



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU RODINNÉHO DOMU

DESIGN OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR A FAMILY HOUSE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Darebný

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Dávid Stachala

BRNO 2017

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**  
Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Tomáš Darebný

**ID:** 147432

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2016/2017

## NÁZEV TÉMATU:

**Návrh fotovoltaického systému rodinného domu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s teorií týkající se fotovoltaických článků, modulů a systémů. Prostudujte možnosti instalace fotovoltaického systému na střechu rodinného domu ve Středočeském kraji, lokalita Kutná Hora. Za pomoci vhodných simulačních programů proveďte návrh fotovoltaického systému. Porovnejte jednotlivé simulační programy z hlediska databáze komponent a použitelnosti v České republice a výstupních parametrů. Vytvořte několik variant FV systémů a výstupy práce vyhodnoťte z hlediska návratnosti počáteční investice.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucí práce.

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 25.5.2017

**Vedoucí práce:** Ing. Dávid Strachala

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně/ Technická 3058/10 / 61600 / Brno

## Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „**Návrh fotovoltaického systému na střechu rodinného domu**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 25. května 2017

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Dávidu Strachalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 25. května 2017

.....  
podpis autora

## Bibliografická citace

DAREBNÝ, T. *Návrh fotovoltaického systému rodinného domu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 78 s.  
Vedoucí diplomové práce Ing. Dávid Strachala.

# ANOTACE

V této diplomové práci jsou shrnuty základní poznatky o fotovoltaické přeměně energie, zařízeních a materiálech, které se ve fotovoltaice používají. Hlavním cílem této práce je zorientovat čtenáře ve fotovoltaických systémech, které se v dnešní době používají a vysvětlit jejich výhody a nevýhody při návrhu systému

**Klíčová slova:** fotovoltaika, PN přechod, fotovoltaický článek, fotovoltaický modul, hybridní systém, střídač, akumulátor, regulátor nabíjení

# ANNOTATION

Basic knowledge of photovoltaic energy transformation, devices and materials, used in photovoltaic are summarized in this master's thesis. The main goal of this thesis is orientation in the photovoltaic systems used these days and explain advantages and disadvantages of these systems during the design phase.

**Key words:** photovoltaic, PN junction, photovoltaic cell, photovoltaic module, hybrid system, inverter, battery, charge controller

# Obsah

Seznam obrázků.....	7
Seznam tabulek.....	8
Úvod .....	9
1 Fotovoltaika .....	10
1.1 Fotoelektrický jev .....	10
1.2 Sluneční záření.....	11
1.2.1 Intenzita slunečního záření na povrchu Země .....	12
1.3 Fotovoltaický článek a jeho princip .....	14
1.3.1 PN přechod.....	14
1.3.2 Zapojení fotovoltaických článků.....	16
1.3.3 Základní elektrické parametry fotovoltaických článků.....	17
1.4 První generace fotovoltaických modulů .....	19
1.4.1 Výroba křemíkového polotovaru .....	19
1.4.2 Monokrystalický křemík .....	20
1.4.3 Polykrystalický křemík .....	20
1.5 Konstrukce fotovoltaických modulů.....	21
1.5.1 Pouzřicí materiály .....	21
1.5.2 Vhodnost použití různých druhů FV modulů .....	24
1.5.3 Upevnění na střechu.....	25
1.6 Fotovoltaické systémy .....	27
1.6.1 OFF GRID .....	27
1.6.2 ON GRID .....	29
1.6.3 Hybridní ON GRID systém .....	30
1.7 Střídače .....	31
1.7.1 Účinnost .....	31
1.7.2 Rozsah MPP.....	31
1.7.3 Další faktory střídačů .....	32
1.7.4 Příčiny sníženého výkonu .....	33
1.8 Produkce fotovoltaických modulů .....	34
2 OZE.....	35
2.1 Druhy OZE.....	35
2.2 Nová zelená úsporám .....	35

