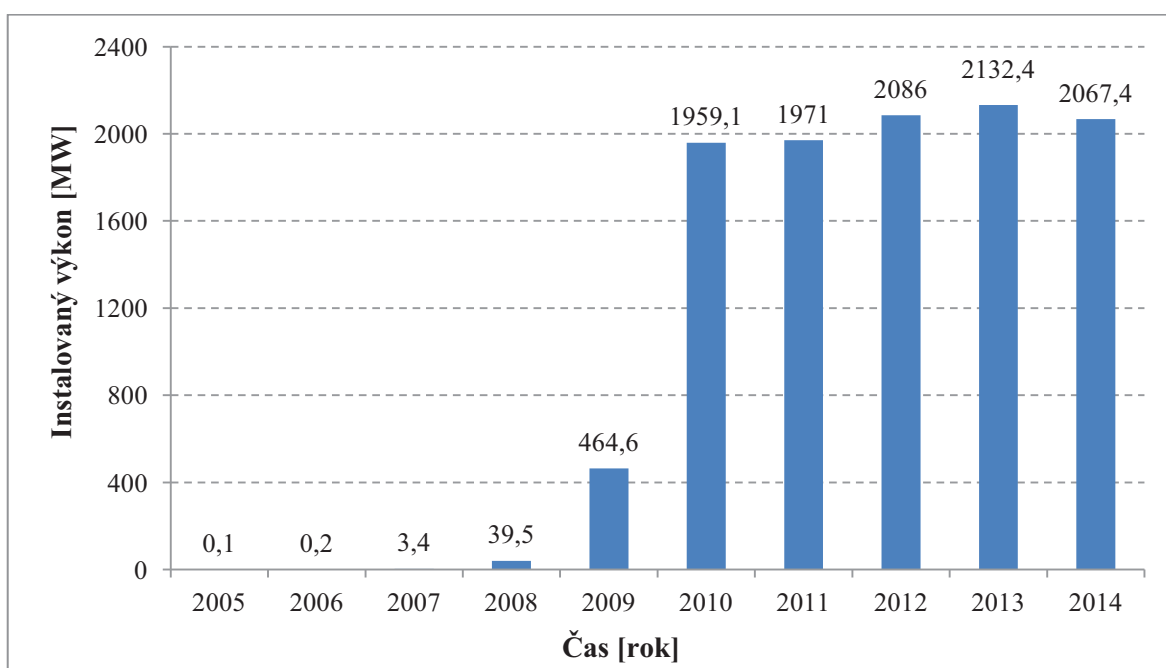
Mapa České republiky na obr. 1.2 charakterizuje průměrné roční hodnoty slunečního svitu dopadající na povrch Země, vynesené izokřivky jsou skloněny k jihu pod úhlem odpovídající zeměpisné šířce. Hodnoty, kde mohou nejvíce přeměnit dopadající sluneční záření je v oblasti jižní Moravy, naopak nejméně výtěžnosti je v oblasti hor především v severních Čechách, kde nastává větší pravděpodobnost horšího počasí a mlhy.[1]

Ze světového geografického hlediska můžeme určit, že nejvíce dopadající solární energie je v oblastech pouští např. Arizona (USA), Sahara (Afrika), Tibet, kde jsou hodnoty až dvakrát větší než v České republice.[1]

## 2. Fotovoltaika

### 2.1 Historie

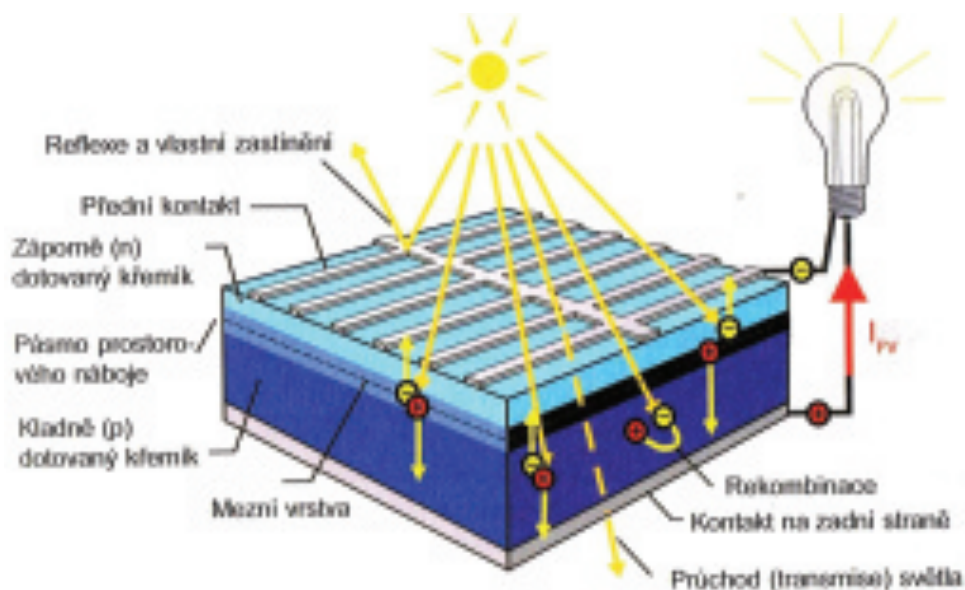
V roce 1839 mladý fyzik Alexandr Edmond Becquerel objevil náhodným způsobem, že při osvětlení kovových elektrod ponořených v elektrolytu, začne mezi nimi procházet malý proud. O necelých 40 let později, vědci Adams a Day, vytvořili první fotovoltaický článek s použitím selenu. V této době ještě nechápali fyzikální jev vzniku napětí po dopadu světla u některých materiálů. To se změnilo až s příchodem německého fyzika Alberta Einsteina, který popsal tento jev, nazvaný fotoefekt, za který dostal roku 1921 Nobelovu cenu. Křemíkový fotovoltaický článek si nechal, jako první patentovat v roce 1946 Russell S. Ohl v USA. Významný impuls nastal až s využitím fotovoltaických článků jako zdroj energie na umělých družicích po roce 1957.[5] V grafu 2.1 je vývoj instalovaného výkonu ve fotovoltaických elektrárnách v České republice.



Graf. 2.1 Vývoj instalovaného výkonu ve fotovoltaických elektrárnách v ČR [6]

### 2.2 Struktura a fungování solárního článku

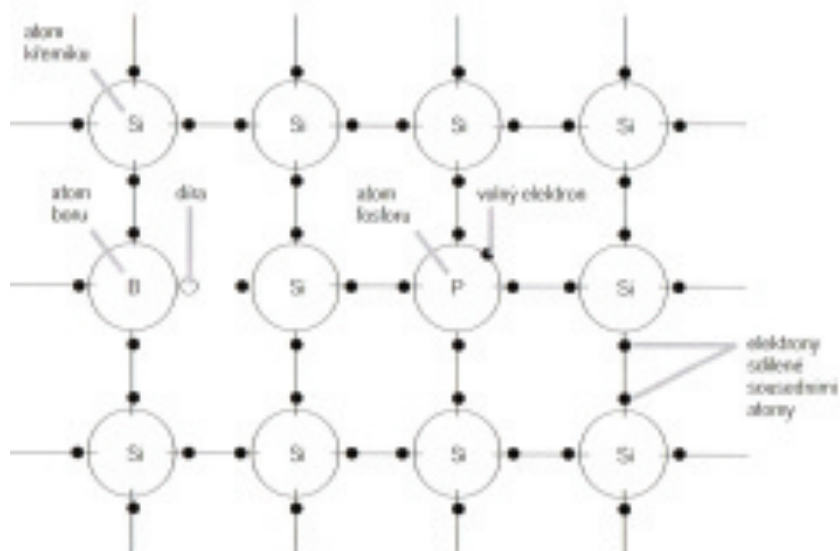
Základní složení klasického krystalického fotovoltaického článku je ze dvou rozdílně dotovaných křemíkových vrstev. Strana blíže dopadajícímu slunečnímu záření je záporně dotovaná fosforem, vrstva pod ní je kladně dotovaná bórem. Pro možnost odebírat proud ze solárního článku jsou zde umístěny na přední a zadní straně kovové elektrody jako kontakty. Umístění kontaktů na přední straně článku je vytvořeno pomocí tenké mřížky, aby se zamezilo co největší zakryté ploše a docházelo k propouštění světla. Na zadní straně jsou kontakty umístěny do celoplošné vrstvy pomocí hliníkové nebo stříbrné pasty. Metodou pro umístění vrstev se používá síťotisková technika, kdy principem je protlačování lepící pasty přes šablonu na průtiskový materiál.[3]



Obr. 2.1 Konstrukce a přeměna v krystalickém křemíkovém solárním článku [3]

K přeměně energie slunečního záření v energii elektrického proudu, jsou potřeba dvou základních věcí volné elektrony a elektrické pole, které umožní pohyb směrem ze zdroje do spotřebiče. Při dopadajícím slunečním záření na povrch kovu, dochází k uvolňování elektronů z jeho povrchu. Pokud je energie záření dostatečná, tak z povrchu kovu vylétne elektron a zanechá po sobě kladný náboj (díra), tomuto projevu se říká fotoelektrický jev. Pokud však nastane, že elektron zůstane v kovu, je pak velmi rychle přitážen zpátky do díry, která po něm zbyla a jeho energie se uvolní jako neúčinné teplo. Proto je nutné od sebe oddělit elektrony a díry, předtím než zapadnou elektrony zpátky do díry, nechat je projít elektrickým obvodem, aby mohly vydat svou energii ze slunečního záření do užitečné práce v našem spotřebiči.[3]

Oddělení elektronů a díry se nejlépe realizuje v polovodičích než v kovech. Aby mohlo docházet k tomuto oddělení elektronů z děr, je zapotřebí vytvořit v polovodiči p-n přechod. Nejčastějším materiálem pro polovodiče se používá křemík. Tuhý křemík je tvořen mřížkou atomů křemíku, které jsou navzájem spojeny kovalentními vazbami a na rozdíl od kovů nemají žádné volné elektrony. K uvolnění elektronů v křemíkové vazbě stačí malé množství energie. Při pokojové teplotě má malé množství elektronů dostatečnou energii, aby se uvolnily z vazeb a dostaly se do neobsazeného vodivostního pásu, proto také křemík vede v malé míře elektrický proud. Se zvyšováním teploty se stává křemík více vodivý. Vodivost křemíku se výrazně mění přidáním příměsí. Nejčastěji se přidává fosfor nebo bór. Dopování křemíku fosforem, který tvoří 5 elektronů ve valenční sféře, vzniká polovodič typu n s nadbytečnými elektrony a analogicky dopování křemíku bórem, který tvoří 3 elektrony, vznikne polovodič typu p s nadbytečnými dírami. Při spojení obou typů polovodičů, dojde v místě jejich dotyku ke vzniku tenoučké vrstvy, která se nazývá p-n přechod. Snahou vyrovnat koncentrace, dochází k difundování elektronů do části p a děr do části n.[5]



Obr. 2.2 Schematické znázornění struktury polovodiče [5]

### 2.3 Výroba solárních článků

Pro výrobu solárních článků se používá křemík, který se vyskytuje v přírodě vázaný ve sloučeninách ve formě křemičitého písku, v horninách obsahujících křemík nebo jako kyselina křemičitá, rozpuštěná ve světových mořích. Nejčastěji se získává čistý křemík z křemičitého písku. Abychom mohli získat z oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ) čistý křemík, musí se z křemene odstranit, což se provádí za vysokých teplot kolem  $2000\text{ }^\circ\text{C}$  při redukci v obloukové peci. Výsledný surový křemík má čistotu 98–99 %. Pro zvýšení čistoty se dále surový křemík rafinuje pomocí technologie od firmy Siemens, při níž je rozpuštěn ve chlorovodíkové kyselině a transformován na trichlorsilan ( $\text{HSiCl}_3$ ), který se poté destiluje. Za vysokých teplot  $1000\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$  se křemík odděluje a vytváří krystalické tyče. Takto vytvořený polykrystalický křemík je již použitelný pro výrobu solárních článků o čistotě 99,99 %.[4]



Obr. 2.3 Polykrystalický křemík pro fotovoltaické články. Vlevo surový křemík, uprostřed křemíkové bloky, vpravo křemíkové wafery [7]

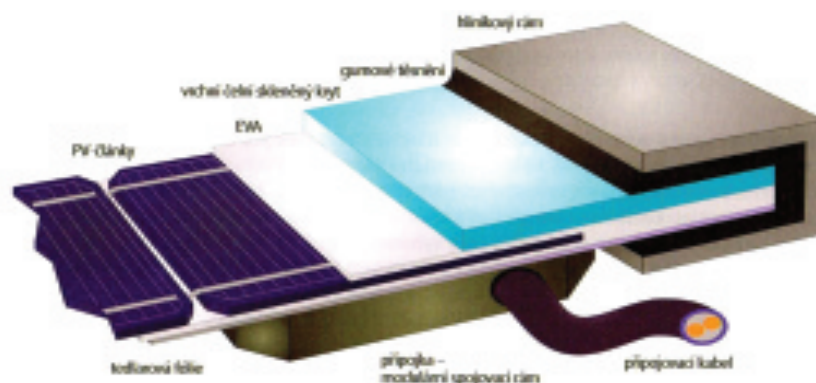
Pro výrobu monokrystalického křemíku se používá metoda tažení z kelímku podle Czochralskiho. Zárodek monokrystalu je uchycen na tyč a ta se následně ponoří do kelímku s roztaveným křemíkem. Ten se pomalu za protichůdného otočného pohybu kelímku a tyče s monokrystalem vytahuje. Křemík získává strukturu díky monokrystalu, na který je ukládán tekutý křemík, krystaly se orientují do jednoho směru. Výsledkem tohoto procesu je kruhová tyč o délce 1 m s průměrem až 100 mm, která je na koncích zúžená. Nečistoty a příměsi se vrací zpátky do kelímku. Výsledný monokrystalický polovodičový křemík dosahuje čistoty 99,9999 %.[4]

Dalším technologickým postupem je řezání dlouhé křemíkové tyče na tenké plátky. Tyto plátky měly v minulosti tloušťku 0,3–0,4 mm. Dnešní technologie výroby křemíkových plátek má tloušťku 0,2 mm. Je to především z důvodu ušetření nákladů na materiál při jejich výrobě. Hotové plátky se dotují či legují příměsími ve formě plynu, tak vznikne n-vrstva a p-vrstva. Na jednotlivé plátky se nanáší tenká transparentní antireflexní vrstva z nitridu křemíku o tloušťce miliontin milimetru. Tato vrstva je zde z důvodu snížení ztráty reflexí stříbrtější šedého křemíku na vrchní straně solárního článku a její menší schopnosti odrazit světlo. Naposledy se nanášejí přední a zadní kontakty pomocí technologie sítotisku.[4]

## 2.4 Modul křemíkového solárního článku

Křemíkové solární články se mohou vyrobit v různých tvarech, nejčastěji se však používají čtvercové. V dnešní době se používá délka hrany solárního článku 6 palců, což je přibližně 15 cm. Výhodou použití větších rozměrů je méně zpracovatelských úkonů při sestavování modulu, ale roste riziko popraskání při manipulaci. Výstupní proud solárních článků stoupá s jeho velikostí, zatímco jeho napětí zůstává konstantní a činí 0,6–0,7 V. Pro použití do praxe je nutné zvýšit výrazně jeho napětí. To se děje zapojením velkého množství článků do solárních modulů sériově. Aby bylo možné dobíjet 12 V baterii, musí se zapojit 32 až 40 článků. Pro napájení sítě přes měnič se požaduje ještě vyšší napětí, proto se vyrábějí moduly ještě s větším počtem článků.[4]

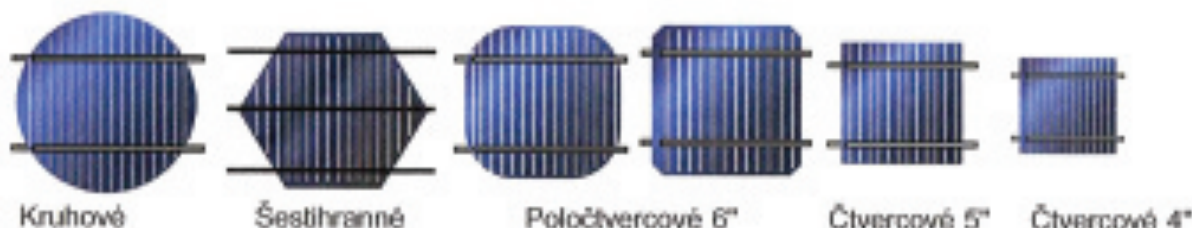
Pro ochranu solárních článků před rozbitím, korodováním vlivem vlhkosti se umísťují do krytu. Jedná se o ukládání do speciálního plastu mezi vrchní skleněný kryt a plastovou fólii na zadní straně. Jako plastovou vrstvu se používají dvě tenké fólie z ethylene-vinyl-acetate (EVA). Spojení obou ochranných vrstev se děje za teploty okolo 100 °C, takto vytvořený laminát slouží především k ochraně proti povětrnostním podmínkám a vlhkosti. Propojení článků se provádí v modulárním spojovacím rámu. Při poškození jednotlivých článků se používají bypassové diody k přemostění poškozených článků, které jsou integrovány do modulárních článků.[4]



Obr. 2.4 Základní konstrukce fotovoltaického modulu [4]

## 2.5 Monokrystalické články

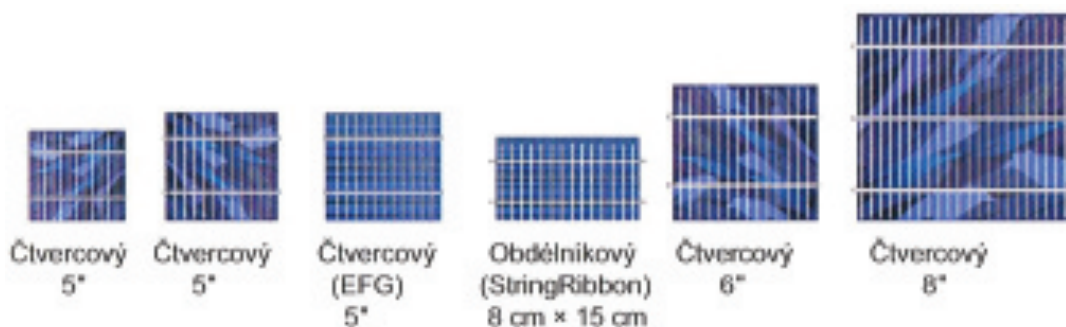
Monokrystalické články jak už z názvu vyplývá, se skládají z jediného krystalu, jehož barva povrchu článků je homogenně tmavomodrá až černá. Jejich elektrická kvalita je velmi vysoká. Nejvýkonnější monokrystalické články dosahují účinnosti přes 21%, průměrná účinnost se pohybuje od 15 do 17 %. Tvar jednotlivých článků je určen výrobním procesem. Nejčastěji se vyrábí čtvercové, kruhové, šestihranné. Mohou se také vyskytnout moduly se zaoblenými články, ty se vyskytují spíše vzácně, kvůli jejich nižší účinnosti oproti ostatním formátům. Jejich využití najdeme v možnosti lépe zakomponovat moduly do integrace budov, u kterých je kladen důraz spíše na vzhledové působení.[3]



Obr. 2.5 Tvary monokrystalických článků [3]

## 2.6 Polykrystalické články

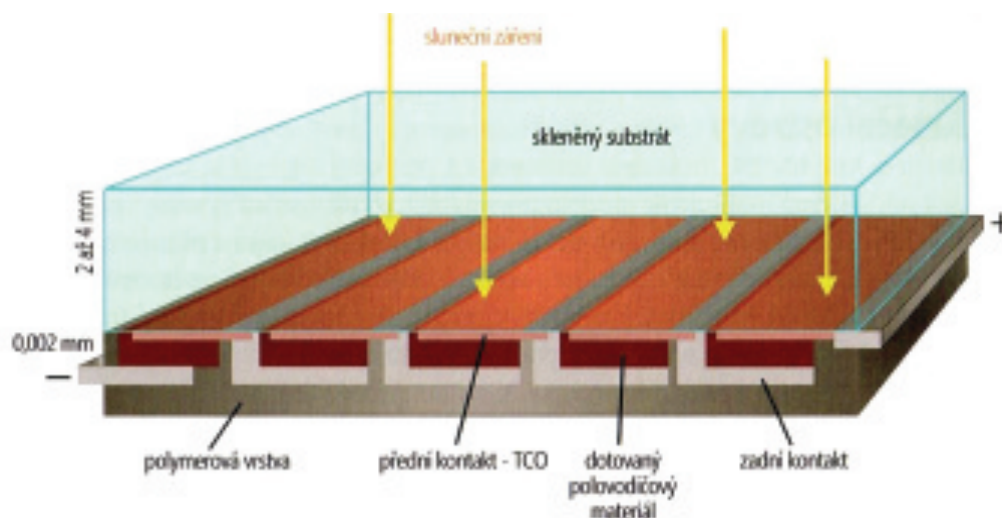
Jedná se o mnohokrystalové články, které se rozpoznají díky modře se třpytící krystalové struktuře. Účinnost se obvykle pohybuje v rozmezí 13 až 16 %. Nejčastější tvary polykrystalických článků jsou čtvercové, mohou být také obdélníkové. Náklady na výrobu polykrystalických článků oproti monokrystalickým článkům jsou levnější a metoda zhotovení podstatně jednodušší.[3]



Obr. 2.6 Tvary polykrystalických článků [3]

## 2.7 Fotovoltaické články z tenkých vrstev

Technologická výroba článků z tenkých vrstev se nijak vzájemně neliší od výroby krystalických článků, jejich největší rozdíl je v tloušťce. U krystalických článků se pohybuje tloušťka v řádu desetin milimetru, u článků z tenkých vrstev se už nacházíme v řádu tisícín milimetru, a to přináší výraznou úsporu materiálu na jejich výrobu. Materiál se používá různého typu jako amorfni křemík (a-Si), telurid kadmia (CdTe) nebo selenid mědi a india (CIS).[4]



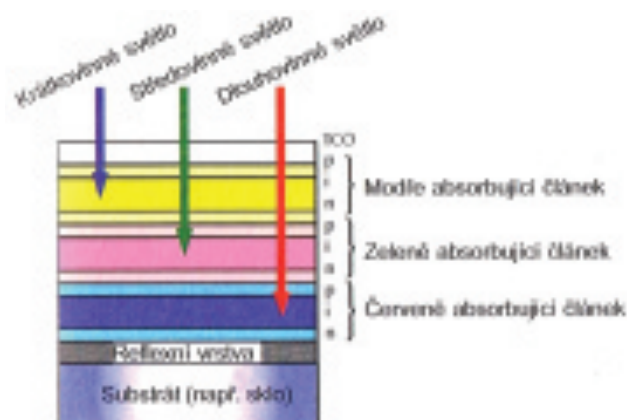
Obr. 2.7 Průřez fotovoltaického modulu na bázi tenkých vrstev [4]

Nosná plocha fotovoltaických článků z tenkých vrstev se vyrábí většinou ze skla. Pokud se použije místo skla polymer, lze tyto články vyrábět jako pružné a ohebné moduly. Na nosnou plochu se nanese nástřikem vodivá transparentní vrstva TCO (Transparent Conductive Oxide). Poté se tyto vrstvy rozdělí na pásy pomocí laseru nebo mikrofrézy, kde se vytvoří jednotlivé články solárního modulu. Stejně jako u krystalických článků se spojí sériově, aby došlo ke zvýšení elektrického napětí.[4]

Následně se napařují při vysokých teplotách polovodiče a dotující příměsi, avšak při procesu napařování křemíku jako polovodiče se ztrácí původní krystalická struktura, jedná se o tzv. amorfni křemík. Na zadní stranu fotovoltaického modulu se nanáší technologií sítotisku kontaktní materiál, převážně se používá hliník. Za účelem ochrany před vlhkostí se zespodu utěsňuje vrstvou polymeru.[4]

### 2.7.1 Amorfni křemíkové články (a-Si)

Osvědčeným materiálem tenkovrstvé technologie je amorfni křemík. Jeho struktura není tvořena pravidelnou krystalickou sítí, ale neuspořádanou sítí. Vzniká při výrobě chemickým odlučováním při teplotách 200 °C z plynného silanu. Nevýhodou amorfni křemíkových článků je jejich malá účinnost, která během prvních šesti až dvanácti měsíců dokonce ještě klesá (Staeblerův-Wronského jev), a to z důvodu stárnutí vyvolaného světlem, poté se však udržuje na nezměněné hodnotě. Z tohoto důvodu jsou dodávány moduly s vyšším výkonem (zhruba o 15 %) než je jmenovitý výkon. Zvýšení účinnosti se dosahuje ve vývoji vícevrstevných článků, označují se také jako tandemové a používají se u nich dvě nebo tři nad sebou umístěné struktury pin.[3]



Obr. 2.8 Struktura vrstev amorfního třívrstvého článku [3]

### 2.7.2 CIS články (Copper-Indium-diSelenid)

V dnešní době dosahují články CIS nejvyšší účinnosti u tenkovrstvých technologií. Vyznačují se tmavošedou až černou barvou. Proces výroby nosného skla se provádí při teplotě 500 °C ve vakuové komoře, kde se potáhne tenkou kontaktní vrstvou, na kterou se nanese absorpční vrstva CIS. Výhodou modulů CIS je, že nepodléhají oproti amorfním křemíkovým článkům procesu stárnutí vyvolané světlem. Nevýhodou je jejich zvýšená náchylnost na stabilitu v horkém a vlhkém prostředí. Proto se u nich dbá na zvýšení zapouzdření proti vlhkosti.[3]

### 2.7.3 Články na bázi teluridu kademnatého (CdTe)

Články CdTe charakterizuje lesknoucí tmavozelená až černá barva. Výroba probíhá vakuovou metodou při 700 °C vylučováním polovodičových vrstev. Účinnost dosahují vyšší než je u amorfních křemíkových článků, ale nižší než u CIS článků. Pokud se podaří v budoucnu zvýšit jejich výkonnost, můžeme očekávat vzhledem k nižší spotřebě materiálu jejich větší rozšíření. Kromě této technologie jsou ve slibném stádiu ještě články z barviv anebo organické sluneční články.[3] Srovnání účinností různých materiálů fotovoltaických modulů je v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Účinnost různých materiálů fotovoltaických článků[4]

Materiál článku	Maximální laboratorní účinnost	Maximální provozní účinnost sériového článku	Typická modulární účinnost článku	Plocha potřebná na 1 kW
	[%]	[%]	[%]	[m <sup>2</sup> ]
Monokrystalický křemík	24,7	21,5	15	6,7
Polykrystalický křemík	18,5	15	14	7,2
Amorfni křemík	12,7	8	6	16,7
CIS /n CIGS	19,5	11	10	10,0
CdTe	16,5	10	7	14,3

## 2.8 Fotovoltaické systémy

### 2.8.1 Ostrovní systémy (off-grid)

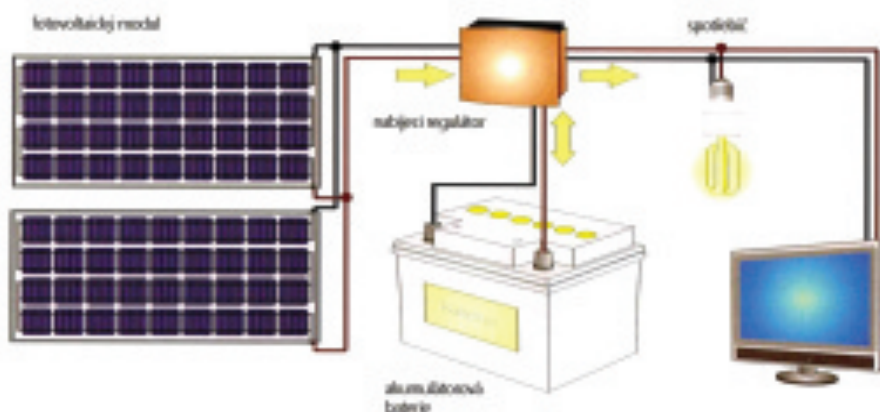
Jedná se především o autonomní systémy, kde není možné, nebo by bylo příliš nákladné připojení do elektrické sítě. Při navrhování ostrovního systému je důležité znát celkovou spotřebu všech používaných zařízení, které jsou do systému připojeny. Pokud je zisk elektrické energie ze slunečního systému menší než energie potřebná, je nutné připojení akumulátoru.[8]

#### Systém s přímým napájením

Nejčastěji se vyskytuje u drobných, malých aplikací, kdy je zařízení funkční po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Například u aplikací při čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon atd.[8]

#### Systém s akumulací elektrické energie

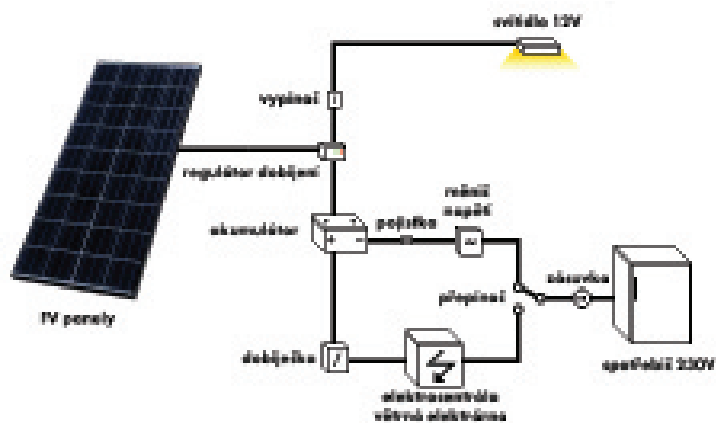
Jedná se o variantu, kdy nastává potřeba elektřiny v noci nebo při nepříznivém počasí. Akumulace elektrické energie probíhá přes nabíjecí regulátor přímo do solární baterie nebo do spotřebiče, který pracuje na stejnosměrný proud. Tyto systémy je vhodné použít pro zdroj na chatách, napájení dopravních signalizací, telekomunikačních zařízení atd.[4]



Obr. 2.9 Princip fotovoltaického ostrovního systému s akumulací [4]

#### Hybridní ostrovní systémy

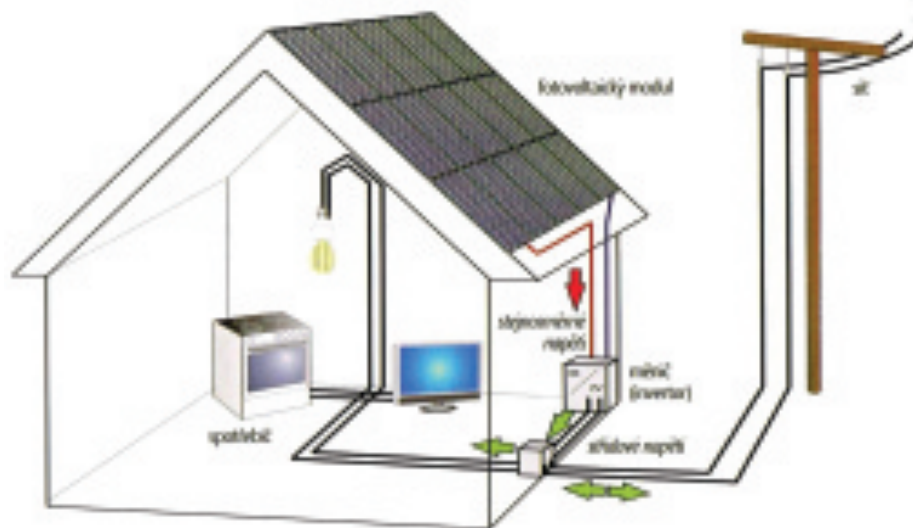
Použití pro systémy, kde je nutný celoroční provoz s ojedinělým použitím spotřebičů o vysokém příkonu. Systém je navržen pro dostatečný zisk energie z fotovoltaického zdroje i během zimních měsíců. To vede ke zvýšení celkového instalovaného výkonu a tím spojené neúměrné zvýšení pořizovacích nákladů. Proto se zavádí k tomuto systému doplňkový zdroj k pokrytí potřeb elektrické energie v období s nedostatečným slunečním svitem. Jako zdroj lze použít větrnou elektrárnu, elektrocentrálu, kogenerační jednotku atd.[8]



Obr. 2.10 Hybridní fotovoltaický systém [8]

## 2.8.2 Síťový systém (on-grid)

Největší rozdíl mezi síťovými a ostrovními systémy je možnost napojení na veřejnou rozvodnou síť. V době přebytku elektrické energie z fotovoltaických panelů dodáváme tuto energii do sítě a v době nedostatku ji ze sítě odebíráme. Solární moduly, které nám vyrábí elektrickou energii ve stejnosměrném napětí, přeměňujeme pomocí měniče (invertoru) na střídavé napětí, které je ve veřejné rozvodné síti. Příklady instalací síťového systému můžeme najít na obytných objektech s dobrou možností připojení na rozvodnou síť.[4]



Obr. 2.11 Princip fotovoltaického systému připojeného do sítě [4]

### 3. Elektronické střídače (invertory, měniče)

Fotovoltaické články pracují se stejnosměrným proudem (DC), aby bylo možné vyrobenou elektrickou energii dále využít ve spotřebičích a také odvádět do rozvodné sítě, je nutné ji přeměnit na střídavý proud (AC) a upravit napětí tak, aby odpovídalo systémovému napětí pro ostrovní nebo síťové systémy. Používají se proto střídače proudu a napětí. V Evropě jsou obvyklé hodnoty nízkého napětí v třífázové síti 230/400 V a frekvence 50 Hz. Požadavky na střídače jsou zajištění bezpečnosti provozu, účinnost, odolnost, teplotní rozsah použití, menší konstrukční velikost, menší hmotnost, jednoduchost instalace atd.[1]

Druhy střídačů pro jednotlivé druhy použití:

- Ostrovní
- Síťové

#### 3.1 Ostrovní střídače

Jedná se o střídače použité pro uzavřenou lokální síť, která není propojena s rozvodnou sítí. Mají vlastní generující kmitočet, který bývá zpravidla obvyklý u rozvodných sítí v průmyslových zemích 50/60 Hz. Je možnost používat elektrické spotřebiče na střídavý proud.[1]

#### 3.2 Síťové střídače

Použití pro střídače fotovoltaických elektráren a síťových fotovoltaických systémů s připojením na rozvodnou síť. Jejich kmitočet je vždy synchronizován s kmitočtem rozvodné sítě taktéž i jejich napětí. Důležitou podmínkou bezpečnosti je okamžité odpojení střídače při výpadku rozvodné sítě. Jinak by docházelo k dodávce energie do sítě a mohlo by dojít k ohrožení pracovníků na těchto sítích.[1]

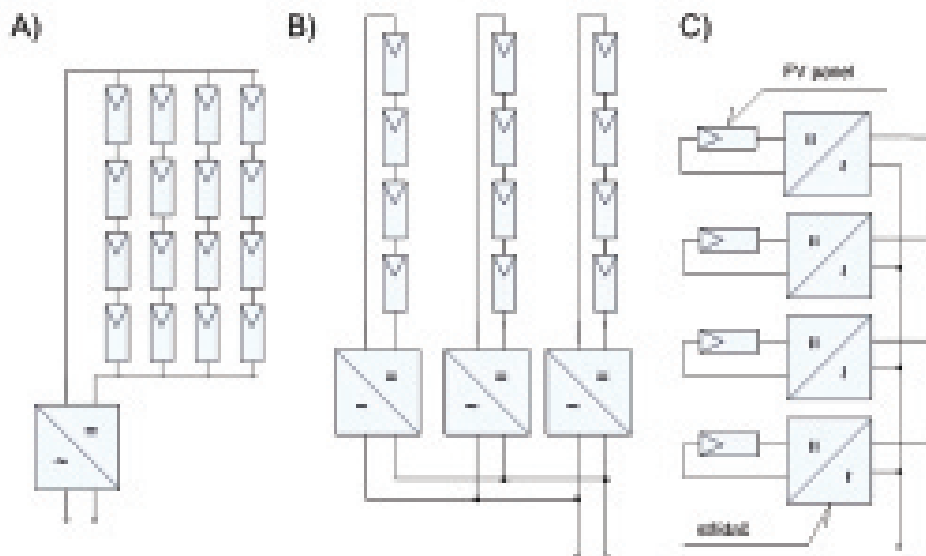
Technické dělení síťových střídačů:

- Transformátorové
- Beztransformátorové

Podle výkonu síťových střídačů:

- Modulové do 250 W
- Řetězcové nebo stringové max. 5–6 kW
- Centrální od 5 kW do 1MW

Modulové střídače se používají velmi zřídka jen u malých systémů. Středně velké elektrárny využívají připojení řetězových střídačů. U velkých fotovoltaických elektráren se používá koncept jak velkých centrálních střídačů, tak i velkého množství řetězových střídačů. Některé takto připojené střídače mají vestavěný transformátor pro galvanické oddělení vstupu při použití tenkovrstvých fotovoltaických panelů.[3]



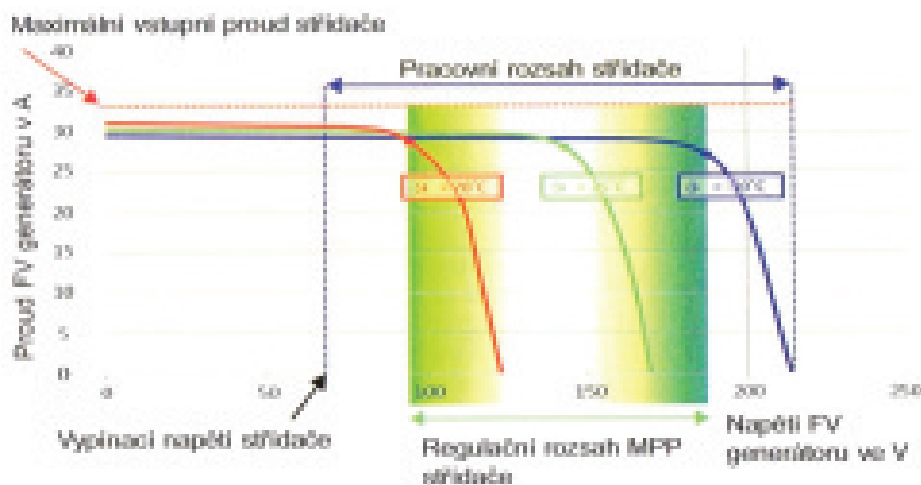
Obr. 3.1 a) centrální, b) řetězové, c) modulové střídače [9]

### 3.3 Účinnost střídačů

Napětí a proud solárních modulů se neustále mění na základě slunečního záření, proto musí střídač optimalizovat svůj pracovní bod, aby docházelo v každém časovém okamžiku k největšímu možnému zisku výkonu (MPPT) ze solárního generátoru. K nastavení střídače se používá elektronické zapojení, které nastavuje napětí na bod maximálního výkonu. V klimatu střední Evropy se většina energie vyrábí ve středním rozsahu jmenovitého výkonu. Proto se optimalizuje účinnost střídače na provoz s částečným zatížením. V reálném provozu účinnosti střídače se zavedl parametr Evropská účinnost, aby se přihlíželo k různým zátěžovým poměrům při různých fázích provozu. U moderních střídačů se pohybuje v rozmezí od 94 % až po 97,5 %.[3]

$$\eta_{Euro} = 0,03 \cdot \eta_{5\%} + 0,06 \cdot \eta_{10\%} + 0,13 \cdot \eta_{20\%} + 0,1 \cdot \eta_{30\%} + 0,48 \cdot \eta_{50\%} + 0,2 \cdot \eta_{100\%} \quad [\%] \quad (3.1)$$

kde:  $\eta_{100\%}$  – udává účinnost ve jmenovitém případě (v průměru dochází ke 100% zatížení střídače po dobu 20 % roční provozní doby)



Obr. 3.2 Pracovní rozsah střídače a charakteristiky solárního generátoru při různých teplotách [3]

## 4. Akumulace solární energie

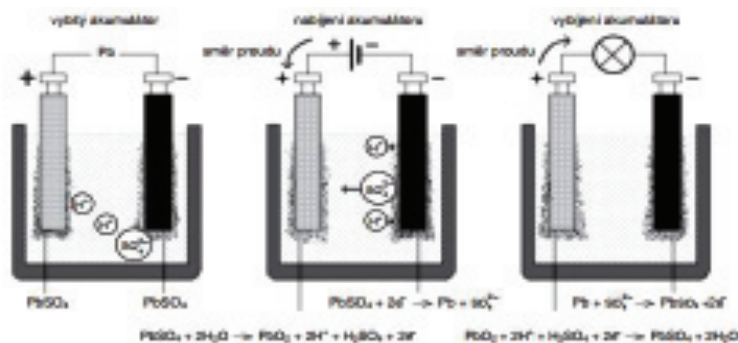
Budoucností fotovoltaiky je pokrytí energetické spotřeby z nerovnoměrného slunečního svitu. Solární energii získáváme především přes den, ale nejvíce potřebujeme energii v noci, kdy Slunce už nesvítí. Proto v době přebytku energie, je potřeba umožnit její akumulaci pro pozdější využití v době jejího nedostatku.

### 4.1 Akumulátory

Jedná se o elektrochemické akumulátory či akumulátorové baterie, kde se energie ukládá ve formě chemické energie. Během nabíjení se elektrická energie mění na chemickou a během vybíjení se zpátky naakumulovaná energie mění na elektrickou energii. Výhodou je dobře zvládnutá technologie výroby, operativní použití kdekoliv, možnost mnohonásobného opětovného nabíjení a relativně nízká cena. Nevýhodou je možnost nevratné změny na elektrodách s jejich následkem životnosti při samovybíjení a citlivosti při hlubokém vybíjení. Elektrické napětí elektrochemických článků se pohybuje podle typu akumulátoru v hodnotách 1,1 až 2 V. Proto se běžně využívají v praxi akumulátory sestavené sériově do baterií.[10]

#### 4.1.1 Olověné akumulátory

Patří mezi nejstarší akumulátory, kde je již dlouho zvládnutá technologie výroby. Olověné akumulátory pro ukládání energie z fotovoltaických systémů se liší od startovacích akumulátorů např. v automobilech, jejich možností hlubokého vybíjení a nízkého samovybíjení. Elektrolyt je zde zředěná kyselina sírová, která v roztoku disociuje na kladné vodíkové ionty a záporné síranové ionty. Výsledkem je vznik síranu olovnatého na obou elektrodách.[10] Princip nabíjení a vybíjení olověného akumulátoru je na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Schéma olověného akumulátoru [10]

#### 4.1.2 Alkalické akumulátory

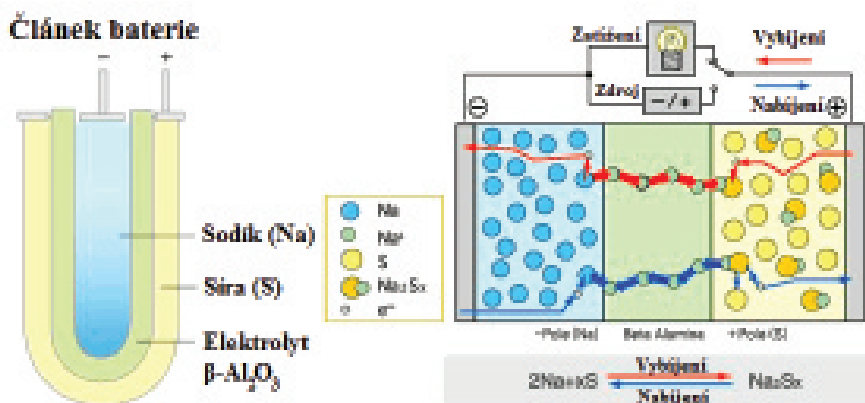
Alkalické akumulátory se neliší nijak zvlášť od olověných akumulátorů. Ve fotovoltaických aplikacích se nejčastěji používají nikl-kadmiové akumulátory (Ni-Cd), kde na kladné elektrodě v nabitém stavu je tvořena oxo-hydroxidem nikelnatým NiO(OH) a záporná kadmiová elektroda při vybíjení reaguje s kyslíkem za vzniku CdO. Elektrolytem je poté rozpuštěný hydroxid draselný ve vodě. Napětí v člancích je nižší než u olověných akumulátorů, a proto se místo 6 článků používá 10 pro potřebné napětí na 12 V baterii. Výhodou těchto baterií je vyšší životnost. Nevýhodou ovšem zůstává paměťový efekt, kdy nastává pokles kapacity při zcela vybité baterii, kadmium je také řazeno mezi nebezpečné odpady. Mezi další akumulátory do této skupiny patří nikl-metalhydridové (NiMH) a nikl-ocelové (Ni-Fe).[10]

### 4.1.3 Lithium-iontové akumulátory

Použitím kovu lithium jakožto nejlehčího kovu, dosahujeme redukci hmotnosti až na 20 % běžné olověné baterie. Poskytují vysoké napětí článků 3,6 V. Kladná elektroda je tvořena oxidem kovu ( $\text{LiCoO}_2$ ), zatímco záporná elektroda je z uhlíku s vrstvenou strukturou. Elektrolytem je lithná sůl rozpuštěná v organickém karbonátu. Výhodou použití lithium-iontových baterií je velká hustota energie a účinnosti než předchozí typy akumulátorových baterií. Nevýhodou je pokles životnosti baterie při hlubším vybíjení.[11]