2.2.1	Nová zelená úsporám pro rodinné domy .....	36
2.3	Mikrodroje.....	37
3	Praktická část .....	38
3.1	Popis řešeného objektu .....	38
3.2	Návrh FV systémů .....	40
3.3	Spotřeba elektrické energie.....	41
3.4	Vybrané komponenty.....	42
3.4.1	FV modul <i>TrinaSolar TSM-PC05</i> .....	42
3.4.2	Střídač <i>Fronius Galvo 3.1-1</i> .....	42
3.4.3	Hybridní střídač <i>Studer Innotec XTM 4000-48</i> .....	43
3.4.4	Regulátor nabíjení <i>Studer Innotec VarioTrack VT-65</i> .....	43
3.4.5	Li-Ion baterie <i>BMZ ESS 3.0</i> .....	44
3.5	Umístění na střechu.....	45
3.6	Elektroinstalace.....	46
3.7	Použité simulační programy .....	47
3.7.1	<i>HOMER Pro</i> .....	47
3.7.2	<i>PV*SOL</i> .....	48
3.7.3	<i>PVGis</i> .....	48
3.8	Výstupy ze softwaru .....	49
3.8.1	FVE v programu <i>PV*SOL</i> .....	49
3.8.2	HFVE v programu <i>HOMER Pro</i> .....	51
3.8.3	HFVE v programu <i>PVGis</i> .....	55
4	Návratnost .....	56
4.1	Návratnost HFVE.....	56
4.2	Návratnost FVE .....	58
	Závěr.....	59
	Seznam použité literatury .....	60
	Seznam použitých zkratek.....	64
	Seznam příloh.....	65
	Příloha F .....	76
	Příloha G.....	78

## Seznam obrázků

Obr. 1: Elektromagnetické spektrum [11] .....	11
Obr. 2: Závislost přímého a difúzního záření na ročním období [13] .....	12
Obr. 3: Využitelnost energie pro křemík [15] .....	14
Obr. 4: Závislost účinnosti na šířce zakázaného pásu .....	15
Obr. 5: Sestavování fotovoltaického pole [15] .....	16
Obr. 6: V-A charakteristika fotovoltaického modulu [18] .....	18
Obr. 7: Schematické znázornění postupu výroby Si polotovaru pro výrobu PV článků [5] ....	19
Obr. 8: Vzhled základních typů fotovoltaický článků [7] .....	20
Obr. 9: Konstrukce FV modulu [7] .....	21
Obr. 10: Základní druhy střech [33] .....	25
Obr. 11: Střešní háky a kolejnicový systém [34] .....	26
Obr. 12: Vertikální montáž modulů na příčné nosné kolejnice [34] .....	26
Obr. 13: Schéma zapojení izolovaného ostrovního systému [31] .....	27
Obr. 14: Schéma zapojení hybridního ostrovního systému [31] .....	28
Obr. 15: Schéma zapojení systému připojeného k elektrické síti [31] .....	29
Obr. 16: Technologie střídačů [36] .....	32
Obr. 17: Vliv znečištění skla na propustnost světla [35] .....	33
Obr. 18: Celková produkce FV modulů [21] .....	34
Obr. 19: Katastrální mapa .....	38
Obr. 20: Jižní pohled na rodinný dům .....	39
Obr. 21: TrinaSolar TSM-PC05 [30] .....	42
Obr. 22: Fronius Galvo 3.1-1 [24] .....	42
Obr. 23: Studer Innotec XTM 4000-48 [29] .....	43
Obr. 24: Technologie Smart-Boost .....	43
Obr. 25: Studer Innotec VarioTrack VT-65 [28] .....	44
Obr. 26: BMZ ESS 3.0 .....	44
Obr. 27: Rozmístění FV modulů na střeše .....	45
Obr. 28: Jednopolové schéma zapojení systému HVVE .....	46
Obr. 29: Uživatelské prostředí HOMER Pro [27] .....	47
Obr. 30: Uživatelské prostředí PVGIS [25] .....	48
Obr. 31: Výstup z programu PV*SOL pro FVE .....	49
Obr. 32: Nastavení vstupní obrazovky programu HOMER Pro .....	51
Obr. 33: Výroba elektrické energie FV moduly v průběhu roku .....	52
Obr. 34: Výkon střídače v průběhu roku .....	52

Obr. 35: Stav kapacity akumulátoru v průběhu dne a roku .....	53
Obr. 36: Stav kapacity akumulátoru v průběhu roku.....	53
Obr. 37: Produkce FV modulů v průběhu roku .....	54
Obr. 38: Koláčové grafy z programu <i>PV*SOL</i> .....	58

## Seznam tabulek

Tab. 2-1: Dotace z programu Nová zelená úsporám.....	36
Tab. 3-1: Navržené FV systémy .....	41
Tab. 3-2: Spotřeba elektrické energie .....	41
Tab. 3-3: Přehled vyrobené a spotřebované elektrické energie v průběhu roku u FVE .....	50
Tab. 3-4: Nasimulované hodnoty slunečního svitu a produkce elektrické energie z <i>PVGis</i> .....	55
Tab. 4-1: Přehled vyrobené a spotřebované elektrické energie v průběhu roku u HFVE .....	56
Tab. 4-2: Cena za HFVE.....	57
Tab. 4-4: Cena za FVE.....	58