### 4.1.4 Na-S akumulátory

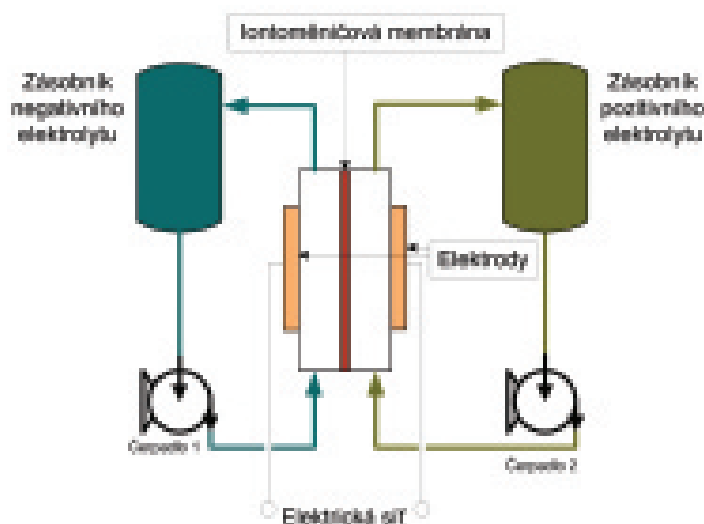
Sodíkovo-sírové akumulátory mají klasickou strukturu elektrochemické baterie, tedy kladnou a zápornou elektrodu spolu s elektrolytem. Největší rozdíl oproti běžným akumulátorům je jejich provozní teplota při nabíjení a vybíjení, která se pohybuje od 300 do 350 °C a tudíž elektrody nejsou v pevném ale v kapalném skupenství. Výhodou akumulátorů na bázi sodík-síra je velká hustota energie spolu s účinností srovnatelnou s lithium-iontových akumulátorů. Nevýhodou nastává použití nebezpečných látek včetně kovového sodíku, který je hořlavý, pokud přijde do chemické reakce s vodou.[12]



Obr. 4.2 Schéma sodíkové baterie s rovnici chemické reakce [12]

## 4.2 Průtokové baterie

Průtokové baterie mají podobnou skladbu jako konvekční baterie, obě obsahují kladné a záporné elektrody spolu s elektrolytem. Největší rozdíl je v umístění elektrolytu, který je rozdělen do dvou vnějších nádrží. Hustota energie proudícího elektrolytu elektrochemickým článkem je dána množstvím elektrolytů v jednotlivých nádržích. Mezi nejčastější typy průtokových baterií patří vanadium redoxní baterie (VRB), zinko-bromidová (Br-ZnBr) a bromid sodná (Br/s). Výhodou průtokových baterií je možnost ponechání ve vybitém stavu, aniž by docházelo k degradaci životnosti baterie. Nevýhodou je nižší hustota energie než je u li-ion baterií a také složitost skladování a čerpacích mechanismů.[13]



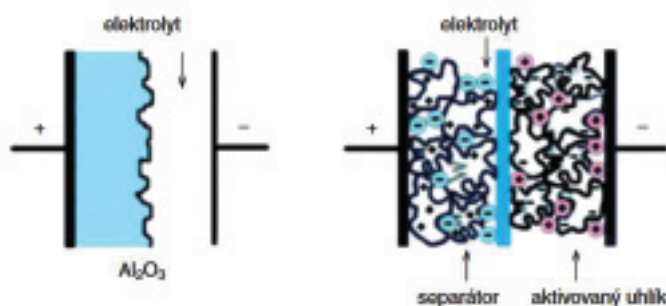
Obr. 4.3 Konstrukce průtokové baterie [13]

### 4.3 Metal-air baterie

Metal-air baterie se skládají s elektropozitivního kovu, jako jsou zinek, hliník, hořčík i lithium, které spolu s kyslíkem získávaným ze vzduchu slouží k výrobě elektrické energie. Zápornou elektrodu tvoří použitý kov spolu s vrstvou kanálků pro přívod vzduchu. Kladnou elektrodu tvoří okolní vzduch, který je rozpuštěn pomocí katalyzátorů, produkující hydroxylové ionty v kapalném elektrolytu. Následně kladná elektroda oxiduje a uvolňuje elektrony za vzniku elektrického proudu. Při vybíjení se proces obrátí a začne probíhat redukce při zpětném uvolňování kyslíku do vzduchu na kladné elektrodě. Výhodou použití metal-air baterií je jejich recyklovatelnost, vysoká hustota energie, zhruba třikrát větší než u li-on baterií a také neobsahují toxicky nebezpečné látky pro životní prostředí. Nevýhodou je nízká účinnost, citlivost vlhkosti a obsahu nečistot při změně okolního vzduchu.[14]

### 4.4 Superkondenzátor

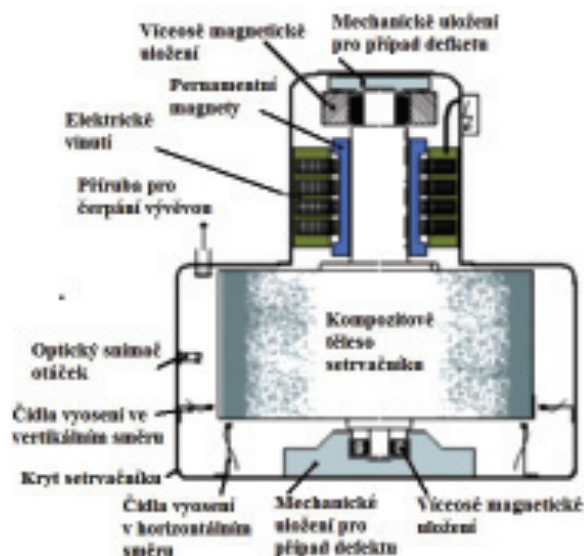
Pracuje stejně jako kondenzátor na fyzikálním principu, kdy je elektrický náboj uchován elektrostatickou silou na povrchu elektrod. Elektrody jsou z uhlíkatého materiálu s velkým specifickým povrchem. Elektrolyt může být tvořen na vodné bázi nebo bezvodným organickým rozpouštědlem. Napětí na svorkách se u vodného elektrolytu pohybuje od 1–1,2 V a u bezvodného od 2,5–3 V. Výhodou superkondenzátoru je jeho vynikající schopnost přijmout velké množství náboje během krátké doby (několika sekund), také dosahuje vysoké účinnosti a životnosti. Nevýhodou je nízká hustota energie, kterou může uchovat a jejich samovybíjení.[10]



Obr. 4.4 Schéma vnitřního uspořádání superkondenzátoru [10]

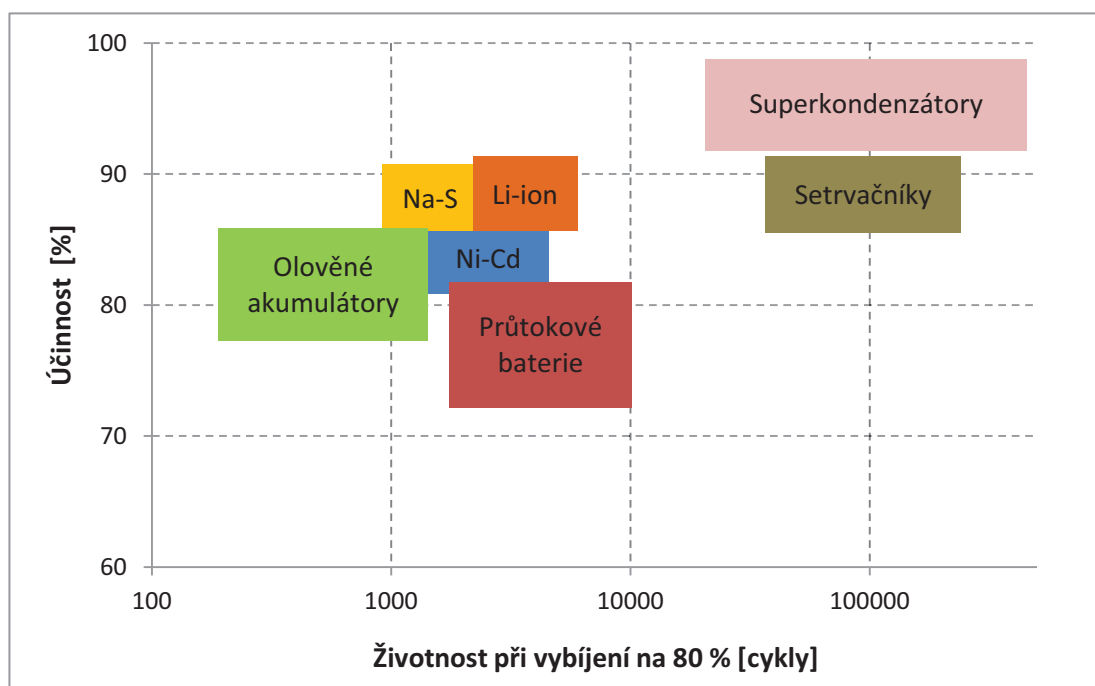
## 4.5 Setrvačnick

Setrvačnick ukládá elektřinu ve formě kinetické energie otáčející se hmoty rotoru. Při dosažení největšího množství uložené energie musí být otáčky rotoru setrvačnicku velmi vysoké. To klade vysoké požadavky na materiál rotoru a jeho uložení. V dnešní době se nejčastěji používají uhlíkové kompozity s umístěním ve vakuu. Pro vhodné umístění rotoru ve vakuu hraje důležitý faktor zamezení tření o vzduch. Dosahuje se to zavedením magnetických ložisek k celkovému zlepšení účinnosti setrvačnicku. Výhodou využití setrvačnicků pro ukládání elektrické energie je jejich vysoký výkon, dlouhá životnost a dobrá účinnost.[15]



Obr. 4.5 Schéma setrvačnickového akumulátoru [10]

Celkové shrnutí dosavadních možností ukládání elektrické energie na účinnosti při jednotlivých životnostech při vybíjení je v grafu 4.1.



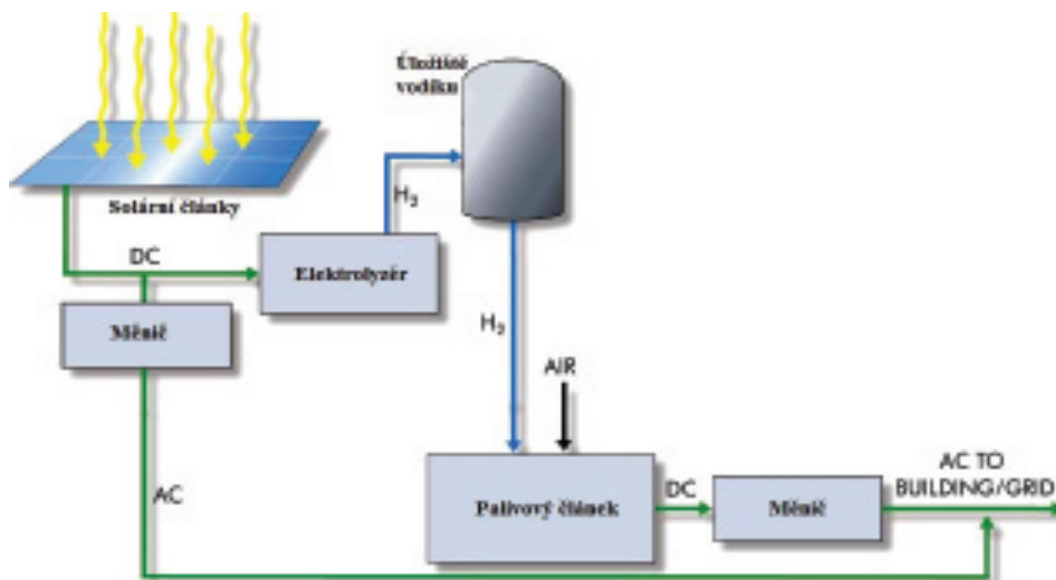
Graf. 4.1 Životnost a účinnost jednotlivých druhů ukládání elektrické energie [11]

## 4.6 Ukládání energie ve formě vodíku

Pro ukládání energie ve formě vodíku se používá hybridních systémů s kombinací fotovoltaiky, elektrolyzáru, úložiště vodíku a palivového článku. Tyto systémy mohou být připojeny do energetické sítě, nebo pracovat v soběstačných ostrovních systémech. Výroba vodíku se provádí v PEMe (Polymer Electrolyte Membrane) elektrolyzáru nejčastěji. Složkou, ze které se získává vodík, je voda. Ta je přiváděna k anodě, kde se elektrolyticky rozloží na kyslík, protony a elektrony. Atomy kyslíku se na povrchu elektrody spojují v plynný  $O_2$ , zatímco protony přestupují přes membránu. Jednotlivé elektrony procházejí vnějším obvodem, jelikož je pro ně membrána nepropustná. Na katodě se protony spojují s elektrony a vyvíjí se plynný vodík.[16]

Vzniklý vodík je možné skladovat ve formě plynu nebo kapaliny. V dnešní době se nejčastěji skladuje stlačený vodík v tlakových láhvích. Další možností je uložení vodíku v metalhydridových materiálech, kdy je jednotlivý vodík zabudován do struktury základního materiálu např. nanouhlíkatá vlákna. Systém vodíkového hospodářství nás nutí pohlížet na zisk, co nejvyšší měrné hustoty energie, za co možná nejmenších nákladů při dosažené bezpečnosti.[16]

Vytvořený vodík použijeme k přímé konverzi energie chemické na energii elektrickou v palivovém článku. Rozeznáváme pět typů palivových článků podle složení a skupenství elektrolytu. Nejvíce komerčně úspěšný je nízkoteplotní palivový článek PEMp (Proton Exchange Membrane). Na jednotlivé elektrody je přiváděno palivo, na anodu vyrobený vodík a na katodu kyslík, který získáváme z přiváděného vzduchu. Výsledným produktem reakce je elektrická energie, teplo a voda. Výhodou palivových článků PEMp je použití elektrolytu v pevné fázi polymerní iontoměničovou membránou, u které nehrozí bezpečnostní riziko při neodborné manipulaci nebo vylití při poruše.[16] Na obr. 4.6 je schéma základního řešení hybridního systému s fotovoltaickými články.



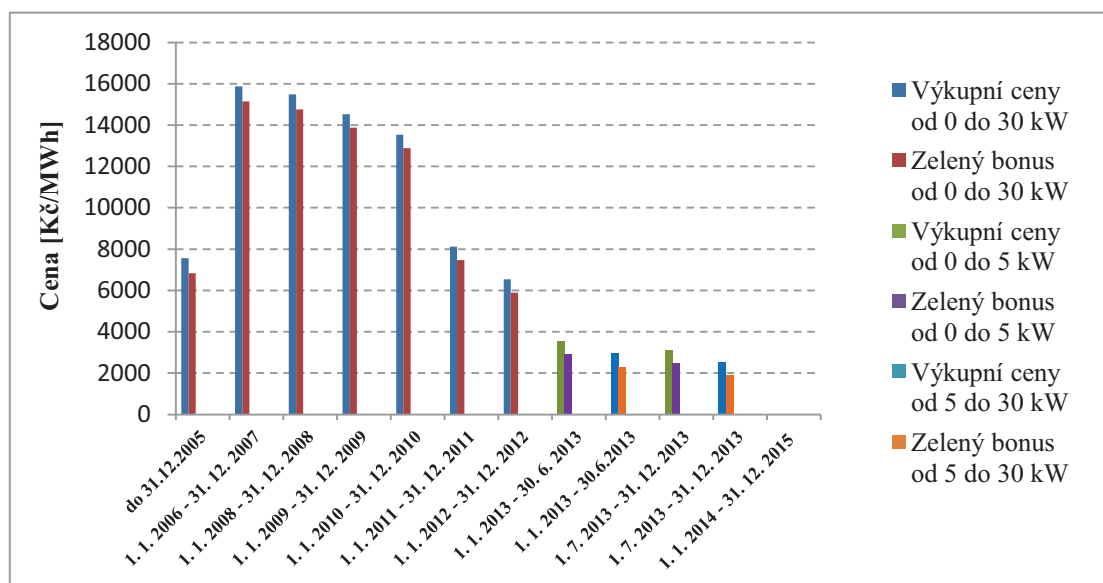
Obr. 4.6 Schéma základního řešení hybridního systému fotovoltaika, elektrolyzátor, úložiště vodíku a palivový článek [17]

## 5. Legislativa

Jednotlivé ustanovení pro výrobce elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie se řídí zákony a vyhláškami České republiky společně s vyhláškami Energetického regulačního úřadu (ERÚ).

<b>Zákon č. 458/2000 Sb.</b>	O podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
<b>Zákon č. 180/2005 Sb.</b>	O podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů
<b>Vyhláška ERÚ č. 426/2005 Sb.</b>	O udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích
<b>Vyhláška ERÚ č. 475/2005 Sb.</b>	Provádějí se ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů
<b>Vyhláška č. 51/2006 Sb.</b>	Stanovuje podmínky pro připojení zařízení k elektrizační soustavě
<b>Vyhláška č. 150/2007 Sb.</b>	O způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech regulace cen
<b>Vyhláška č. 364/2007 Sb.</b>	Novelizace vyhlášky č. 475/2005 Sb., kterou se provádí ustanovení o podpoře využívání obnovitelných zdrojů
<b>Vyhláška č. 393/2007 Sb.</b>	O hospodaření s energií
<b>Vyhláška č. 343/2008 Sb.</b>	Stanovuje vzor žádosti o vydání záruky původu elektřiny z obnovitelného zdroje energie
<b>Cenové rozhodnutí ERÚ</b>	Stanovení výkupních cen a zelených bonusů

Energetický regulační úřad stanovuje každoročně hodnoty výkupních cen a zelených bonusů, za které se bude vykupovat elektřina pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů energie. Pro rok 2015 je vždy platné cenové rozhodnutí udělené rok předtím tedy Cenové rozhodnutí ERÚ č. 1/2014. V grafu 5.1 jsou uvedeny jednotlivé výkupní ceny a zelené bonusy pro solární energii do 30 kW. Z grafu je patrné, že rozmach fotovoltaických elektráren nastal za období let 2009–2010, kdy se výkupní ceny a zelené bonusy navýšily o více než dvojnásobek oproti předešlému roku. Poměrně velká změna nastala počátkem roku 2011, kdy byla dotace zhruba o polovinu snížena a byly nadále podporovány jen fotovoltaické elektrárny do výkonu 30 kW. Na konci roku 2013 bylo ujednáno Energetickým regulačním úřadem, že nebude nadále dotována energie získávána ze slunečního záření.[18],[19],[20]



Graf. 5.1 výkupních cen a zelených bonusů využitím výroby ze slunečního záření do 30 kW [21]

## 5.1 Nová zelená úsporám

Jedná se o program Ministerstva životního prostředí, administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR na podporu energeticky úsporné rekonstrukce rodinných domů a bytových domů, využívání obnovitelných zdrojů energie a výměny nevyhovujících zdrojů vytápění.[22] Jednotlivé oblasti podpory pro rodinné domy jsou rozděleny do jednotlivých skupin:

### A. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů

### B. Výstavba rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností

### C. Efektivní využití zdrojů energie

Do oblasti efektivních využití zdrojů energie, která byla vyhlášena koncem roku 2015 ke strategii na podporu obnovitelných zdrojů energie formou jednorázové finanční dotace. Musí na podporu výstavby fotovoltaické elektrárny splňovat následující kritéria:[23]

- Fotovoltaická elektrárna bude postavena na budově, která je zapsaná v katastru nemovitostí.
- Žadatelem může být vlastník nebo stavitel budovy.
- Podpora je maximálně do výše 50 % uznatelných nákladů.
- Podpora na fotovoltaickou elektrárnu se poskytuje pouze na systémy připojené k distribuční soustavě po 1. 1. 2016.
- Instalovaný výkon fotovoltaického systému nesmí překročit hodnotu vyšší než 10 kWp.
- Spotřeba vyrobené elektrické energie bude minimálně 70 %.
- Měnič musí splňovat účinnost danou Evropskou unií s minimální hodnotou 94 % a systém musí podporovat MPPT na úrovni alespoň 98 %.

Jednotlivé podporované podoblasti pro fotovoltaiku jsou v tab. 5.1 a požadavky kladené na ně v tab. 5.2.

Tab. 5.1 Podporované podoblasti C. 3 pro fotovoltaiku [22]

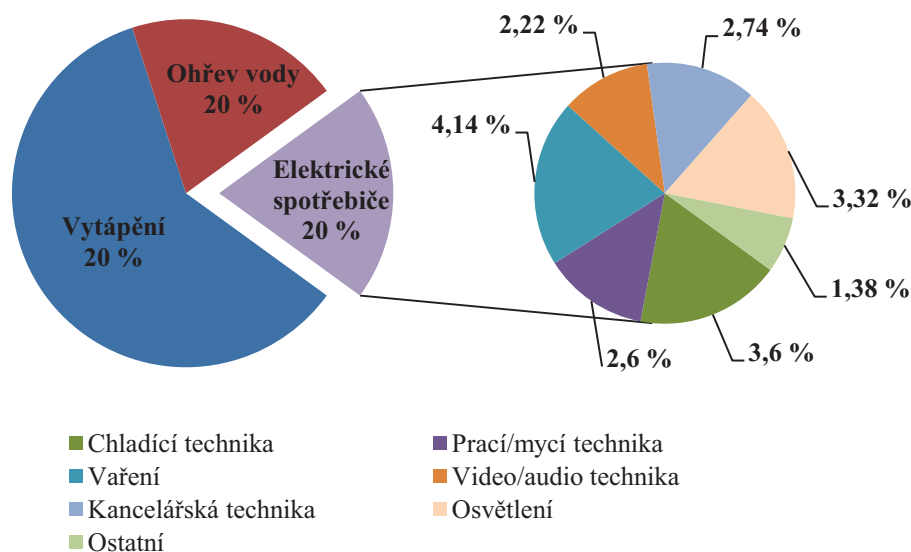
Podoblast podpory	Typ systému	Výše podpory [Kč]
C. 3.4	Solární FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	55 000
C. 3.5	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	70 000
C. 3.6	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$	100 000

Tab. 5.2 Požadavky na solární fotovoltaické systémy v podpoře C. 3.4, C. 3.5, C. 3.6 [22]

Sledovaný parametr	Jednotka	C. 3.4	C. 3.5	C. 3.6
Celkový využitelný energetický zisk ze systému	$[\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1}]$	$\geq 1\,700$	$\geq 1\,700$	$\geq 3\,000$
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	[%]	70	70	70
Akumulace přebytků energie do teplé vody	[-]	Povinná	Možná	Možná
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulační nádrže	$[\text{l} \cdot \text{kWp}^{-1}]$	80	–	–
Akumulace přebytků energie do akumulátorů	[-]	Možná	Povinná	Povinná
Minimální měrná kapacita akumulátorů	$[\text{kWh} \cdot \text{kWp}^{-1}]$	–	1,75	1,75

## 6. Spotřeba elektrické energie v domácnostech

Spotřeba energie v domácnosti se dá rozdělit na tři základní dělení na potřebu energie pro vytápění, ohřev vody a elektrické spotřebiče spolu s osvětlením. Domácí spotřebiče se podílejí na celkové spotřebě energie 20 %. Jejich celková hodnota na výsledné spotřebě v domácnostech postupem času narůstá. Je to způsobené především zvýšením počtu elektrických spotřebičů na jednu domácnost a také růst počtu rodinných domů a velkých bytů (obytná plocha) a rovněž snížením spotřeby energie na vytápění budov, kvůli zprůsňování norem pro tepelné vlastnosti nově postavených nebo rekonstruovaných budov.[24] V grafu 6.1 je procentuální rozdělení spotřeb elektrické energie spolu s rozdělením elektrických spotřebičů v domácnostech.



Graf. 6.1 Rozdělení spotřeby elektrické energie v domácnostech [24]

### 6.1 Úsporné spotřebiče

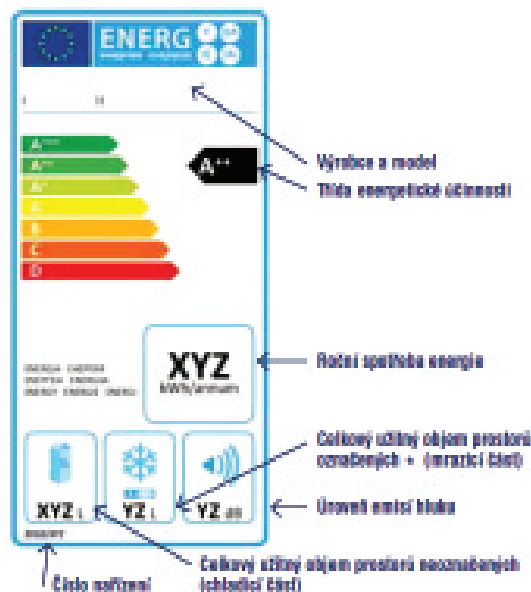
Od poloviny 90. let vznikl v Evropské unii projekt energetický štítek pro elektrické spotřebiče. Při vstupu České republiky do EU byly zavedeny i u nás. Je to srozumitelná forma, jak si vybrat energeticky úsporný spotřebič a rychle se zorientovat mezi jednotlivými modely spotřebičů podle energetické účinnosti a dalšími parametry. Energetické štítky můžeme najít zatím u praček, sušiček prádla, chladniček, mrazniček, myček nádobí, elektrických trub, elektrických ohřivačů vody, zdrojů světla, klimatizací a televizorů. U každého spotřebiče je uvedena energetická třída podle úspornosti a vybraných určujících parametrů, kde např. u chladniček je roční spotřeba energie, u zdrojů světla průměrná životnost, u televizorů standby spotřeba, atd.[25],[26]

Výpočet elektrické práce:

$$W = P \cdot t_s \quad [\text{kWh}] \quad (6.1)$$

kde:  $P$  – příkon elektrického spotřebiče [kW]

$t_s$  – čas, po který je spotřebič zapnut [h]



Obr. 6.1 Energetický štítek pro chladničky a mrazničky a jejich kombinace [26]

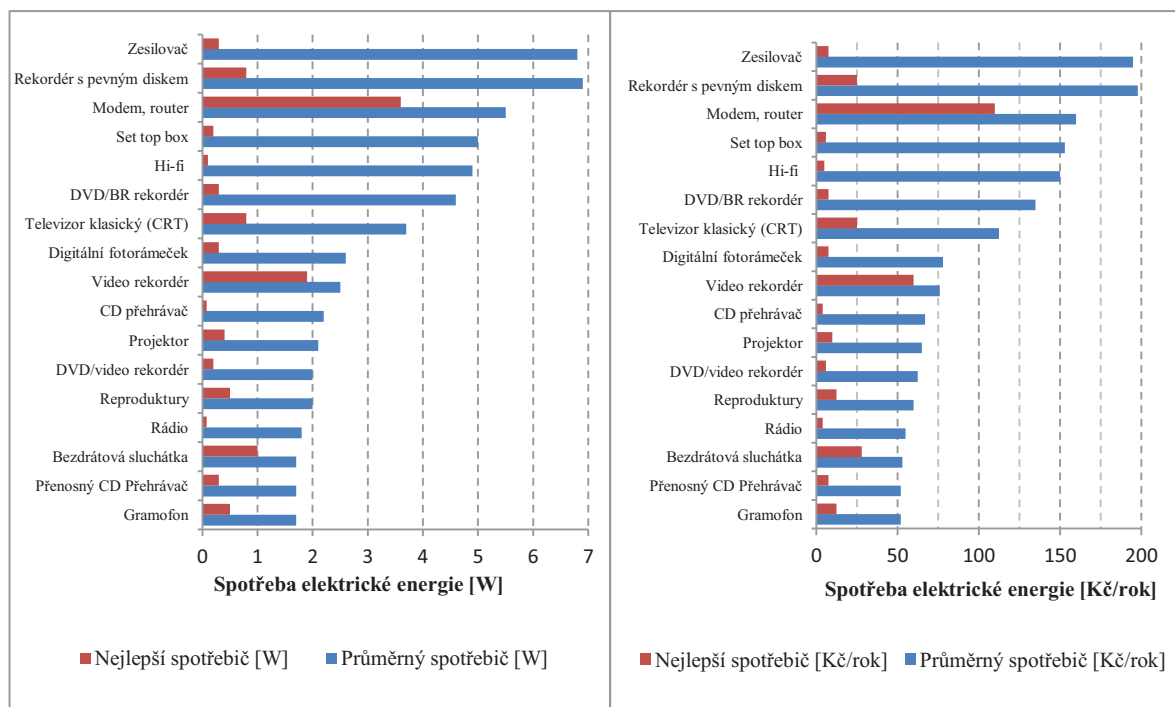
## 6.2 Pohotovostní spotřeba (STANDBY)

V projektu Evropské unie zabývajícím se spotřebou energie v pohotovostním stavu, provedených zhruba ve 1300 domácnostech, byla zjištěna spotřeba v průměru 169 kWh ročně, což představuje zhruba 6 % celkové spotřeby elektrické energie v domácnosti. Při započtení spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřev teplé vody se tato hodnota navýšila v průměru na 11 %, což odpovídá jedné měsíční platbě za elektrickou energii.[27]

Spotřebu elektrických spotřebičů, které nevykonávají svou hlavní práci nebo jsou vypnuté, označujeme jako pohotovostní spotřebu standby. Většinou energii spotřebovávají nabíjecí adaptéry, které přeměňují střídavý proud na stejnosměrný, elektronické obvody, senzory pro příjem signálu, různé digitální tlačítka včetně displeje s kontrolními světly LED. Spotřeba po elektrické energii vzniká také v obvodech, které jsou napájeny, i když je přístroj vypnutý. Můžeme tedy říct, že takto dodaná energie do spotřebičů je ztráta, musíme si však uvědomit, že u některých spotřebičů nemáme jak omezit tuto dodávku energie.[27]

### Zábavní elektronika

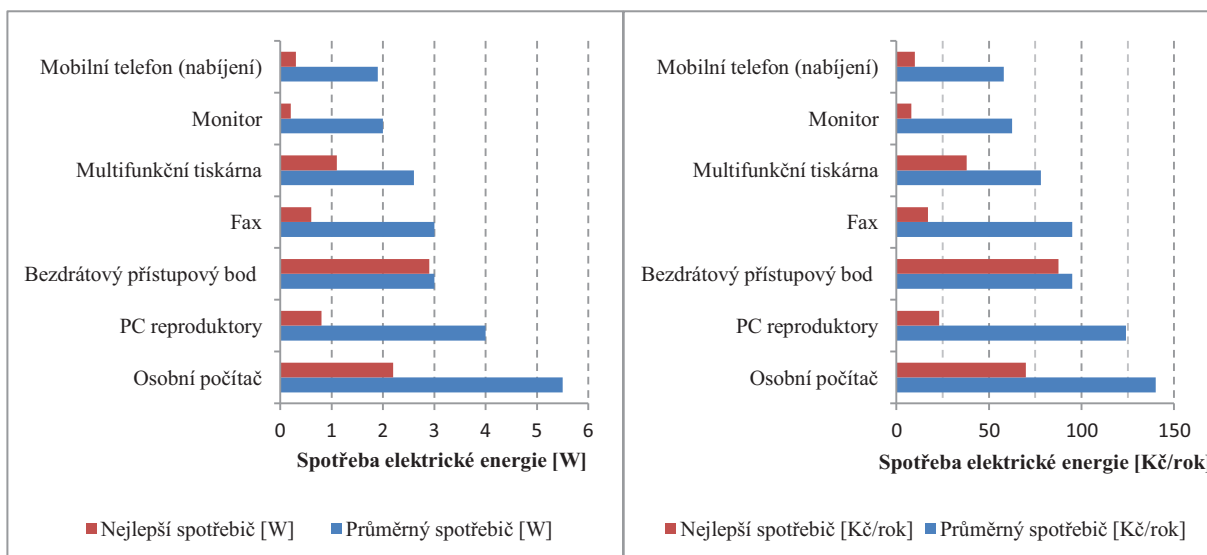
U spotřebičů pro účely zábavní elektroniky, můžeme pozorovat velký nárůst spotřeby elektrické energie v pohotovostním stavu. Jedná se především o starších typy zařízení, jako jsou např. DVD přehrávače, hudební přehrávače, herní konzole atd.[27]



Graf 6.2 Vybrané spotřebiče zábavní elektroniky se spotřebou energie ve stavu standby [27]

### Výpočetní technika

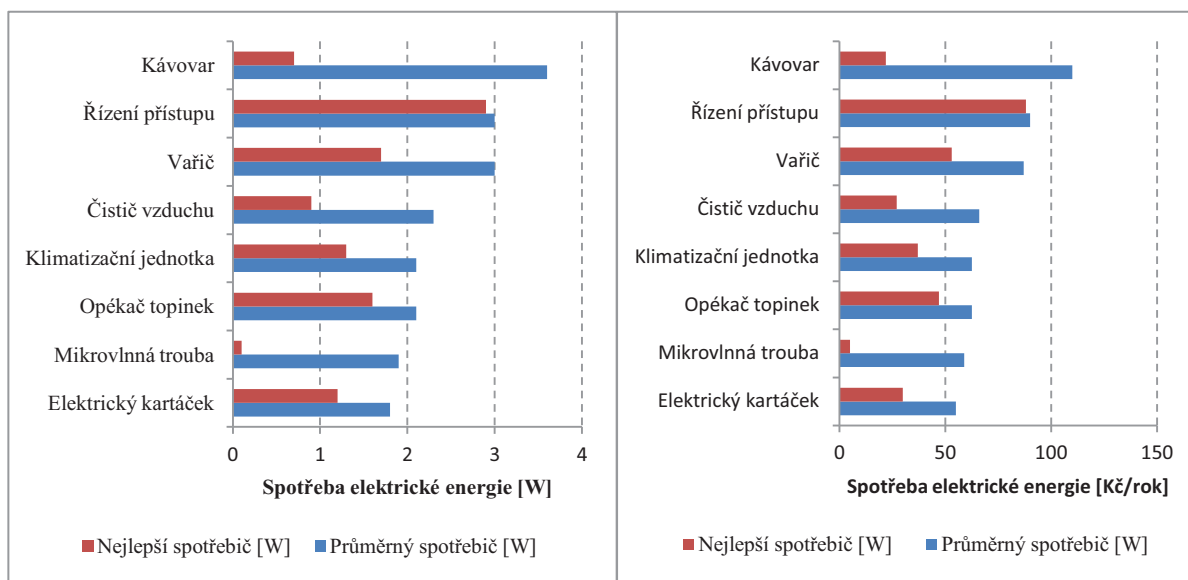
Největší odběratel elektrické energie z vybraných spotřebičů charakterizujících výpočetní techniku je osobní počítač, kde u průměrného výrobku dochází až ke spotřebě přes 5 W v pohotovostním režimu. Zajímavou skutečností je spotřeba síťových spotřebičů, kde je rozdíl mezi průměrným a špičkovým zařízením ve spotřebě elektrické energie minimální ve stavu stanby a oproti zapnutému stavu zhruba totožný.[27]



Graf. 6.3 Vybrané spotřebiče výpočetní techniky se spotřebou elektrické energie ve stavu standby [27]

## Domácí spotřebiče

Pro mnohé rodiny se stala nedílnou součástí příprava kávy v domácích kávovarech, kde hodnota průměrného spotřebiče, dosahuje elektrické spotřeby v pohotovostním stavu přes 3,5 W a celkové náklady se mohou vyšplhat až do stovek korun ročně.[27]

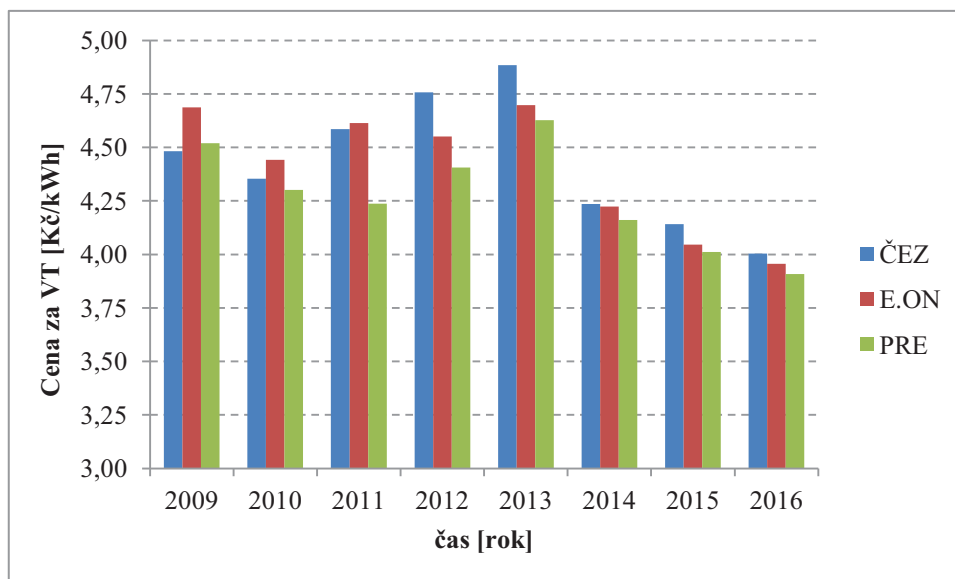


Graf. 6.4 Vybrané domácí spotřebiče se spotřebou elektrické energie ve stavu standby [27]

## 6.3 Vývoj celkové ceny elektřiny

Cena elektřiny se skládá v současnosti ze dvou hlavních částí z regulované a neregulované. Regulovaná složka se dále dělí na distribuci elektřiny, která má v sobě započítanou cenu za distribuované množství elektřiny, související služby složené ze systémových služeb, činnosti zúčtování OTE (operátor trhu s elektřinou) a v neposlední řadě podporou výkupu elektřiny z OZE, KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla) a DZE (druhotné zdroje energie). Neregulovaná složka obsahuje cenu za dodávku elektřiny. Obě hlavní složky se poté skládají ze stálého platu, který se odvozuje od velikosti jističe a z platby za dodanou elektřinu. K výsledné ceně je poté započítána daň z elektřiny a daň z přidané hodnoty.[28]

V grafu 6.5 jsou uvedeny ceny za VT (vysoký tarif) v jednotarifové sazbě D02d pro střední spotřebu elektrické energie v jednotlivých distribučních společnostech vždy k datu 1. ledna daného roku. Vývoj cen se od roku 2009 pohyboval na hodnotě 4,50 Kč za kWh, svého maxima dosáhl v roce 2013 a od této doby začíná strmý pokles celkové ceny za elektrickou energii. V současnosti se pohybuje cena pod 4 Kč za kWh. Je to zapříčiněno snížením ceny za silovou elektřinu na evropské burze, a to převážně masivní výstavbou OZE.



Graf. 6.5 Celková cena elektřiny v jednotarifové sazbě D02d [29]

## 6.4 Smart grid

Evropská definice:

*„Smart Grid je elektrická síť, která umí sofistikovaně integrovat veškeré funkce všech připojených zařízení generátorů i spotřebičů tak, aby byla zajištěna efektivní, ekonomická a bezpečná dodávka elektrické energie.“ [30]*

Cílem smart grid je vytvoření chytré sítě pro objekty využívající elektrickou energii pomocí automatizovaného energetického řídicího systému, aby spolu vzájemně komunikovaly, regulovaly svoje energetické nároky, uskladňovaly nevyužitou energii a dodávaly vlastní nevyprodukovanou energii do rozvodné sítě. Předpokladem pro vytvoření takové sítě je nasazení digitálních komponentů technologií jako inteligentní měřidla spotřeby i výroby elektřiny u každého odběratele nebo připojením inteligentních spotřebičů, které budou přímo ze sítě vědět aktuální cenu elektrické energie a tím umožní vykonávat svoji požadovanou funkci za co možná nejmenší cenu. Tyto komponenty budou umět digitalizovat výstupní data a tedy obousměrně komunikovat mezi odběrným místem a datovým centrem na straně správce distribuční soustavy. Výhodou chytrých sítí bude umožňovat integraci obnovitelných zdrojů, efektivní řízení spotřeby a velkou měrou ochranu životního prostředí.[31]

## 7. Optimalizační návrh pro rodinný dům

Rodinný dům se nachází ve městě Břeclavi v Jihomoravském kraji. Jedná se o dvoupatrový dům o celkové obytné ploše 165 m<sup>2</sup>. Střecha je skloněna pod úhlem 35° s celkovou možnou zastavěnou plochou 92 m<sup>2</sup>. Střecha domu je situována 15° azimutovým úhlem normály od směru jih. Vytápění domu je řešeno plynovým kotlem a není součástí této diplomové práce.



Obr. 7.1 Střecha rodinného domu orientovaná 15° azimutem od směru jih

### 7.1 Měření spotřeby rodinného domu

Měření probíhalo v období 1. 3. 2016 do 31. 3. 2016 zaznamenáváním časového používání elektrických spotřebičů v domácnosti spolu s měřením spotřeby elektrické energie na elektroměru. V domě se nachází celkem čtyři osoby, tři muži a jedna žena. Celková spotřeba rodinného domu za poslední 4 roky je v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Celková spotřeba rodinného domu v jednotlivých měsících

Měsíc	Elektrická spotřeba [kWh]				Průměrná spotřeba [kWh]
	2012	2013	2014	2015	
Leden	482	413	413	453	440
Únor	432	367	364	352	379
Březen	394	390	374	387	386
Duben	357	353	325	309	336
Květen	340	279	303	339	315
Červen	323	326	300	276	306
Červenec	347	356	283	357	336
Srpen	329	289	307	325	313
Září	327	293	294	284	300
Říjen	309	358	346	381	349
Listopad	355	368	388	360	368
Prosinec	418	432	408	389	412
<b>Celkem</b>	<b>4413</b>	<b>4224</b>	<b>4105</b>	<b>4212</b>	<b>4239</b>

## 7.1.1 Rozdělení elektrických spotřebičů do kategorií

### Vaření

Tab. 7.2 Spotřeba elektrické energie v kategorii vaření za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů na spotřebě
	[W]	[Wh]	[%]
Varná konvice	2400	6400	4,65
Elektrická deska	6400	103627	75,28
Mikrovlnka trouba	1450	2175	1,58
Toustovač	640	320	0,23
Elektrická trouba	2600	25133	18,26
<b>Celkem</b>	<b>13490</b>	<b>137655</b>	<b>100,00</b>

### Zábava

Tab. 7.3 Spotřeba elektrické energie v kategorii zábava za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
Televize 1	290	50940	60,74
Hifi Věž	42	100	0,12
DVD Rekordér	7	922	1,10
Televize 2	290	31581	37,66
Setobox	3,5	225	0,27
Rádio	5	100	0,12
<b>Celkem</b>	<b>637,5</b>	<b>83868,7</b>	<b>100,00</b>

### Praní/sušení

Tab. 7.4 Spotřeba elektrické energie v kategorii praní/sušení za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
Myčka nádobí	1050	30503	53,53
Pračka	890	16168	28,37
Sušička	3920	4312	7,57
Žehlička	2000	6000	10,53
<b>Celkem</b>	<b>7860</b>	<b>56983</b>	<b>100,00</b>

**Kancelářská technika**

Tab. 7.5 Spotřeba elektrické energie v kategorii kancelářská technika za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
Počítač + Monitor	135	19508	63,64
Notebook 1	40	980	3,20
Tiskárna	16	160	0,52
Notebook 2	50	2200	7,18
Modem	8	6200	20,23
Notebook 3	40	1607	5,24
<b>Celkem</b>	<b>289</b>	<b>30655</b>	<b>100,00</b>

**Chlazení**

Tab. 7.6 Spotřeba elektrické energie v kategorii chlazení za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
Lednice s mrazákem	38	28537	100,00
<b>Celkem</b>	<b>38</b>	<b>28537</b>	<b>100,00</b>

**Osvětlení**

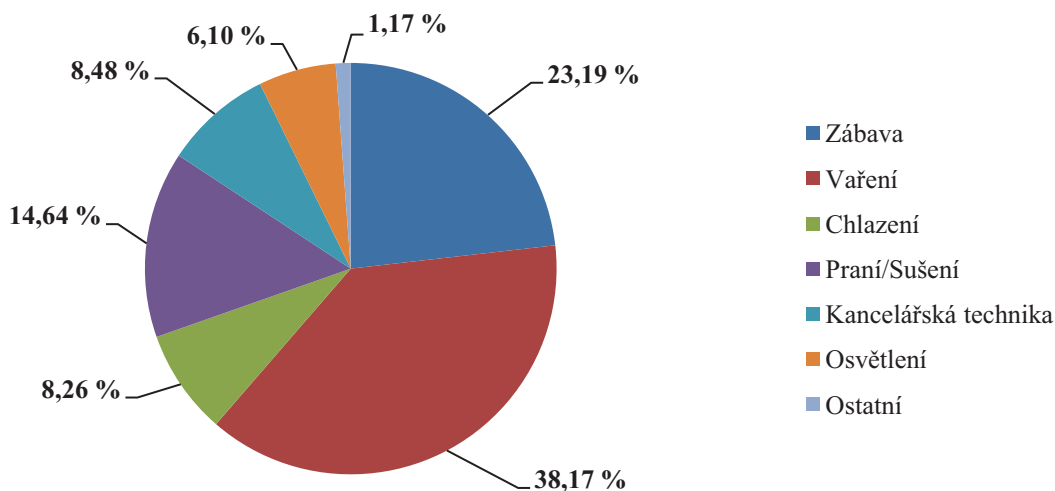
Tab. 7.7 Spotřeba elektrické energie v kategorii osvětlení za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
LED žárovky	4, 8, 12, 18	11010	50,20
Úsporná žárovka	11	3623	16,52
Klasická žárovka (wolfram)	40, 60	7299	33,28
<b>Celkem</b>	<b>475</b>	<b>21933</b>	<b>100,00</b>