# Úvod

Většinu energie si naše civilizace bere z fosilních zásob, tyto zásoby se však velice rychle zmenšují a lidstvo bude za pár desítek let čelit obrovskému problému – kde vzít tolik množství energie, na kterou je zvyklé. Fotovoltaika je jednou z možností, jak tuto situaci vyřešit. Je ovšem potřeba si uvědomit, že i na výrobu fotovoltaických modulů je zapotřebí spousta energie, zejména té z fosilních paliv. Cílem této diplomové práce není provádět osvětlu, nýbrž uvést čtenáře do tématu fotovoltaiky, která je v dnešní době hojně využívána na úsporu elektrické energie v domácnostech.

V úvodu práce jsou vysvětleny základní principy fotovoltaiky, které jsou podmíněny slunečním zářením dopadajícím na zemský povrch. Po vysvětlení teoretických základů se zabývá samotnými fotovoltaickými články, které jsou základem pro fotovoltaické moduly – uspořádání většího počtu článků v jeden celek s ochranným rámem. Tyto moduly pak slouží jako základ při výrobě elektrické energie ze slunečního záření. Samy o sobě by fungovat nemohly a proto jsou zde představeny i další zařízení, která se využívají při návrhu fotovoltaických systémů. Konkrétně se jedná o střídače, akumulátory, regulátory nabíjení, které jsou využívány v jednotlivých fotovoltaických systémech.

Záleží na požadavcích investora, pro jaké účely bude chtít fotovoltaický systém využívat. Od toho se pak odvíjí samotný návrh systému. Například v horských oblastech, kde není k dispozici distribuční síť, může být navržen systém pro autonomní provoz zálohovaný jiným zdrojem energie – většinou fosilním, například elektrocentrálou spalující benzin. V městských zástavbách ale takovýto druh instalace nepřichází v úvahu a existují tam dva základní druhy instalací. Systém, který bude přímo využívat vyrobenou elektrickou energii a při jejím nedostatku bude zálohován elektrinou z distribuční sítě. Druhou, v dnešní době zajímavější variantou, je systém, který bude vyrobenou elektrickou energii akumulovat do baterií nebo do nádrží na teplou užitkovou vodu. Při správném, dobře dimenzovaném návrhu, může tento systém být plně soběstačný a nemusíme nakupovat elektrickou energii od distributora.

Na realizaci nových fotovoltaických systémů lze získat státní dotaci. Není ovšem jednoduché se v těchto směrnících orientovat. Hlavním cílem této diplomové práce bude nastínit čtenáři současnou situaci na trhu fotovoltaických systémů a co nejvíce objasnit výhody a nevýhody jednotlivých druhů těchto systémů.

# 1 Fotovoltaika

Pojem fotovoltaika pochází ze dvou slov řeckého φώς [phos] = světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Volty. Objev fotoelektrického jevu je připisován francouzskému fyzikovi Alexandru Edmondu Becquerelovi, který jej objevil již ve svých devatenácti letech v roce 1839. Fyzikálně se fotoelektrický jev podařilo popsat až v roce 1905 Albertu Einsteinovi, za což byl také ověnčen Nobelovou cenou. [1]

Fotovoltaika je technologie, jež umožňuje výrobu elektrické energie přímo ze slunečního záření. Díky tomu má neomezený růstový potenciál a časově neomezené možnosti, kdy k výrobě energie dochází. Nejedná se pouze o zajímavou technologii, ale také o vyspělé průmyslové odvětví, které zažívá neobvyklý rozvoj. O fotovoltaiku se zajímá spousta vyspělých zemí včetně mnohých z Evropské unie. Existuje zde jistá potřeba fotovoltaiku podporovat, neboť se jedná o obnovitelný zdroj energie, který je nevyčerpatelný.