**Ostatní**

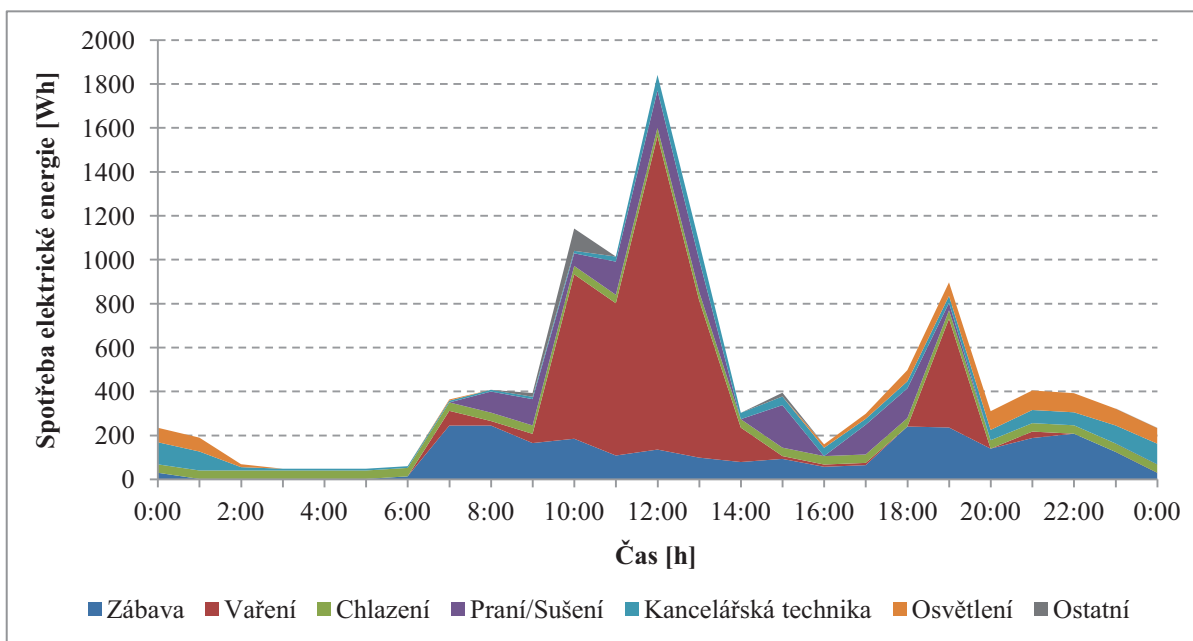
Tab. 7.8 Spotřeba elektrické energie v kategorii ostatní za měsíc březen

Elektrický spotřebič	Příkon	Spotřeba za měsíc březen	Podíl jednotlivých spotřebičů
	[W]	[Wh]	[%]
Fén	2300	200	4,50
Holicí strojek	6	30	0,68
Vířivá vana	3500	4213	94,82
<b>Celkem</b>	<b>5806</b>	<b>4443</b>	<b>100,00</b>

**Shrnutí spotřeby elektrické energie v rodinném domě za měsíc březen**

*Graf. 7.1 Spotřeba elektrické energie v rodinném domě za měsíc březen*

Celková spotřeba elektrické energie za měsíc březen v rodinném domě činila 360 kWh. Z grafu 7.1 je patrné, že největší obnos elektrické energie se spotřebovalo na vaření 38,17 %, kde největší elektrickou spotřebu zaujala elektrická deska, a to zhruba 75 %. V kategorii zábava jsou nejčastěji umístěny spotřebiče pro odpočinek a relaxaci. Na celkové spotřebě se podílejí 23,19 %. Zde jsou největšími konzumenty elektřiny dvě televize umístěné v obývacích pokojích na každém patře a spolu se podílejí na bezmála 98 % veškeré spotřeby v kategorii zábavy. Třetím největším spotřebitelem elektřiny jsou spotřebiče na praní a sušení v celkové spotřebě 14,64 %. Zhruba 50 % energie se spotřebuje na provoz myčky nádobí. Další dvě kategorie mají poměrně stejný podíl na spotřebě a jedná se o kategorii kancelářská technika s 8,48 % a chlazení s 8,26 %. V kancelářské technice zabírají největší podíl stolní počítač s monitorem. Zajímavostí je, že na druhé položce ve spotřebě je modem k internetu s jednou pětinou celkové spotřeby v kategorii kancelářská technika. V kategorii chlazení je pouze jeden spotřebič a to lednice s mrazákem. Předposlední místo zaujímá spotřeba vydaná na osvětlení rodinného domu, a to s podílem 6,10 % na celkové spotřebě. Na osvětlení jsou použity různé druhy žárovek od LED, které spotřebovávají zhruba 50 % celkové spotřeby, klasické žárovky s wolframovým vláknem až po úsporné žárovky. Posledním oddílem je kategorie ostatní s pouhým 1,17 % na spotřebě rodinného domu. Jsou zde umístěny spotřebiče, které nezapadají do jiných kategorií, nebo se jejich funkční systém používá zřídka.

**Průměrná spotřeba elektrické energie za den v měsíci březnu**

Graf. 7.2 Průměrná spotřeba elektrické energie za den v měsíci března

Z grafu 7.2 je patrné, že nárůst spotřeby začíná po 6. hodině, kdy se provádí úkony ranní hygieny, příprava snídaně s možností zhlédnutí zpráv v televizi. Další nárůst spotřeby elektřiny nastává po 9. hodině, kdy začíná docházet k přípravě jídla na oběd. Tento proces dosáhne maxima, se spotřebou 1800 Wh, pár minut po 12. hodině. Další zapnuté spotřebiče v tomto časovém rozmezí bývají nejčastěji myčka nádobí a stolní počítač. Po klesající tendenci až po 16. hodinu dochází k druhému vrcholu v 18. hodin, přípravou ohřevu jídla na večeri s maximem v 19. hodin. Z grafu je také patrná konstantní poptávka energie pro lednici s mrazákem. Osvětlení se projevuje až po 16. hodině a dochází k nejvyšší spotřebě až po 20. hodině.

**7.2 Intenzity slunečního záření****Přímé sluneční záření (teoretické)**

Použité vzorce jsou převzaty z literatury[32].

**Intenzity přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků**

$$I_{pn} = I_0 \cdot e^{\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.1)$$

kde:  $I_0$  – sluneční konstanta  $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$   
 $Z$  – součinitel znečištění atmosféry  $[-]$   
 $\varepsilon$  – součinitel charakterizující výšku slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa  $[-]$

**Sluneční konstanta**

$$I_0 = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

### Součinitel znečištění atmosféry je definován podle Linkeho vztahu

$$Z = \frac{\ln(I_0) - \ln(I_n)}{\ln(I_0) - \ln(I_{\xi})} \quad (7.2)$$

kde:  $I_n$  – intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší  $[W \cdot m^{-2}]$   
 $I_{\xi}$  – intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší  $[W \cdot m^{-2}]$

Průměrné hodnoty součinitele znečištěné atmosféry

$Z = 2,0$  – pro místa nad 2 000 m n. m.

$Z = 2,5$  – pro místa nad 1 000 m n. m.

$Z = 3$  – pro venkov bez průmyslových exhalací

$Z = 4$  – pro města s průmyslovými exhalacemi

$Z \geq 5$  – pro silně znečištěná prostředí

### Součinitel $\varepsilon$ charakterizující výšku slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin(h) + (0,003 + \sin^2(h))^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (7.3)$$

kde:  $h$  – výška slunce nad obzorem  $[^\circ]$   
 $H$  – nadmořská výška daného místa  $[m]$

Průměrná nadmořská výška celého území České republiky

$H = 300 \text{ m}$

### Intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu

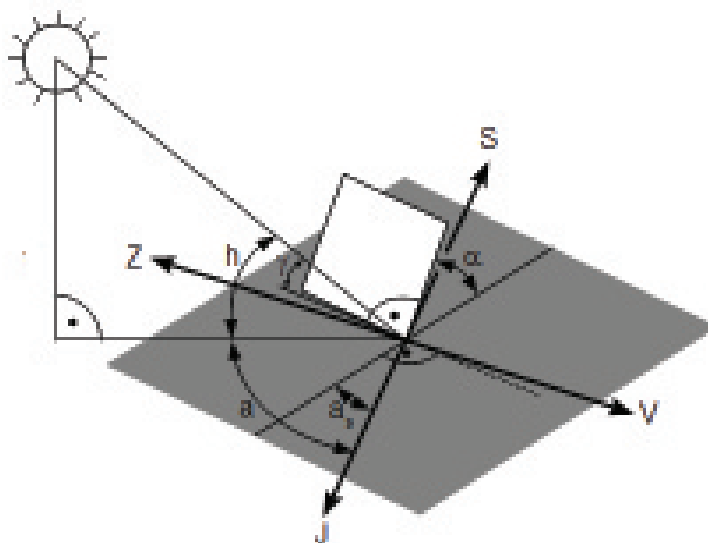
$$I_P = I_{Pn} \cdot \cos(\gamma) \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (7.4)$$

kde:  $\gamma$  – úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu  $[^\circ]$

### Úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu

$$\cos(\gamma) = \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s) \quad (7.5)$$

kde:  $\alpha$  – úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny  $[^\circ]$   
 $a$  – azimut slunce  $[^\circ]$   
 $a_s$  – azimutový úhel normály osluněné plochy od směru jih  $[^\circ]$



Obr. 7.2 Schéma intenzity pro sluneční záření na otevřenou plochu [33]

### Difúzní sluneční záření (teoretické)

Druhá složka slunečního záření. Jedná se o záření, které je rozptýleno v atmosféře odrazem o molekuly plynů ve vzduchu, částičky prachů a mraků, pronikající k povrchu Země jako difúzní záření. Vlnová délka paprsků se při rozptylu nemění, takže zůstává stejná jako u přímého záření. Na osluněnou plochu se část dopadajícího přímého záření, která se odrazí od okolních ploch, přičítá také k difúznímu záření.[32]

### Intenzita difúzního záření

$$I_D = 0,5 \cdot [1 + \cos(\alpha)] \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot [1 - \cos(\alpha)] \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.6)$$

kde:  $r$  – reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky [-]  
 $I_{Ph}$  – intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]  
 $I_{Dh}$  – intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

### Reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky

$r = 0,15 \div 0,25$ , nejčastěji  $r = 0,20$

### Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin(h) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.7)$$

### Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{Pn}) \cdot \sin(h) \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.8)$$

### Intenzita celkového slunečního záření

$$I = I_P + I_D \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.9)$$

## Energie dopadající na osluněnou plochu

### Teoreticky možné množství energie

Intenzita celkového záření v průběhu dne (plocha pod křivkou), je úměrná dopadající energii na osluněnou plochu za den při podmínce, že slunce svítí nepřetržitě od východu do západu při jasné obloze. Tato energie je poté vyjádřena podle vztahu:

$$Q_{S\ den\ teor} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I\ d\tau \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.10)$$

kde:  $\tau_1$  – doba východu slunečního svitu [h]  
 $\tau_2$  – doba západu slunečního svitu [h]

### Střední intenzita slunečního záření

$$I_{stř} = \frac{1}{\tau_{teor}} \int_{\tau_1}^{\tau_2} I\ d\tau = \frac{Q_{S\ den\ teor}}{\tau_{teor}} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.11)$$

kde:  $\tau_{teor}$  – teoretická doba slunečního svitu [h]

### Skutečné množství energie

Teoretické množství sluneční energie dopadající na osluněnou plochu po celou dobu slunečního svitu, je v našich podmínkách poměrně vzácný. Během dne nejčastěji nastává případ, kdy se jasná obloha střídá s oblohou zataženou mraky. Při jasné obloze působí dopadající sluneční paprsky intenzitou celkového slunečního záření, složenou z přímého a difúzního záření, avšak při zatažené obloze působí pouze difúzní záření.[31]

Tab. 7.9 Teoretická doba slunečního svitu v charakteristických dnech jednotlivých měsíců a skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících pro vybrané místa v ČR.[34]

Měsíc	Teoretická doba slunečního svitu $\tau_{teor}$ [h/den]	Skutečná doba slunečního svitu v jednotlivých měsících $\tau_{skut}$ [h]		
		Brno	Břeclav	Praha
Leden	8,26	41	50	43
Únor	10,12	67	71	62
Březen	12	127	138	128
Duben	13,9	159	164	149
Květen	15,7	224	226	208
Červen	16,34	218	217	210
Červenec	15,7	212	215	204
Srpen	13,9	219	227	214
Září	12	155	166	150
Říjen	10,12	117	131	103
Listopad	8,26	44	58	55
Prosinec	7,85	37	52	47
<b>Celkem</b>	<b>144,15</b>	<b>1620</b>	<b>1715</b>	<b>1573</b>

Při počítání s dlouhodobými průměry klimatických údajů, lze poté při skutečné době slunečního svitu, vyjádřit za delší časové období skutečnou energii dopadající na osluněnou plochu ze vztahu:

$$Q_{S\ den} = \bar{\tau} \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{D\ den} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.12)$$

kde:  $\bar{\tau}$  – poměrná doba slunečního svitu [-]  
 $Q_{D\ den}$  – skutečná difúzní energie dopadající na den [Wh · m<sup>-2</sup>]

### Průměrná doba slunečního svitu

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad [-] \quad (7.13)$$

kde:  $\tau_{skut}$  – skutečná doba slunečního svitu [h]

### Skutečná energie dopadající za měsíc

$$Q_{S\ měs} = Q_{S\ den} = n \cdot \bar{\tau} \cdot Q_{S\ den\ teor} + n \cdot (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{D\ den} \quad [\text{W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7.14)$$

kde:  $n$  – počet dnů v měsíci [-] (7.15)

### Výpočet instalovaného výkonu fotovoltaického zařízení

Použité vzorce jsou převzaty z literatury[4].

#### Počet panelů

$$S_p = \frac{A}{A_p} \quad [-] \quad (7.16)$$

kde:  $A$  – disponibilní plocha střechy [m<sup>2</sup>]  
 $A_p$  – plocha jednoho panelu [m<sup>2</sup>]

### Instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny

Jedná se o instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny při standardních podmínkách (STC), kde energie dopadá na fotovoltaický panel kolmo, průzračnost se rovná hodnotě 1,5 a teplota článku je 25°C.

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad [\text{kWp}] \quad (7.17)$$

kde:  $\eta$  – účinnost fotovoltaického panelu [-,%]

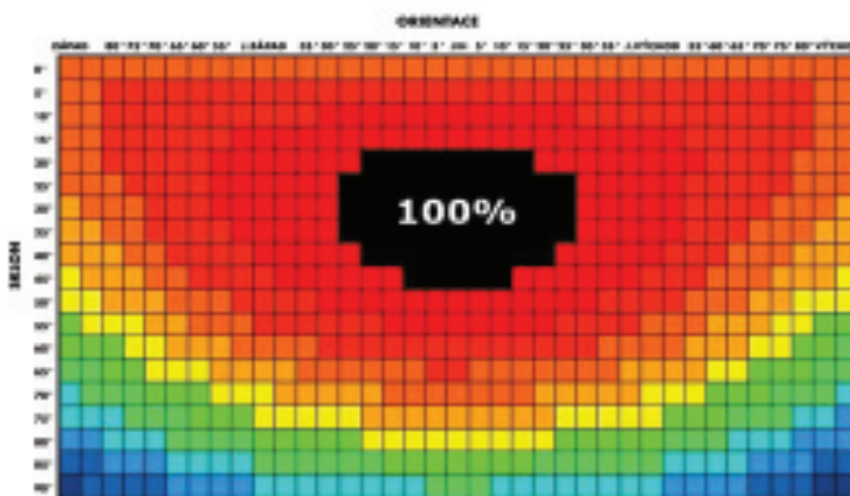
## Výpočet elektroenergetické výtěžnosti

$$E_{elektrický} = \frac{Q_s \text{més} \cdot f_{sklonu} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad [\text{Wh}] \quad (7.18)$$

kde:  $f_{sklonu}$  – vliv sklonu a orientace [–, %]  
 $PR$  – Performance Ratio [–]

### Vliv sklonu a orientace

Z obr. 7.2 je patrné, že největší výtěžnost získané energie ze slunečního záření nastává, když je orientace panelů co nejvíce k jihu.



Obr. 7.3 Vliv sklonu a orientace fotovoltaického panelu na jejich výkon [35]

### Performance Ratio

Hodnocení Performance Ratio je vodítkem jakou hodnotu převede fotovoltaický panel na elektrickou energii. Jsou zde započítány různé okolnosti kvality zařízení a jednotlivé přírodní jevy, jako jsou nánosy prachu, ptáčích trus, oteplování, ztráty v rozvodech atd. Všechny tyto aspekty nám snižují celkovou výnosnost fotovoltaické elektrárny.[4]

Tab. 7.10 Výkonnost Performance Ratio u fotovoltaických systémů zapojených do sítě[4]

Performance Ratio	Popis
0,85	Absolutní špičkové zařízení, dobře odvětrávané, bez stínění, malé znečištění
0,80	Velmi dobrá úroveň zařízení, dobré odvětrávání, bez stínění
0,75	Průměrná úroveň zařízení
0,70	Průměrná úroveň zařízení, vinou zastínění nebo špatným odvětráváním
0,60	Špatná úroveň zařízení, s většími ztrátami způsobenými zastíněním, znečištěním nebo výpadkem systému
0,50	Velmi špatná úroveň zařízení s velkým zastíněním nebo s poruchami

## 7.2.1 Výpočet intenzity slunečního záření v měsíci červnu

Kontrolní výpočet intenzity slunečního záření je proveden pro 11. hodinu v měsíci červnu. Hodnotu střední intenzity dopadající na jednotku plochy Země je  $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Součinitel znečištění atmosféry pro lokaci města Břeclav uvažujeme s hodnotou 3. Průměrnou nadmořskou výšku České republiky volíme 300 m. Výška slunce nad obzorem pro 11. hodinu je  $60,97^\circ$ . Sklon střechy je  $35^\circ$  s azimutovým úhlem normály  $15^\circ$  od směru jih. Azimut slunce v 11. hodině je  $-29,3^\circ$ . Reflexní schopnost okolních ploch volíme 0,2.

### Přímé sluneční záření (teoretické)

#### Intenzity přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků

$$I_{Pn} = I_0 \cdot e^{\left(\frac{-Z}{\varepsilon}\right)} = 1367 \cdot e^{\left(\frac{-3}{9,368}\right)} = 992,41 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

#### Součinitel $\varepsilon$ charakterizující výšku slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{9,38076 \cdot [\sin(h) + (0,003 + \sin^2(h))^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 = \\ &= \frac{9,38076 \cdot [\sin(60,97) + (0,003 + \sin^2(60,97))^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - 300 \cdot 10^{-4})} + 0,91018 = 9,368 \end{aligned}$$

#### Intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu

$$I_P = I_{Pn} \cdot \cos(\gamma) = 992,41 \cdot 0,9859 = 978,47 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

#### Úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu

$$\begin{aligned} \cos(\gamma) &= \sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s) = \\ &= \sin(60,97) \cdot \cos(35) + \cos(60,97) \cdot \sin(35) \cdot \cos(-29,3 - 15) = 0,9859 \end{aligned}$$

### Difúzní sluneční záření (teoretické)

#### Intenzita difúzního záření

$$\begin{aligned} I_D &= 0,5 \cdot (1 + \cos(\alpha)) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos(\alpha)) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) = \\ &= 0,5 \cdot (1 + \cos(35)) \cdot 108,08 + 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1 - \cos(35)) \cdot (867,72 + 108,08) \\ &= 110,88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

#### Intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

$$I_{Ph} = I_{Pn} \cdot \sin(h) = 992,41 \cdot \sin(60,97) = 867,73 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

**Intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu**

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_0 - I_{pn}) \cdot \sin(h) =$$

$$= 0,33 \cdot (1367 - 992,41) \cdot \sin(60,97) = 108,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

**Intenzita celkového slunečního záření**

$$I = I_p + I_D = 978,47 + 110,89 = 1089,36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Tab. 7.11 Intenzity slunečního záření v měsíci červnu

Hodina	Azimut slunce $\alpha$	Výška slunce nad obzorem $h$	Intenzita přímého záření $I_{pn}$	Intenzita difúzního slunečního záření $I_D$	Intenzita celkového záření na vodorovnou plochu $I$	Intenzita přímého záření na skloněnou plochu $I_p$
[h]	[°]	[°]	[W · m <sup>-2</sup> ]	[W · m <sup>-2</sup> ]	[W · m <sup>-2</sup> ]	[W · m <sup>-2</sup> ]
5	-116,28	8,75	397,02	15,26	20,70	5,45
6	-105,57	17,75	630,90	42,09	196,22	154,13
7	-94,7	27,23	780,07	69,71	433,23	363,52
8	-83,17	36,85	874,62	92,15	671,09	578,95
9	-69,6	46,2	934,85	106,65	874,36	767,70
10	-52,2	54,52	971,67	112,19	1018,00	905,81
11	-29,3	60,97	992,41	110,89	1089,36	978,47
12	0	63,55	999,15	108,68	1088,03	979,35
13	29,3	60,97	992,41	110,89	1089,36	978,47
14	52,2	54,52	971,67	112,19	1018,00	905,81
15	69,6	46,2	934,85	106,65	874,36	767,70
16	83,17	36,85	874,62	92,15	671,09	578,95
17	94,7	27,23	780,07	69,71	433,23	363,52
18	105,57	17,75	630,90	42,09	196,22	154,13
19	116,28	8,75	397,02	15,26	20,70	5,45
<b>Celkem</b>			<b>12162,25</b>	<b>1360,82</b>	<b>9693,96</b>	<b>8487,40</b>
<b>Průměr</b>			<b>810,82</b>	<b>90,72</b>	<b>645,26</b>	<b>565,83</b>

V tab. 7.11 jsou shrnuty intenzity slunečního záření v jednotlivých hodinách v měsíci červnu. Vypočtené hodnoty pro všechny měsíce v roce budou sloužit k určení optimálního řešení pro různé varianty fotovoltaického systému.

**Teoretický dopad energie na osluněnou plochu**

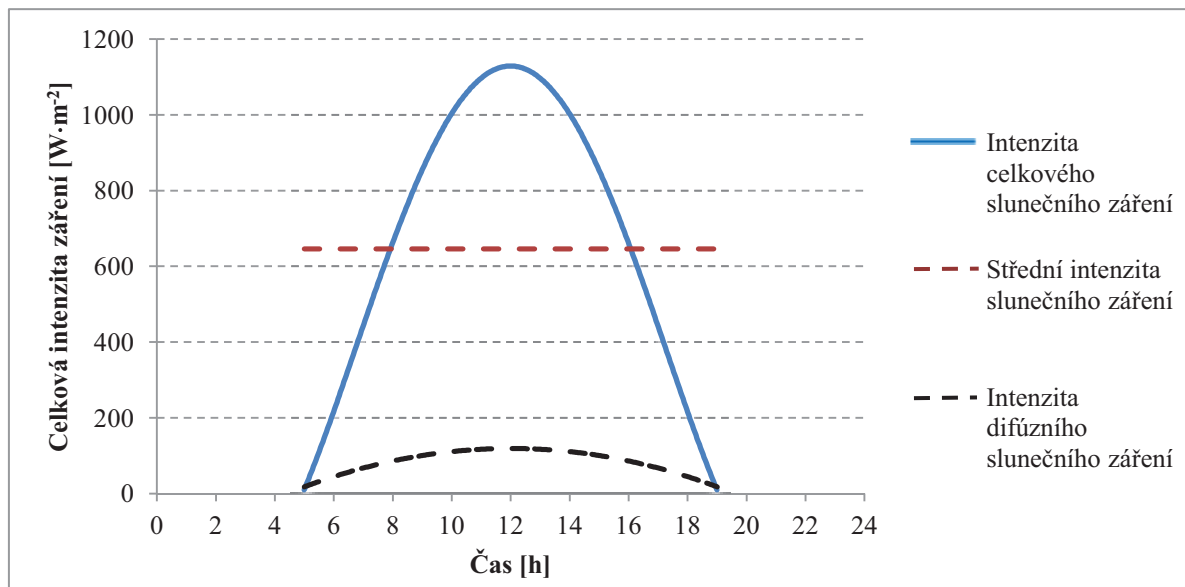
$$Q_{s \text{ den teor}} = \int_{4,892}^{19,056} (0,1923 \cdot \tau^4 - 9,2314 \cdot \tau^3 + 133,9 \cdot \tau^2 - 554,89 \cdot \tau + 470,08) \cdot d\tau =$$

$$= 9693,96 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2}$$

**Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu**

$$Q_{S\ den} = \bar{\tau} \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{D\ den} = 0,53 \cdot 9693,96 + (1 - 0,53) \cdot 1360,82$$

$$= 5704,88\ Wh \cdot m^{-2}$$



Graf. 7.3 Graf dopadající sluneční energie za den na 1 m<sup>2</sup> osluněné plochy pro měsíc červen

Graf. 7.3 nám zobrazuje dopadající sluneční energii za den na 1 m<sup>2</sup> pro měsíc červen. Modře označená křivka charakterizuje celkovou intenzitu slunečního záření složenou z přímého záření a difúzního záření. Černě čárkovaná křivka je složkou dopadajícího difúzního záření. Střední intenzitu slunečního záření vyznačuje čárkovaně červená křivka.

**Skutečné množství energie dopadající za měsíc červen**

$$Q_{S\ měs} = Q_{S\ den} \cdot n = 5704,88 \cdot 30 = 171146,11\ Wh \cdot m^{-2} = 171,15\ kWh \cdot m^{-2}$$

**Letní období**

Pro období od dubna do září vychází množství dopadající energie na 74,07 %

$$Q_{S\ rok\ letní} = 905267,86\ Wh \cdot m^{-2} = 905,27\ kWh \cdot m^{-2}$$

**Zimní období**

Pro období od října do března vychází množství dopadající energie na 25,93 %

$$Q_{S\ rok\ zimní} = 316931\ Wh \cdot m^{-2} = 316,93\ kWh \cdot m^{-2}$$

## 7.3 Výpočet potřebné akumulace baterií a TUV

### 7.3.1 Návrh kapacity akumulátoru

Použité vzorce jsou převzaty z literatury[36].

#### Potřebné množství elektrické energie do akumulace baterií

$$E_{aku} = E_{spotřeba} \cdot d_{rev} \quad [\text{kWh}] \quad (7.19)$$

kde:  $E_{spotřeba}$  – spotřeba elektrické energie v objektu pro potřebu akumulace [kWh]  
 $d_{rev}$  – rezervní počet dní pro akumulaci do baterií [–]

#### Kapacita akumulátoru

$$C_{aku} = \frac{E_{aku}}{U_{system} \cdot DOD \cdot \eta_{střídač} \cdot \eta_{kabel}} \quad [\text{Ah}] \quad (7.20)$$

kde:  $U_{system}$  – napětí systému [V]  
 $DOD$  – maximální přípustná hranice vybíjení baterie [–]  
 $\eta_{střídač}$  – účinnost střídače [–, %]  
 $\eta_{kabel}$  – účinnost kabelu přenášející proud od baterie ke spotřebičům [–, %]

#### Výpočet množství elektrické energie

Počet rezervních dnů pro návrh akumulace rodinného domu byly zvoleny dva. Maximální přípustná hranice vybíjení u běžného typu baterie se pohybuje na 80 %. Účinnost zvoleného střídače je 96 % a ztráty kabelu přenášející proud od baterií až po spotřebiče jsou stanoveny na 3 %.

$$E_{aku} = E_{spotřeba} \cdot d_{rev} = 3200 \cdot 2 = 6400 \text{ kWh}$$

#### Výpočet kapacity akumulátoru

$$C_{aku} = \frac{E_{aku}}{U_{system} \cdot DOD \cdot \eta_{střídač} \cdot \eta_{kabel}} = \frac{6400}{12 \cdot 0,8 \cdot 0,96 \cdot 0,97} = 716 \text{ Ah}$$

### 7.3.2 Návrh ohřevu TUV

Použité vzorce jsou převzaty z literatury[37].

#### Denní potřeba tepla k ohřevu TUV

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{kWh/den}] \quad (7.21)$$

kde: $z$	– koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV	[–]
$\rho$	– hustota vody	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
$c$	– měrná tepelná kapacita	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
$V_p$	– potřeba TUV na den	$[\text{m}^3]$
$t_1$	– teplota studené vody	$[\text{°C}]$
$t_2$	– teplota ohřáté vody	$[\text{°C}]$

#### Roční potřeba tepla k ohřevu TUV

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad [\text{kWh/rok}] \quad (7.22)$$

kde: $d$	– počet dnů otopného období	[–]
$t_{svl}$	– teplota studené vody v létě	$[\text{°C}]$
$t_{svz}$	– teplota studené vody v zimě	$[\text{°C}]$
$N$	– počet dnů pro ohřev TUV	[–]

#### Výpočet denní potřeby tepla k ohřevu TUV

Pro vybraný rodinný dům byl zvolen energetický koeficient ztrát systému pro přípravu TUV 0,5 z důvodu rozvodu a doby cirkulace pro nové stavby. Pro objem potřeby TUV za den byla zvolena hodnota 0,08 m<sup>3</sup> na osobu za den. Hodnoty teplot pro studenou a teplou vodu jsou zvoleny 10 °C a 50 °C.

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 4 \cdot 0,08 \cdot (50 - 10)}{3600} =$$

$$= 20,93 \text{ kWh/den}$$

#### Výpočet roční potřeby tepla k ohřevu TUV

Počet dnů otopného období je uvažováno 236 dnů. Ohřev TUV je stanoven na celý kalendářní rok. Teplota studené vody v létě je stanovena na 15 °C a teplota studené vody v zimě je stanovena na 5 °C.

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) = Q_{TUV,r} =$$

$$= 20930 \cdot 236 + 0,8 \cdot 20930 \cdot \frac{50-15}{50-5} \cdot (365 - 236) = 6619,4 \text{ kWh/rok}$$

## 7.4 Optimalizační charakteristiky

Pro varianty řešení FVE bez akumulace, FVE s akumulací do baterií a FVE s akumulací do baterií a TUV, jsou optimalizovány výkonové hodnoty pro jednotlivé řešení pomocí spotřeb elektrické energie s průběhy v jednotlivých dnech spolu s výpočty intenzity slunečního záření dopadající na osluněnou plochu a elektroenergetickou výtěžností v jednotlivých měsících.

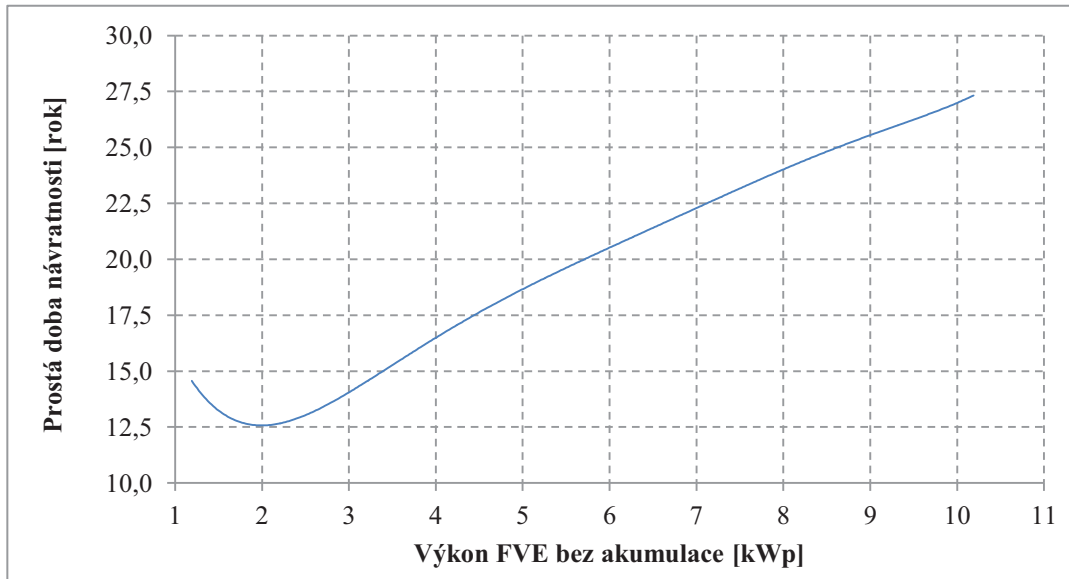
Tab. 7.12 Optimalizační spotřeby elektrické energie v rodinném domě

Měsíc	Průměrná spotřeba rodinného domu		Spotřeba energie při slunečním svitu	Spotřeba vyrobené el. pro variantu 1	Spotřeba vyrobené el. pro variantu 2	Spotřeba vyrobené el. pro variantu 3
	[kWh]	[Wh/den]	[Wh/den]	[%]	[%]	[%]
Leden	440	14202	6626	100	100	100
Únor	379	13527	7193	100	100	100
Březen	386	12460	7855	100	100	100
Duben	336	11200	8411	100	96	84
Květen	315	10169	9356	100	68	60
Červen	306	10208	9356	94	61	54
Červenec	336	10831	9356	92	64	57
Srpen	313	10081	8411	97	70	62
Září	300	9983	7855	100	85	75
Říjen	349	11242	7193	100	100	100
Listopad	368	12258	6626	100	100	100
Prosinec	412	13282	6626	100	100	100
<b>Celkem</b>	<b>4239</b>	<b>139443</b>	<b>94864</b>	–	–	–
<b>Průměr</b>	<b>353</b>	<b>11620</b>	<b>7905</b>	<b>99</b>	<b>87</b>	<b>83</b>

V tab. 7.12 jsou průměrné spotřeby rodinného domu za posledních 4 roky. V jednotlivých měsících jsou vypočítány, na základě naměřené spotřeby elektrické energie v rodinném domě, hodnoty maximálních spotřeb v jednotlivých dnech, které můžeme získat použitím fotovoltaických panelů připevněním na střechu. Poté jsou dopočítány procentuální využití dané výroby elektrické energie z fotovoltaických panelů v jednotlivých měsících pro individuální varianty řešení.

### 7.4.1 Varianta 1, FVE bez akumulace

K nalezení optimalizační křivky nám poslouží výpočty prosté doby návratnosti pro různé výkonové hodnoty FVE bez akumulace při dané spotřebě rodinného domu na základě využitelnosti vyrobené elektřiny z fotovoltaických panelů. Snažíme se nalézt řešení, kdy nebudeme muset dodávat přebytky elektrické energie do přenosové soustavy a vyrobená elektrická energie bude přímo spotřebována v elektrických spotřebičích rodinného domu. Jedná se převážně o letní měsíce z důvodu nejvyšší výtěžnosti solárních panelů.



Graf. 7.4 Optimalizační křivka pro variantu FVE bez akumulace

V grafu 7.4 je optimalizační charakteristika prosté doby návratnosti pro jednotlivé hodnoty výkonu FVE bez akumulace. Z křivky nám vychází lokální minimum při 2,06 kWp o hodnotě prosté doby návratnosti 12,57 roku. Pro výkonové hodnoty řešení nad 2,06 kWp má křivka stoupající tendenci. Je to zapříčiněno velkým přebytkem výroby elektrické energie a její nutný prodej do přenosové sítě za velmi nízkou cenu 60 haléřů za kWh. Pro řešení nižší výkonové řady, než je 2,06 kWp FVE, je zde záporným aspektem zvyšující se cena technického zařízení a cena za výstavbu.

### Výpočet optimálního výkonu FVE bez akumulace

Z optimalizační charakteristiky pro FVE bez akumulace nám vychází ekonomicky nejvýhodnější varianta s výkonem 2,06 kWp. Vzhledem velikosti a počtu panelů nám vystupuje neblížejší výkonové řešení 2,18 kWp.

### Výpočet instalovaného výkonu fotovoltaického zařízení

#### Počet panelů

$$S_p = \frac{A}{A_p} = \frac{15}{1,617} = 9,27 \approx 9 \text{ panelů}$$

#### Instalovaný výkon

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 14,55 \cdot 0,15 \cdot 1 = 2,18 \text{ kWp}$$

### Výpočet elektroenergetické výtěžnosti pro měsíc červen

$$E_{\text{elektrický červen}} = \frac{Q_s \text{ měs.} \cdot f_{\text{sklonu}} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \frac{171146,41 \cdot 1 \cdot 2,18 \cdot 0,8}{1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 298883,24 \text{ Wh} = 298,88 \text{ kWh}$$

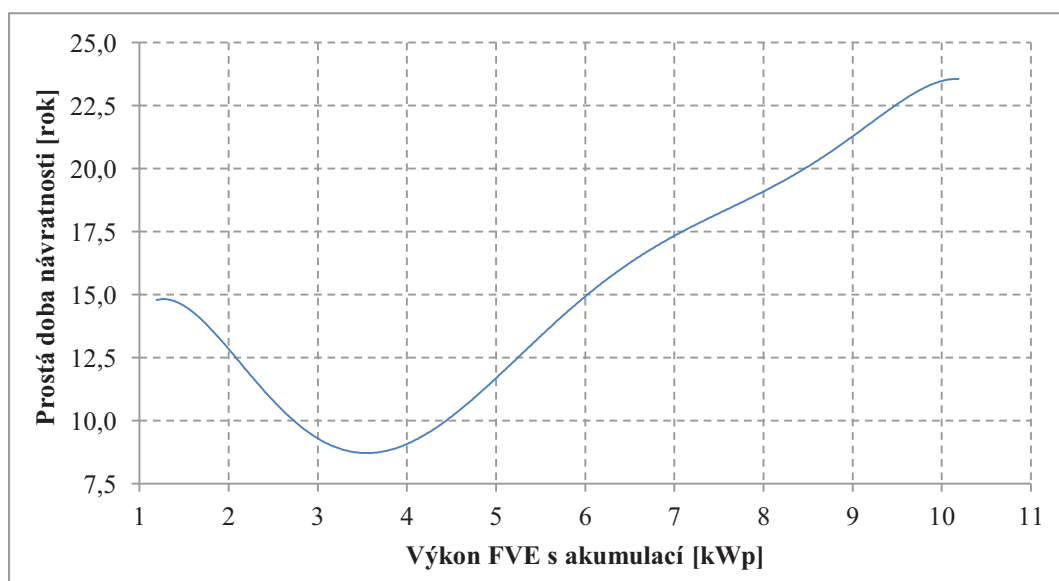
Tab. 7.13 Celková energie dopadající na FVE bez akumulace v jednotlivých měsících

Měsíc	Teoretický dopad energie na osluněnou plochu $Q_{S \text{ den teor}}$	Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu $Q_{S \text{ den}}$	Skutečné množství energie za měsíc $Q_{S \text{ měs}}$	Elektroenergetická výtěžnost za měsíc $E_{\text{elektrický}}$
	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh]
Leden	3440,58	987,90	30624,80	53481,93
Únor	5222,90	2056,06	57569,55	100537,16
Březen	7232,14	3264,73	101206,70	176743,33
Duben	8737,38	4026,14	120784,12	210932,55
Květen	9456,90	5137,70	159268,65	278140,41
Červen	9693,96	5704,88	171146,41	298883,24
Červenec	9456,90	5802,19	179867,93	314114,16
Srpen	8737,38	5107,41	153222,21	267581,13
Září	7232,14	4032,62	120978,55	211272,10
Říjen	5222,90	2331,43	72274,43	126217,17
Listopad	3440,58	1137,45	34123,53	59591,96
Prosinec	2831,69	681,69	21132,38	36904,74
<b>Celkem</b>	<b>80705,47</b>	<b>40270,19</b>	<b>1222199,24</b>	<b>2134399,87</b>
<b>Průměr</b>	<b>6725,46</b>	<b>3355,85</b>	<b>101849,94</b>	<b>177866,66</b>

V tab. 7.13 jsou vypočtené hodnoty celkového množství dopadající energie s jejich celkovou výtěžností pro jednotlivé měsíce. Jejich hodnoty budou sloužit pro výpočet technického-ekonomického zhodnocení.

#### 7.4.2 Varianta 2, FVE s akumulací do baterií

Pro řešení optimalizační charakteristiky vycházíme z vypočtené doby návratnosti na základě investičních nákladů pro zhotovení FVE s akumulací a spotřebě elektrické energie v rodinném domě s přihlédnutím k ukládání vyrobené přebytečné elektrické energie do akumulátorů.



Graf. 7.5 Optimalizační křivka pro variantu FVE s akumulací do baterií

Optimalizační křivka výkonu FVE s akumulací v grafu 7.5 má lokální minimum výkonového řešení 3,59 kWp s prostou dobou návratnosti 8,69 roku. Při optimalizaci výkonu FVE s akumulací nad hodnotou 3,59 kWp nám vychází strmější nárůst ekonomické rentability použitého systému. Je to dáno především zvyšujícím se počtem nainstalovaných akumulátorů a jejich nutnou obnovou během celkové životnosti FVE a to i s využitím dotace z programu Nová zelená úsporám. Pro řešení fotovoltaického systému s akumulací pod výkonem 3,59 kWp je nárůst prosté doby návratnosti projektu. Je to z důvodu nesplnění podmínek pro udělení zmíněné dotace, vzhledem k nutné procentuální akumulované spotřebě elektrické energie v rodinném domě.

### Výpočet optimálního výkonu FVE s akumulací do baterií

Pro optimální hodnotu výkonu 3,59 FVE s akumulací, bylo zvoleno nejbližší výkonové řešení vzhledem k velikosti a počtu solárních panelů 3,64 kWp.

#### Počet panelů

$$S_p = \frac{A}{A_p} = \frac{25}{1,617} = 15,56 \approx 15 \text{ panelů}$$

#### Instalovaný výkon

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot 1 \frac{kW}{m^2} = 24,26 \cdot 0,15 \cdot 1 = 3,64 \text{ kWp}$$

### Výpočet elektroenergetické výtěžnosti pro měsíc červen

$$E_{\text{elektrický červen}} = \frac{Q_s \text{ měs.} \cdot f_{\text{sklonu}} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{1000 \frac{W}{m^2}} = \frac{171146,41 \cdot 1 \cdot 3,64 \cdot 0,8}{1000 \frac{W}{m^2}} = 498138,74 \text{ Wh} = 498,14 \text{ kWh}$$

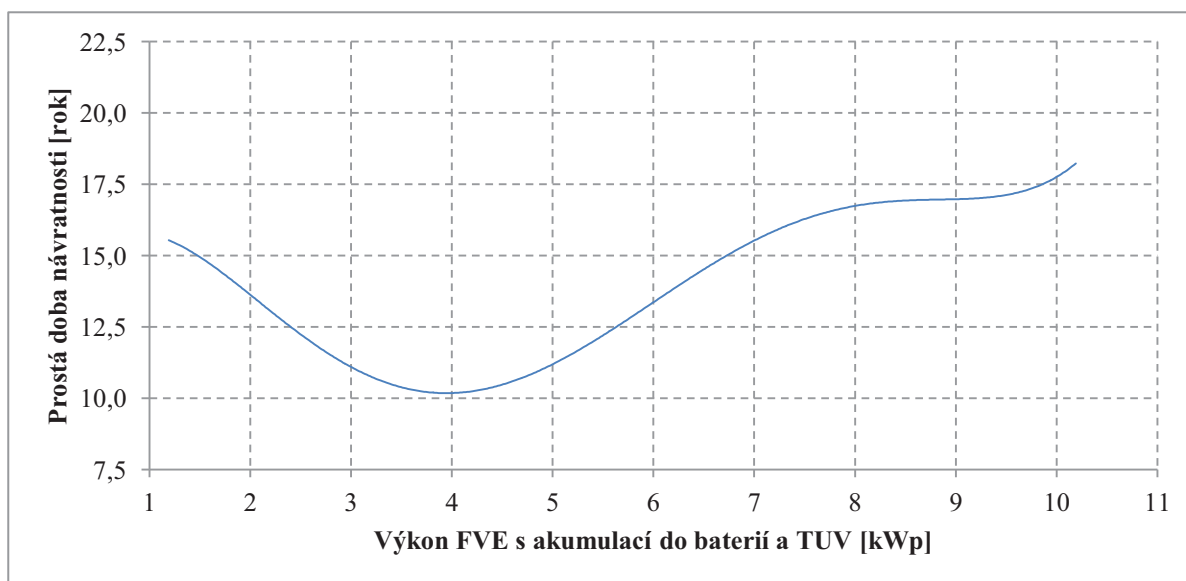
Tab. 7.14 Celková energie dopadající na FVE s akumulací v jednotlivých měsících

Měsíc	Teoretický dopad energie na osluněnou plochu $Q_S \text{ den teor}$	Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu $Q_S \text{ den}$	Skutečné množství energie za měsíc $Q_S \text{ měs}$	Elektroenergetická výtěžnost za měsíc $E_{\text{elektrický}}$
	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh]
Leden	3440,58	987,90	30624,80	89136,56
Únor	5222,90	2056,06	57569,55	167561,93
Březen	7232,14	3264,73	101206,70	294572,21
Duben	8737,38	4026,14	120784,12	351554,25
Květen	9456,90	5137,70	159268,65	463567,34
Červen	9693,96	5704,88	171146,41	498138,74
Červenec	9456,90	5802,19	179867,93	523523,59
Srpen	8737,38	5107,41	153222,21	445968,56
Září	7232,14	4032,62	120978,55	352120,16
Říjen	5222,90	2331,43	72274,43	210361,95
Listopad	3440,58	1137,45	34123,53	99319,93
Prosinec	2831,69	681,69	21132,38	61507,90
<b>Celkem</b>	<b>80705,47</b>	<b>40270,19</b>	<b>1222199,24</b>	<b>3557333,12</b>
<b>Průměr</b>	<b>6725,46</b>	<b>3355,85</b>	<b>101849,94</b>	<b>296444,43</b>

V tab. 7.14 jsou vypočtené hodnoty celkové energie dopadající na plochu solárních panelů pro řešení FVE s akumulací do baterií spolu s jejich elektroenergetickou výtěžností, které budou poté sloužit k ekonomickému a technickému zhodnocení.

### 7.4.3 Varianta 3, FVE s akumulací do baterií a TUV

Optimalizační návrh řešení pro FVE s akumulací do baterií spolu s ukládáním přebytečné elektrické energie také do TUV. Vycházíme z ekonomické náročnosti investice solárních panelů spolu se základním ukládáním nevyužité energie do baterií a následné zvýšení ušetřených úspor se sekundárním ukládáním přebytečné energie do ohřevu TUV v akumulační nádrži pro jednotlivá výkonová řešení.



Graf. 7.6 Optimalizační křivka pro variantu FVE s akumulací do baterií a TUV

Lokální minimum optimalizační charakteristiky v grafu 7.6 je pro výkonové řešení FVE s akumulací do baterií a TUV 3,99 kWp s prostou dobou návratnosti 10,16 roků. Pro výkonové řešení optimalizační křivky nad hodnotou ekonomicky nejvýhodnějšího řešení je poměrný nárůst rentability dané výkonové řady. Je to z důvodu zvyšující se ceny za náklady spojené s nákupem baterií a její nutnou obnovou během období životnosti projektu, také spojené náklady na nákup ohřevu TUV s akumulační nádobou. Podíl objemu nádrže vody se zvyšuje o 100 litrů po 2 kWp instalovaného výkonu a to i s dotací z programu Nová zelená úsporám. Oproti nižší výkonové řadě, než je 3,99 kWp je postupný nárůst výnosnosti dané investice a to i přes řešení neposkytnuté dotace pod 2 kWp z důvodu nesplnění požadovaných podmínek pro procentuální ukládání spotřeby elektrické energie v rodinném domě.

#### Výpočet optimálního výkonu FVE s akumulací do baterií a TUV

Z výkonového řešení optimalizační charakteristiky nám vychází výkon FVE s akumulací do baterií a TUV 3,99 kWp. Vzhledem k velikosti a počtu solárních panelů, bylo zvoleno nejbližší provedení s výkonem 4,12 kWp.

**Počet panelů**

$$S_p = \frac{A}{A_p} = \frac{28}{1,617} = 17,32 \approx 17 \text{ panelů}$$

**Instalovaný výkon**

$$P_{MPP} = A \cdot \eta \cdot 1 \frac{kW}{m^2} = 27,49 \cdot 0,15 \cdot 1 = 4,12 \text{ kWp}$$

**Výpočet elektroenergetické výtěžnosti pro měsíc červen**

$$E_{\text{elektrický červen}} = \frac{Q_S \text{ měs.} \cdot f_{\text{sklonu}} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{1000 \frac{W}{m^2}} = \frac{171146,41 \cdot 1 \cdot 4,12 \cdot 0,8}{1000 \frac{W}{m^2}} = 564557,24 \text{ Wh} = 564,56 \text{ kWh}$$

Tab. 7.15 Celková energie dopadající na FVE s akumulací a TUV v jednotlivých měsících

Měsíc	Teoretický dopad energie na osluněnou plochu $Q_S \text{ den teor}$	Skutečné množství energie dopadající na osluněnou plochu $Q_S \text{ den}$	Skutečné množství energie za měsíc $Q_S \text{ měs}$	Elektroenergetická výtěžnost za měsíc $E_{\text{elektrický}}$
	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	[Wh]
Leden	3440,58	987,90	30624,80	101021,43
Únor	5222,90	2056,06	57569,55	189903,52
Březen	7232,14	3264,73	101206,70	333848,51
Duben	8737,38	4026,14	120784,12	398428,15
Květen	9456,90	5137,70	159268,65	525376,32
Červen	9693,96	5704,88	171146,41	564557,24
Červenec	9456,90	5802,19	179867,93	593326,74
Srpen	8737,38	5107,41	153222,21	505431,03
Září	7232,14	4032,62	120978,55	399069,52
Říjen	5222,90	2331,43	72274,43	238410,21
Listopad	3440,58	1137,45	34123,53	112562,59
Prosinec	2831,69	681,69	21132,38	69708,95
<b>Celkem</b>	<b>80705,47</b>	<b>40270,19</b>	<b>1222199,24</b>	<b>4031644,20</b>
<b>Průměr</b>	<b>6725,46</b>	<b>3355,85</b>	<b>101849,94</b>	<b>335970,35</b>

Celkové hodnoty energií dopadajících na osluněnou plochu fotovoltaických panelů s elektroenergetickou výtěžností jsou uvedeny v tab. 7.15. Vypočtené hodnoty energie budou sloužit k ekonomickému a technickému zhodnocení projektu FVE s akumulací do baterií a TUV.

## 8. Ekonomické zhodnocení

Pro varianty návrhu střešního solárního systému jsou provedeny jednotlivá řešení ekonomického a technického zhodnocení s dobou návratnosti projektu. Životnost projektu je 25 let. Diskontní míra je zvolena pro všechny varianty 5 %. Cena elektřiny za 1 kWh byla stanovena na hodnotě 3,9589 Kč, podle kapitoly 6.3 vývojových cen tarifu D02d od společnosti E.ON k datu 1.1.2016. Hodnoty energetické výtěžnosti z FVE jsou sníženy o 0,88 % za rok, kvůli degradaci solárních panelů během provozu.

### 8.1 Ekonomické zhodnocení FVE bez akumulace

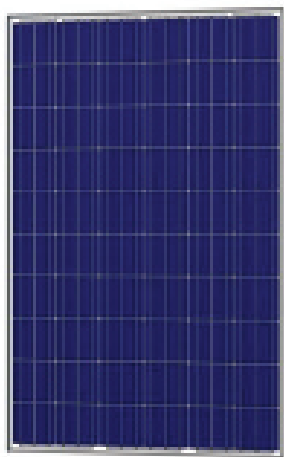
Pro ekonomické zhodnocení varianty FVE bez akumulace vycházíme z výpočtů optimalizace pro výkonové řešení provedené v kap. 7.4.1 spolu s celkovou vyrobenou elektrickou energií v jednotlivých měsících v tab. 7.13, která činí 2134,4 kWh za rok.

#### 8.1.1 Základní technické prvky FVE bez akumulace

##### Volba fotovoltaického panelu

Po prozkoumání trhu se solárními panely byl vybrán polykrystalický fotovoltaický panel od firmy Ameri Solar, který splňuje všechny certifikace a testování pro použití v Evropské unii. Parametry FV panelu AmeriSolar 255 W AS-6930 jsou uvedeny v tab. 8.1.

Tab. 8.1 Parametry FV panelu AmeriSolar 255 W AS-6930 [38]



<b>Fotovoltaický panel AmeriSolar 255 W AS-6P30</b>		
<b>Technické Parametry FV panelu</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Jednotka</b>
Maximální výkon	255	[Wp]
Jmenovité napětí	30,5	[V]
Proud při jmenovitém výkonu	8,37	[A]
Proud nakrátko	8,83	[A]
Napětí naprázdno	38,1	[V]
Tolerance výkonu	0 až +3	[%]
Provozní teplota	-40 až +85	[°C]
Účinnost modulu	15,67	[%]
Rozměry (V x Š x H)	1640 x 992 x 40	[mm]
Hmotnost	18,5	[kg]

Obr. 8.1 FV panel AmeriSolar 255 W AS-6930 [38]

## Volba solárního měniče

Pro volbu solárního měniče byl vybrán měnič Delta Solivia 2.5 EU G4 TR od mezinárodní a stabilní firmy Delta group, která se zabývá výrobou a vývojem solárních měničů od roku 1971.

Tab. 8.2 Parametry solárního měniče Solivia 2.5 EU G4 TR [39]



**Solární střídač Delta Solivia 2.5 EU G4 TR**

Technické parametry měniče	Hodnota	Jednotka
Jmenovité vstupní výkon (DC)	2750	[W]
Maximální vstupní výkon (DC)	3030	[W]
Maximální vstupní napětí (DC)	600	[V]
Maximální vstupní proud (AC)	18,2	[A]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	2500	[W]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	10,9	[A]
Účinnost	96,1	[%]
Rozměry (V x Š x H)	418 x 410 x 182	[mm]
Hmotnost	21,5	[kg]

Obr. 8.2 Měnič Delta Solivia 2.5 EU G4 TR [39]

### 8.1.2 Investiční náklady FVE bez akumulace

V tab. 8.3 je rozpočet investičních nákladů na FVE bez akumulace. Položky základních technických prvků solárního systému jsou uvedeny v ceně za 1 kus daného produktu. Ostatní prvky rozpočtu jako jsou nosné konstrukce a elektrorozvody jsou počítána s celkovou cenou za jejich investici. Nosná konstrukce FV panelů v ceně zahrnuje i jejich montáž. U položky elektrorozvody, jsou započítány ceny za prvky, jako jsou např. solární kabeláže DC a AC, rozvaděče měniče, chráničky a přepěťovou ochranu. Všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Tab. 8.3 Rozpočet investičních nákladů na FVE bez akumulace

Položka	Množství	Cena za kus	Celkem
	[ks]	[Kč]	[Kč]
FV panel AmeriSolar 255 W AS-6P30	9	4412	39708
Měnič Delta Solivia 2.5 EU G4 TR	1	24 142	24142
Nosné konstrukce FV panelů, včetně montáže	1	21600	21600
Elektrorozvody: solární kabeláže DC a AC, rozvaděče měniče, chráničky, přepěťová ochrana	1	10000	10000
Projektová dokumentace včetně elektro projektu	1	5000	5000
<b>Celkem</b>			<b>100450</b>

### 8.1.3 Přehled peněžní toků FVE bez akumulace

Tab. 8.4 Přehled peněžních toků pro variantu s FVE bez akumulace

Rok	IN	CF	PDN	CF <sub>D</sub>	NPV
[n]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
0	-100450	-100450	-100450	-100450	-100450
1		8334	-92116	7937	-92513
2		8297	-83819	7526	-84987
3		8260	-75559	7135	-77852
4		8223	-67336	6765	-71087
5		8186	-59149	6414	-64672
6		8150	-51000	6081	-58591
7		8113	-42887	5766	-52825
8		8076	-34811	5466	-47359
9		8039	-26772	5182	-42177
10		8002	-18770	4913	-37265
11		7965	-10804	4657	-32607
12		7929	-2875	4415	-28192
13		7892	5016	4185	-24007
14		7855	12871	3967	-20040
15		7818	20689	3761	-16279
16		7781	28471	3565	-12714
17		7744	36215	3379	-9336
18		7708	43923	3203	-6133
19		7671	51594	3036	-3097
20		7634	59228	2877	-220
21		7597	66825	2727	2507
22		7560	74385	2584	5091
23		7524	81909	2449	7541
24		7487	89395	2321	9862
25		7450	96845	2200	12062

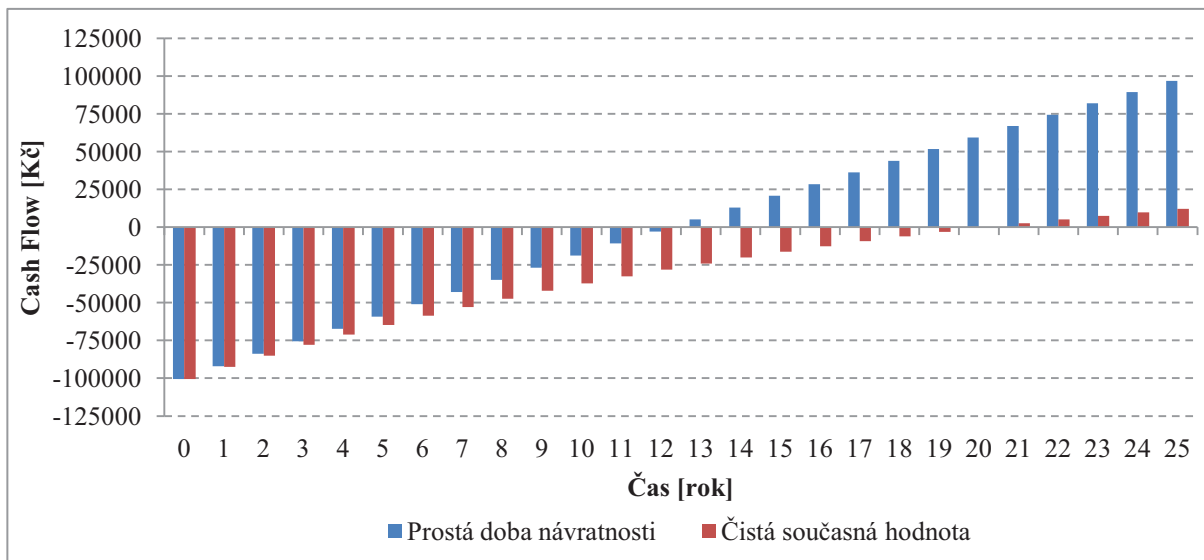
V tab. 8.4 jsou shrnuty peněžní toky pro variantu řešení FVE bez akumulace. Z celkových investičních nákladů (IN), které činí 100450 Kč, jsou dopočítány peněžní toky pro jednotlivé roky provozu. Hodnoty úspor získáním nenakoupením elektrické energie mají klesající tendenci. Je to z důvodu snížení výnosnosti solárních panelů, kvůli jejich degradaci po čase provozu. Pro výpočet prosté doby návratnosti (PDN) použijeme právě zmíněné peněžní toky cash flow (CF). Z těchto ušetřených peněz jsou poté pomocí diskontované míry spočítány čisté současné hodnoty (NPV) a z ní dopočítána diskontovaná doba návratnosti projektu.

#### Prostá doba návratnosti

$$PDN = \frac{IN}{CF} = \frac{100450}{7892} = 12,72 \text{ roků}$$

### Diskontovaná doba návratnosti

$$DN_D = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - PDN \cdot d}\right)}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - 12,72 \cdot 0,05}\right)}{\ln(1 + 0,05)} = 20,74 \text{ roků}$$



Graf. 8.1 Návrh návratnosti investice FVE bez akumulace

V grafu 8.1 jsou zaznamenány peněžní toky pro návratnost investice FVE bez akumulace s prostou dobou návratnosti a diskontovanou dobou návratnosti po celou dobu životnosti projektu. Investice do FVE bez akumulátoru se nám vrátí při prosté doby návratnosti za 12,72 roků. Při přihlédnutí k vývoji rizika dané investice je spočítána pomocí čisté současné hodnoty návratnost projektu na 20,74 roků. Zisk z této investice činí pro prostou dobu návratnosti 96845 Kč a pro diskontovanou dobu návratnosti 12062 Kč.

## 8.2 Ekonomické zhodnocení FVE s akumulací do baterií

Pro ekonomické zhodnocení varianty FVE s akumulací do baterií vycházíme z výpočtů optimalizace pro výkonové řešení v kap. 7.4.2 spolu s energetickou výtěžností v jednotlivých měsících v tab. 7.14 a návrhu kapacity akumulátorů provedené v kap. 7.3.1. Celková roční výroba elektrické energie je 3557,3 kWh.

### 8.2.1 Základní technické prvky FVE s akumulací do baterií

#### Volba fotovoltaického panelu

Fotovoltaický panel byl vybrán stejný jako u předchozí varianty a tedy AmeriSolar 255 W AS-6930. Parametry uvedeného panelu jsou v tab. 8.1.

## Volba solárního měniče

Pro volbu solárního měniče byl vybrán měnič SMA Sunny Boy 4000TL-21 od mezinárodní a stabilní firmy Solar Technology AG, která se zabývá výrobou prvků pro zdroje obnovitelné energie. V tab. 8.5 jsou parametry měniče SMA Sunny Boy 4000TL-21.

Tab. 8.5 Parametry měniče SMA Sunny Boy 4000TL-21 [40]



Solární měnič SMA Sunny Boy 4000TL-21		
Technické parametry měniče	Hodnota	Jednotka
Jmenovité vstupní výkon (DC)	4200	[W]
Maximální vstupní výkon (DC)	4200	[W]
Maximální vstupní napětí (DC)	400	[V]
Maximální vstupní proud (AC)	30	[A]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	4000	[W]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	22	[A]
Účinnost	97	[%]
Rozměry (V x Š x H)	519 x 490 x 185	[mm]
Hmotnost	26	[kg]

Obr. 8.3 Měnič SMA Sunny Boy 4000TL-21 [40]

## Volba akumulace elektrické energie

Pro volbu akumulace elektrické energie byl vybrán solární gelový akumulátor, který se vyznačuje bezúdržbovým provozem spolu s vysokou odolností proti poškození při hlubokém vybíjení.

Tab. 8.6 Parametry gelového akumulátoru AQL 12-100DG[41]



Solární gelový akumulátor AQL 12-100DG		
Technické parametry baterie	Hodnota	Jednotka
Jmenovité napětí	12	[V]
Jmenovitá kapacita	200	[Ah]
Životnost při 50 % DOD	1100	[cyklů]
Životnost při 80 % DOD	700	[cyklů]
Rozměry	522 x 240 x 219	[mm]
Hmotnost	60	[kg]

Obr. 8.4 Gelový akumulátor AQL 12-100DG [41]

### 8.2.2 Investiční náklady FVE s akumulací do baterií

V tab. 8.6 je rozpočet investičních nákladů pro variantu FVE s akumulací do baterií. Stejně jako u předchozí varianty jsou technické prvky rozpočítány na počet kusů. Zbýlé prvky jako jsou nosné konstrukce a elektrorozvody obsahují další části s nimi spojené, ale ve výsledné ceně jsou zahrnuty za jeden kus. Všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Tab. 8.7 Rozpočet investičních nákladů na FVE s akumulací do baterií

Položka	Množství	Cena za kus	Celkem
	[ks]	[Kč]	[Kč]
FV panel AmeriSolar 255 W AS-6P30	15	4412	66180
Měnič SMA Sunny Boy 4000TL-21	1	29 167	29167
Nosné konstrukce FVpanelů, včetně montáže	1	38560	36560
Elektrorozvody: solární kabeláže DC a AC, rozvaděče měniče, chráničky, přepět'ová ochrana	1	19185	16185
Projektová dokumentace včetně elektro projektu	1	5000	5000
Solární gelový akumulátor AQL 12-100DG	3	14278	42834
<b>Celkem</b>			<b>200926</b>

### 8.2.3 Přehled peněžní toků FVE s akumulací do baterií

Tab. 8.8 Přehled peněžních toků pro variantu FVE s akumulací do baterií

Rok	IN	CF	PDN	CF <sub>D</sub>	NPV
[n]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
0	-200926	-100926	-100926	-100926	-100926
1	+100000	11697	-89229	11140	-89786
2		11645	-77584	10563	-79224
3		11594	-65990	10015	-69209
4		11542	-54448	9495	-59713
5		11490	-42958	9003	-50710
6		11438	-31520	8536	-42175
7		11387	-20133	8092	-34082
8		11335	-8798	7672	-26410
9		11283	2485	7273	-19137
10		11232	13717	6895	-12242
11		11180	24897	6537	-5705
12	-42834	-31706	-6809	-17655	-23360
13		11077	4268	5874	-17486
14		11025	15293	5568	-11917
15		10973	26266	5278	-6639
16		10922	37187	5003	-1636
17		10870	48057	4742	3107
18		10818	58875	4495	7602
19		10766	69642	4261	11862
20		10715	80357	4038	15901
21		10663	91020	3827	19728
22		10611	101631	3627	23356
23		10560	112191	3438	26793
24	-42834	-32326	79865	-10023	16770
25		10456	90321	3088	19858

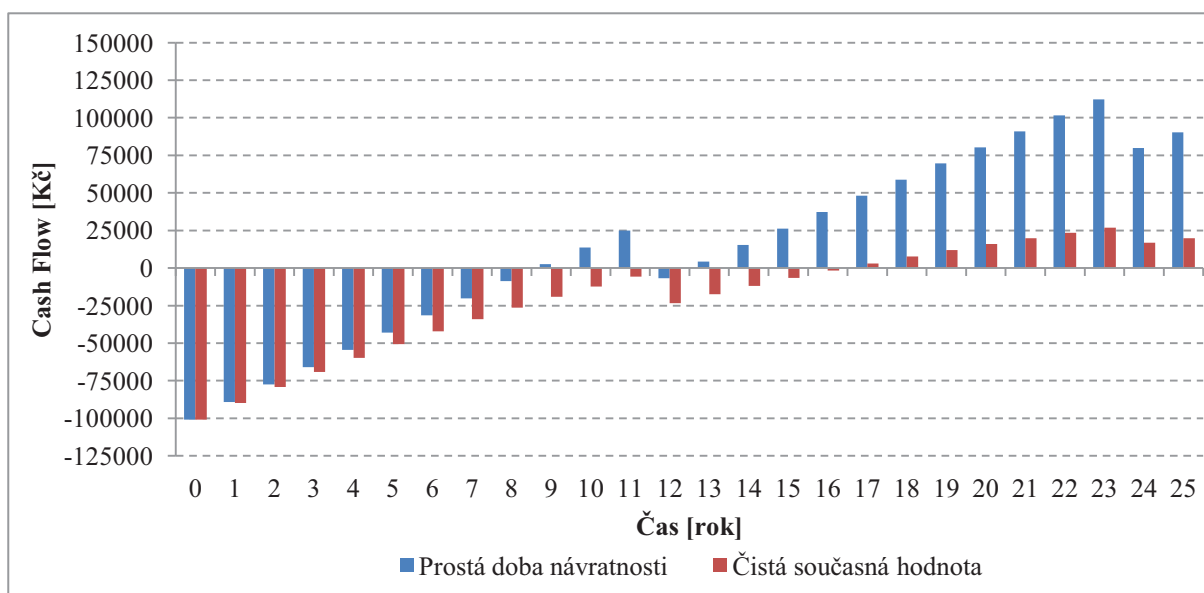
V tab. 8.8 je shrnutí vypočteného ekonomického projektu FVE s akumulací do baterií. Projekt byl pořízen s dotací z programu Nová zelená úsporám a to v celkové částce 50 % z investovaných nákladů, avšak nejvýše do částky 100000 Kč. Během provozu je nutná obměna baterií pro ukládání elektrické energie vždy po 12 letech.

### Prostá doba návratnosti

$$PDN = \frac{IN}{CF} = \frac{100926}{11482} = 8,79 \text{ roků}$$

### Diskontovaná doba návratnosti

$$DN_D = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - PDN \cdot d}\right)}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - 10,98 \cdot 0,05}\right)}{\ln(1 + 0,05)} = 16,34 \text{ roků}$$



Graf. 8.2 Návrh návratnosti investice FVE s akumulací do baterií

Graf 8.2 nám ukazuje peněžní toky během doby životnosti projekt FVE s akumulací do baterií. V grafu je zaznamenán zisk při prosté době návratnosti investice už za 8,79 roků provozu. Vzhledem k tomu, že po 12 roce je nutné reinvestovat do nových baterií. Dochází k propadu zisku do záporných čísel a prodloužení doby návratnosti až při 12,61 roků provozu. Čistá současná hodnota investice se prodlouží, díky už zmíněné reinvestice baterií až na 16,34 roků. Celkový zisk projektu FVE s akumulací do baterií vychází pro prostou dobu návratnosti 90321 Kč a pro čistou současnou hodnotu 19858 Kč.

## 8.3 Ekonomické zhodnocení FVE s akumulací do baterií a TUV

Pro ekonomické zhodnocení varianty FVE s akumulací do baterií a TUV vycházíme z výpočtů optimalizace pro výkonové řešení v kap. 7.4.3 spolu s energetickou výtěžností solárních panelů v jednotlivých měsících v tab. 7.15. Návrh kapacity akumulátorů a návrh ohřevu TUV je vypočten v kap. 7.3. Celková roční výroba elektrické energie činí 4031,6 kWh.

### 8.3.1 Základní technické prvky FVE s akumulací do baterií a TUV

#### Volba fotovoltaického panelu

Použití fotovoltaického panelu pro řešení varianty FVE s akumulací do baterií a TUV, je zvolen stejný panel jako u předchozích variant a to AmeriSolar 255 W AS-6930. Parametry uvedeného panelu jsou v tab. 8.1.

#### Volba solárního měniče

Pro volbu solárního měniče byl vybrán měnič Delta Solivia 5.0 EU G4 TR od firmy Delta group, která je lídrem v oblasti výroby a vývoje solárních měničů po celém světě.

Tab. 8.9 Parametry solárního měniče Solivia 5.0 EU G4 TR[42]



**Solární střídač Delta Solivia 5.0 EU G4 TR**

Technické parametry měniče	Hodnota	Jednotka
Jmenovité vstupní výkon (DC)	55000	[W]
Maximální vstupní výkon (DC)	6000	[W]
Maximální vstupní napětí (DC)	600	[V]
Maximální vstupní proud (AC)	36,6	[A]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	5000	[W]
Jmenovitý výstupní výkon (AC)	22	[A]
Účinnost	96,1	[%]
Rozměry (V x Š x H)	417 x 410 x 182	[mm]
Hmotnost	31	[kg]

Obr. 8.5 Měnič Delta Solivia 5.0 EU G4 TR [42]

#### Volba akumulace elektrické energie

Akumulátor pro ukládání elektrické energie v projektu FVE s akumulací do baterií a TUV je zvolen stejný typ jako u předchozí varianty řešení a to gelového akumulátoru AQL 12-100DG. Parametry uvedeného akumulátoru jsou v tab. 8.3.

## Volba akumulace elektrické energie do TUV

Pro volbu ohřívače s akumulací nádrží pro TUV byl vybrán stacionární ohřívač vody s akumulací nádrží LX ACDC/M+KW 200 od firmy Družstevní závody Dražice, která se na trhu výrobou těchto zařízení podílí řadu let.

Tab. 8.10 Parametry ohřívače TUV LX ACDC/M+KW [43]



Ohřívač TUV s akumulací nádrží TUV LX ACDC/M+KW		
Technické parametry měniče	Hodnota	Jednotka
Objem	195	[l]
Tepelné ztráty	1,4	[kWh/24]
Příkon AC spirály	2	[kW]
Teplostěnná plocha výměníku	1	[m <sup>2</sup> ]
Rozměry (V x P)	1287 x 584	[mm]
Hmotnost	88	[kg]

Obr. 8.6 Ohřívač TUV s akumulací nádrží Sunny LX ACDC/M+KW [43]

## 8.3.2 Investiční náklady FVE s akumulací do baterií a TUV

Tab. 8.11 Rozpočet investičních nákladů na FVE s akumulací do baterií a TUV

Položka	Množství	Cena za kus	Celkem
	[ks]	[Kč]	[Kč]
FV panel AmeriSolar 255 W AS-6P30	17	4412	75004
Měnič Delta Solivia 5.0 EU G4 TR	1	38366	38366
Nosné konstrukce FVpanelů, včetně montáže	1	39200	38200
Elektrozvody: solární kabeláže DC a AC, rozvaděče měniče, chráničky, přepěťová ochrana	1	20125	17125
Projektová dokumentace včetně elektro projektu	1	5000	5000
Solární gelový akumulátor AQL 12-100DG	3	14278	42834
Akumulací nádrž LX ACDC/M+KW 200	1	18700	18700
<b>Celkem</b>			<b>239229</b>

Rozpočet investičních nákladů na FVE s akumulací do baterií a TUV je v tab. 8.11. Jednotlivé položky jsou rozpočítány na cenu za kus. Výjimkou jsou technické součásti, které v sobě zahrnují řadu dalších komponentů nebo pracovních úkonů spjatou s výstavbou projektu. Mezi tyto celky řadíme nosné konstrukce a elektrozvody a jsou v rozpočtu charakterizovány pouze celkovou cenou. Všechny ceny jsou uvedeny včetně DPH.

### 8.3.3 Přehled peněžních toků FVE s akumulací do baterií a TUV

Tab. 8.12 Přehled peněžních toků pro variantu FVE s akumulací do baterií a TUV

Rok	IN	CF	PDN	CF <sub>D</sub>	NPV
[n]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
0	-239229	-139229	-139229	-139229	-139229
1	+100000	13903	-125326	13241	-125988
2		13842	-111484	12555	-113433
3		13780	-97704	11904	-101529
4		13719	-83985	11287	-90242
5		13657	-70327	10701	-79541
6		13596	-56731	10146	-69396
7		13535	-43197	9619	-59777
8		13473	-29724	9119	-50658
9		13412	-16312	8645	-42013
10		13350	-2962	8196	-33817
11		13289	10327	7770	-26047
12	-42834	-29607	-19280	-16486	-42533
13		13166	-6114	6982	-35551
14		13104	6991	6619	-28933
15		13043	20034	6274	-22659
16		12982	33015	5947	-16712
17		12920	45935	5637	-11075
18		12859	58794	5343	-5732
19		12797	71591	5064	-667
20		12736	84327	4800	4133
21		12674	97001	4549	8682
22		12613	109614	4312	12994
23		12551	122165	4086	17080
24	-42834	-30344	91821	-9409	7671
25		12429	104250	3670	11342

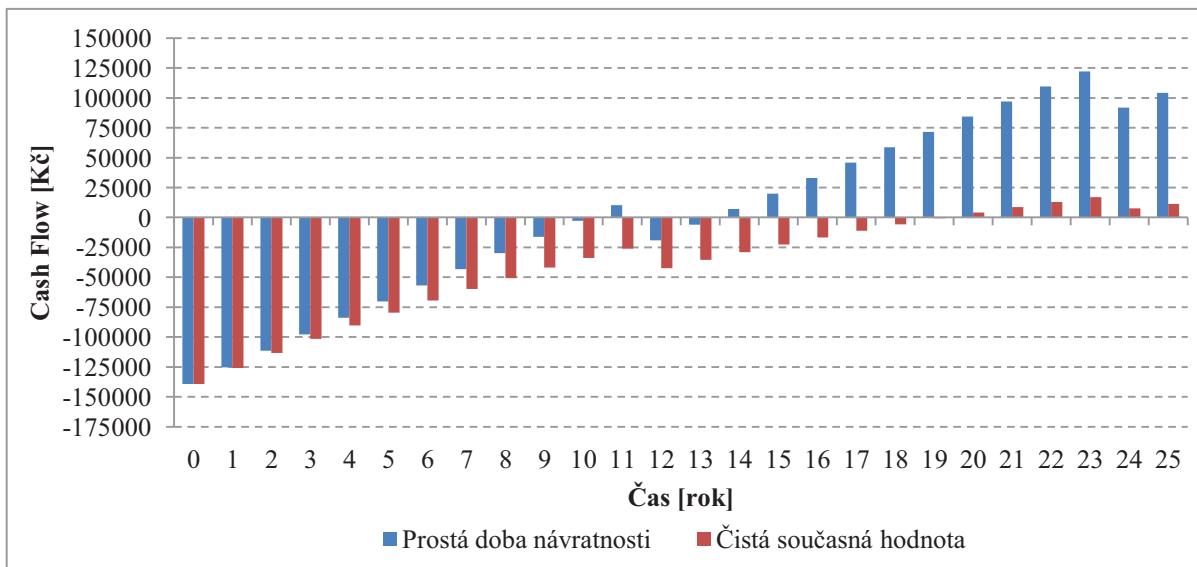
V tab. 8.12 je přehled peněžních toků pro návrh FVE s akumulací do baterií a TUV. Projekt je spolufinancován dotačním programem Nová zelená úsporám částkou 100000 Kč. Během životnosti projektu je nutné reinvestovat do ukládání elektrické energie pomocí baterií vždy po 12 letech.

#### Prostá doba návratnosti

$$PDN = \frac{IN}{CF} = \frac{139226}{13623} = 10,22 \text{ roků}$$

**Diskontovaná doba návratnosti**

$$DN_D = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - PDN \cdot d}\right)}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - 12,14 \cdot 0,05}\right)}{\ln(1 + 0,05)} = 19,14 \text{ roků}$$



*Graf. 8.3 Návrh návratnosti investice FVE s akumulací do baterií a TUV*

V grafu 8.3 je vývoj peněžních toků v projektu FVE s akumulací do baterií a TUV. Hodnota prosté doby návratnosti vychází na 10,22 roků. Vzhledem k nutné reinvestici do akumulace elektrické energie pro baterie, dochází k propadu zisku do záporných čísel a hodnota návratnosti se posouvá až na 13,46 roků. Návratnost započítáním diskontované míry pro čistou současnou hodnotu dojde k ziskovosti projektu až za 19,14 roků. Celkový výnos FVE s akumulací do baterií a TUV pro prostou dobu návratnosti je 104250 Kč a pro čistou současnou hodnotu 11342 Kč.

## Závěr

Diplomová práce se zabývá současnými trendy v oblasti střešních fotovoltaických systémů s propojením vedlejšího systému na akumulaci elektrické energie. V teoretické části jsou rozebrány struktury a fungování solárního článku, výroby a správného výběru druhu fotovoltaického článku nese primární základ pro správný návrh FV systému. Pro použití solárních článků se nejčastěji používají polykrystalické články, které oproti ostatním druhům, jako jsou monokrystalické články nebo články z tenkých vrstev, vycházejí v poměru účinnost/cenu nejlépe dosažitelné pro návrh FVE na střeše rodinného domu. Výběr správného druhu zařízení pro akumulaci elektrické energie, může navrhovaný projekt zlevnit, naproti tomu nevhodná technologie může pohřbit projekt už při jeho počátcích. Pro ukazatele výhodnosti technického zařízení pro ukládání elektrické energie hledíme na řadu jeho vlastností. Nejčastěji nás zajímá cenové kritérium, tedy cena za uložení energie o velikosti 1 kWh. Další důležité kritérium je životnost. Ta je spjata s hloubkou vybití, udává se v cyklech a nejčastěji je uvedena při procentuálním vybitím např. 50 % nebo 80 %, jako další atributy považujeme účinnost a v dnešní době také ekologickou stránku daného typu zařízení pro ukládání elektrické energie. Mezi nejvíce využívané druhy akumulace elektrické energie pro malé systémy, jsou baterie pracující na chemickém principu s použitím základních součástí katody, anody a elektrolytu. Budoucností ukládání energie bude směřovat především ke zlepšení vlastností stávajících baterií pro malé aplikace a také ukládání energie ve formě vodíku především pro větší aplikace.

V praktické části jsou provedeny návrhy řešení střešní FVE bez akumulace, FVE s akumulací do baterií a FVE s akumulací do baterií a TUV pro rodinný dům ve městě Břeclavi. Pro účely návrhů byla změřena spotřeba elektrické energie po jednotlivých hodinách v měsíci březnu. Ze spotřeb energie vyplynula charakteristika používání elektrických spotřebičů v rodinném domě. Na základě měření byly zpracovány procentuální využití elektrických spotřebičů zařazených do jednotlivých kategorií. Hodnoty spotřeb jsou dále použity pro optimalizaci velikosti fotovoltaického systému pro jednotlivé návrhy. Dále jsou vypočítány intenzity slunečního záření v hodinových intervalech pro celý rok. Tyto data slouží k výpočtu elektroenergetické výtěžnosti solárních panelů. Pro nalezení ekonomicky nejvýhodnějšího výkonového řešení jsou propočítány optimalizační charakteristiky pro jednotlivé varianty návrhu fotovoltaického systému na základě naměřených spotřeb elektrické energie spolu s výtěžností solárních panelů pro rodinný dům. Pro jednotlivé návrhy řešení jsou provedeny technicko-ekonomické zhodnocení s výběrem základních prvků, investičních nákladů, přehledů peněžních toků a doby návratnosti. S ohledem na nejkratší dobu návratnosti investičních nákladů vychází nejvýhodnější použití návrhu FVE s akumulací do baterií o výkonu 3,64 kWp s dobou návratnosti 16,34 roků. Jako další zůstává řešení návrhu FVE s akumulací do baterií a TUV o výkonu 4,12 kWp s dobou návratnosti 19,14 roků a poslední je návrh FVE bez akumulace s výkonem 2,12 kWp a dobou návratnosti 20,14 roků. Pro řešení FVE s akumulací bylo finančně dotováno s programem Nová zelená úsporám oproti nedotovanému návrhu bez akumulace. Všechny navržené projekty pro rodinný dům se za svou odhadovanou dobu životnosti 25 let splatí. V budoucnosti můžeme očekávat zlepšení účinnosti fotovoltaických panelů spolu s akumulací a tím zvýšení ekonomické návratnosti.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie*. 1. vyd. Praha: Ilsa, 2009, 160 s. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [2] *Global precipitation measurement mission: Earth's Global Energy Budget* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://pmm.nasa.gov/education/lesson-plans/global-energy-budget>
- [3] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [4] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [5] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektrina ze slunce*. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008, vii, 81 s. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [6] Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2014. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocni-zpravy-o-provozu>
- [7] *PV Crystalox Solar* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.pvcystalox.com/media/pdf/PV20Crystalox20Solar20PLC20Interim20report202015.pdf>
- [8] Ostrovní fotovoltaické elektrárny. *RD Solar* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.rdsolar.cz/sluzby/ostrovni-fotovoltaicke-elektrarny>
- [9] BENDA, Vítězslav, Kamil STANĚK a Petr WOLF. *Fotovoltaické systémy*. Brno: Centrum pro rozvoj výzkumu pokročilých řídicích a senzorických technologií, 2011.
- [10] MAREŠ, Jan, Martin LIBRA a Vladislav POULEK. Akumulace elektrické energie. *Elektro* [online]. 2011(2) [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>
- [11] DVOŘÁK, Petr, Petr BAČA a David PLÉHA. Akumulace elektriny. *TZB-info* [online]. 2011 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>
- [12] REICHEL, Tomáš. Sodíkové baterie – konstrukce, princip činnosti a aplikace. *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/sodikove-baterie-konstrukce-princip-cinnosti-a-aplikace/>
- [13] REICHEL, Tomáš. Průtoková baterie. *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/prutokova-baterie/>
- [14] REICHL, Tomáš. Metal-air (Kov-vzduchová) baterie. *Oenergetice* [online]. 2015 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/metal-air-kov-vzduchova-baterie/>
- [15] MURTINGER, Karel. Ukládání elektriny z fotovoltaických a větrných elektráren. *Nazeleno* [online]. 2011 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektriny-z-fotovoltaickych-a-vetrnych-elektraren.aspx>
- [16] BAČA, Petr. Akumulace energie z OZE - vodíkové hospodářství. *TZB-info* [online]. 2011 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7134-akumulace-energie-z-oze-vodikove-hospodarstvi>

- [17] Hedström L., Wallmark C., Alvfors P., Rissanen M., Stridh B., Ekmanc J.: Description and modelling of the solar-hydrogen-biogas-fuel cell system in GlashusEtt, *Journal of Power Sources* 131 2004 340-350
- [18] Právní předpisy ČR. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/legislativa/pravni-predpisy-cr>
- [19] Zákony a předpisy. *Isofen energy* [online]. [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.isoenergy.cz/zakony-fotovoltaika.aspx>
- [20] ONDROUŠEK, L. *Připojování fotovoltaických zdrojů k distribuční síti*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2009, 99 stran.
- [21] Výše výkupních cen a zelených bonusů. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>
- [22] Podmínky oblasti podpory C. *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-c-3-vyzva/>
- [23] Legislativa. *AEKO* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.solarnivyroba.cz/legislativa>
- [24] HALUZA, Miroslav a Jan MACHÁČEK. Spotřeba elektrické energie domácností, predikce a potenciální úspory pomocí BACS. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/8570-spotreba-elektricke-energie-domacnosti-predikce-a-potencialni-uspory-pomoci-bacs>
- [25] Energetické štítkování elektrospotřebičů. *PREměření* [online]. 2011 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/energeticke-stitkovani-elektrospotrebicu/>
- [26] KOPAČKOVÁ, Dagmar. Nové energetické štítky na spotřebiče v roce 2011. *TZB-info* [online]. 2011 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/7226-nove-energeticke-stitky-na-spotrebice-v-roce-2011>
- [27] Uživatelská příručka o pohotovostní spotřebě elektřiny domácích spotřebičů. *TZB-info* [online]. 2010 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/6911-uzivatelska-prirucka-o-pohotovostni-spotrebe-elektřiny-domacich-spotrebicu>
- [28] Struktura ceny elektřiny. *TZB-info* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/208-jake-jsou-slozky-celkove-ceny-za-dodavku-elektřiny>
- [29] Vývoj celkových cen elektřiny: Celková cena elektřiny Česká republika - D02d. *TZB-info* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektřiny?sazba=D02d>
- [30] NĚMEC, Zdeněk. *Regulace a automatizace energetických zařízení: Studijní opora pro magisterské studium Obor Energetické strojírenství*. Brno: VUT v Brně, Ústav automatizace a informatiky, 2016.
- [31] PLCHÚT, Martin. Co je Smart Grid? In: *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/12544-co-je-smart-grid>
- [32] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina, 1994. ISBN 80-900-7595-9.
- [33] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-09, [last updated 2015-02]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>

- [34] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2003. ISBN 80-865-1759-4.
- [35] Vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na jejich výkon. *Solareni* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.solareni.cz/a-6-elektrarny-pro-pokryti-vlastni-spotreby.html>
- [36] SMRŽ, Milan. Fotovoltaika. *Udržitelnost* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.udrizitelnost.cz/soubory/fotovoltaika.pdf>
- [37] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [38] Fotovoltaický panel AmeriSolar 255 W polykrystal. *Eshopelektronika* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.eshopelektronika.cz/detail/fotovoltaicke-panely/fotovoltaicky-pan-el-amerisolar-255-w-polykrystal-skladem>
- [39] Solární měnič Delta Solivia 2,5 EU G4. *IfTECH* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://shop.iftech.cz/index.php/delta-solivia-2-5-eu-g4-tr-1-fazovy-p419>
- [40] Solární měnič SMA Sunny Boy 4000TL-21. *IfTECH* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://shop.iftech.cz/index.php/sma-sunny-boy-4000tl-21-bluetooth-and-speedwire--p372>
- [41] Solární gelový akumulátor 200Ah. *Solární panely* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://solarni-panely.cz/katalog-produktu/solarni-akumulatory/solarni-gelovy-akumulator-200ah>
- [42] Solární měnič Delta Solivia 5 EU G4 TR. *IfTech* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://shop.iftech.cz/index.php/delta-solivia-5-eu-g4-tr-1-fazovy-p423>
- [43] FOTOVOLTAICKÉ OHŘÍVAČE A AKUMULAČNÍ NÁDRŽE. *Družstevní závody Dražice* [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: <http://www.dzd-fv.cz/cs/cenik>

## Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Jednotka	Popis
$A$	[m <sup>2</sup> ]	disponibilní plocha střechy
$A_p$	[m <sup>2</sup> ]	plocha jednoho panelu
$a$	[°]	azimut slunce
$a_s$	[°]	azimutový úhel normály osluněné plochy od směru jih
$C_{aku}$	[Ah]	kapacita akumulátoru
$c$	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita
$d$	[-]	počet dnů otopného období
$d_{rev}$	[-]	rezervní počet dní pro akumulaci baterií
$E_{aku}$	[kWh]	potřebné množství elektrické energie pro akumulaci
$E_{elektrický}$	[Wh]	elektroenergetická výtěžnost
$E_{spotřeba}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie v objektu pro akumulaci
$f_{sklonu}$	[-, %]	vliv sklonu a orientace
$H$	[m]	nadmořská výška daného místa
$h$	[°]	výška slunce nad obzorem
$I$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita celkového slunečního záření
$I_{\check{c}}$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší
$I_D$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita difúzního záření
$I_{Dh}$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu
$I_n$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší
$I_P$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu
$I_{Ph}$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu
$I_{Pn}$	[W · m <sup>-2</sup> ]	intenzita přímého záření na plochu kolmou ke směru paprsků
$I_{stř}$	[W · m <sup>-2</sup> ]	střední intenzita slunečního záření
$I_0$	[W · m <sup>-2</sup> ]	střední intenzita dopadajícího slunečního záření (solární konstanta)
$M_e$	[W · m <sup>-2</sup> ]	vyzařovací energie pro černé těleso
$N$	[-]	počet dnů pro ohřev TUV
$n$	[-]	počet dnů v měsíci
$P$	[kW]	příkon elektrického spotřebiče
$\Delta P_s$	[W]	část výkonu přenášeného zářením z povrchu Slunce dopadající na Zemi
$P_{MPP}$	[kWp]	instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny
$P_s$	[W]	výkon přenášený zářením z povrchu Slunce
$Q_{D den}$	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	skutečná difúzní energie dopadající za den
$Q_{TUV,d}$	[kWh/den]	denní potřeba tepla k ohřevu TUV
$Q_{TUV,r}$	[kWh/rok]	roční potřeba tepla k ohřevu TUV
$Q_{S den}$	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	skutečná energie dopadající za den
$Q_{S den teor}$	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	teoretická energie dopadající za den
$Q_{S měs}$	[Wh · m <sup>-2</sup> ]	skutečná energie dopadající za měsíc

$R_{sz}$	[m]	střední vzdálenost Země od Slunce
$r$	[-]	reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky
$r_s$	[m]	poloměr Slunce
$r_z$	[m]	poloměr Země
$S_p$	[-]	počet panelů
$T$	[K]	teplota na povrchu Slunce
$t$	[s]	čas za jeden den
$t_s$	[h]	čas, po který je spotřebič zapnut
$t_{svl}$	[°C]	teplota studené vody v létě
$t_{svz}$	[°C]	teplota studené vody v zimě
$t_1$	[°C]	teplota studené vody
$t_2$	[°C]	teplota ohřáté vody
$U_{system}$	[V]	napětí systému
$V_p$	[m <sup>3</sup> ]	potřeba TUV na den
$W$	[kWh]	elektrická práce
$W_z$	[J]	střední hodnota energie slunečního záření dopadající za jeden den na Zemi
$Z$	[-]	součinitel znečištění atmosféry
$z$	[-]	koeficient ztrát systému pro přípravu TUV
$\alpha$	[°]	úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny
$\gamma$	[°]	úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu
$\varepsilon$	[-]	součinitel charakterizující výšku slunce nad obzorem a na nadmořské výšce daného místa
$\eta$	[-,%]	účinnost fotovoltaického panelu
$\eta_{kabel}$	[-,%]	účinnost kabelu přenášející proud od baterie ke spotřebičům
$\eta_{střídač}$	[-,%]	účinnost střídače
$\rho$	[kg · m <sup>-3</sup> ]	hustota vody
$\sigma$	[W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-4</sup> ]	Stefan - Boltzmannova konstanta
$\tau_{skut}$	[h]	skutečná doba slunečního svitu
$\tau_{teor}$	[h]	teoretická doba slunečního svitu
$\tau_1$	[h]	doba východu slunečního svitu
$\tau_2$	[h]	doba západu slunečního svitu
$\bar{\tau}$	[-]	poměrná doba slunečního svitu

---

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
AC	Střídavý proud
CF	Cash flow
CF <sub>D</sub>	Cash flow diskontovaný
DC	Stejnoseměrný proud
DN <sub>D</sub>	Diskontovaná doba návratnosti
DOD	Depth of discharge
DZE	Druhotné zdroje energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
EVA	Ethylene-vinyl-acetate
FVE	Fotovoltaická elektrárna
IN	Investiční náklady
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
MPPT	Maximum Power Point Tracking
NPV	Čistá současná hodnota
OTE	Operátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PEMe	Polymer Electrolyte Membrane
PEMp	Proton Exchange membráně
PDN	Prostá doba návratnosti
PR	Performance Ratio
PRE	Pražská energetika
STS	Standard Test Conductions
TCO	Transparent Conductive Oxide
TUV	Teplá užitková voda
VRB	Vanadium redoxní baterie
VT	Vysoký tarif