## 1.1 Fotoelektrický jev

K popsání fotoelektrického jevu je třeba chápat světlo jako proud fotonů, z nichž má každý svoje typické kvantum energie. Foton je vždy popsán svou unikátní vlnovou délkou nebo frekvencí. Fotony s vyšší frekvencí mají více energie. Vlnová délka a energie fotonu se vypočítá následovně:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2)$$

$\lambda$  = vlnová délka [m]

$f$  = frekvence [Hz]

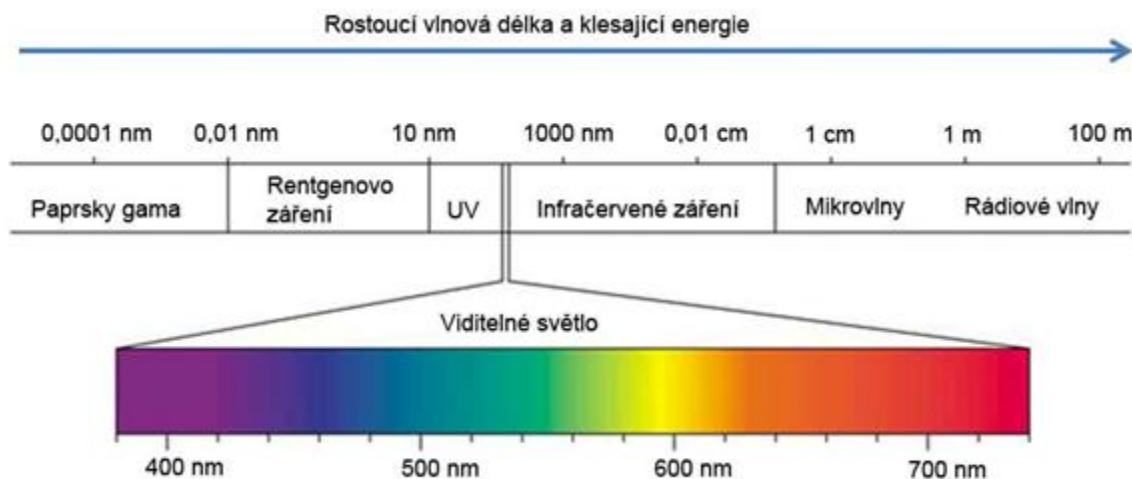
$E$  = energie [J]

$h$  = Planckova konstanta  $6,62 \cdot 10^{-34}$  [J.s]

$c$  = rychlost světla =  $3 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>

Lidským okem lze vidět pouze část slunečního spektra v oblasti vlnových délek  $\lambda = 380$  až  $780$  nm. Oblast s kratší vlnovou délkou (větší energií) se nazývá ultrafialová (UV) a oblast s delší vlnovou délkou se nazývá infračervená (IČ). Kompletní elektromagnetické spektrum je zobrazeno na Obr. 1

Fotoelektrický jev umožňuje přeměnit sluneční záření v elektrickou energii. K tomu dojde, když foton interaguje s elektronem, předá elektronu veškerou energii a to elektronu umožní opustit atom. Vzniká tak volný elektron a díra. Tyto emitované elektrony jsou označovány jako fotoelektrony a jejich uvolňování se označuje jako fotoemise. [1]



Obr. 1: Elektromagnetické spektrum [11]

Pokud jev probíhá na povrchu látky, jedná se o vnější fotoelektrický jev. Jestliže uvolněné elektrony látku neopouští, ale zůstávají v ní jako vodivostní elektrony, hovoří se o vnitřním fotoelektrickém jevu. A pokud na látku dopadají elektrony, které způsobují vyzařování fotonů, jde o inverzní fotoelektrický jev. V solárních systémech se využívá fotoelektrického jevu vnitřního. [4]

## 1.2 Sluneční záření

Jedná se o energii vysílanou ze Slunce na osvětlenou stranu Země v podobě elektromagnetického záření. Velikost energie, která na Zemi dopadne, lze určit z průměru naší planety a sluneční konstanty. Zářivý výkon Slunce je přibližně 1 720 000 W, na povrch Země dopadne však jen jeho část. [12]

Co se využití sluneční energie týče, největším spotřebitelem je sama Země a její biosféra – flóra a fauna. Člověk se naučil využívat slunečního záření k výrobě jiného druhu energie, konkrétně k přímé přeměně slunečního záření na elektrickou (fotovoltaika), či tepelnou energii pro ohřev pracovního média (solární kolektory).

### 1.2.1 Intenzita slunečního záření na povrchu Země

Intenzitou slunečního záření na povrchu Země se označuje množství sluneční energie v kWh dopadající na m<sup>2</sup> povrchu Země, přičemž závisí na zeměpisné šířce, stejně jako na klimatických podmínkách dané oblasti. Pod vrstvou atmosféry se pak intenzita skládá ze dvou složek - z přímého a difúzního záření. [12]

Toto záření je součtem přímého a difúzního záření a je nazýváno jako globální sluneční záření. Zjednodušený vzorec pro výpočet globálního záření je uveden níže.

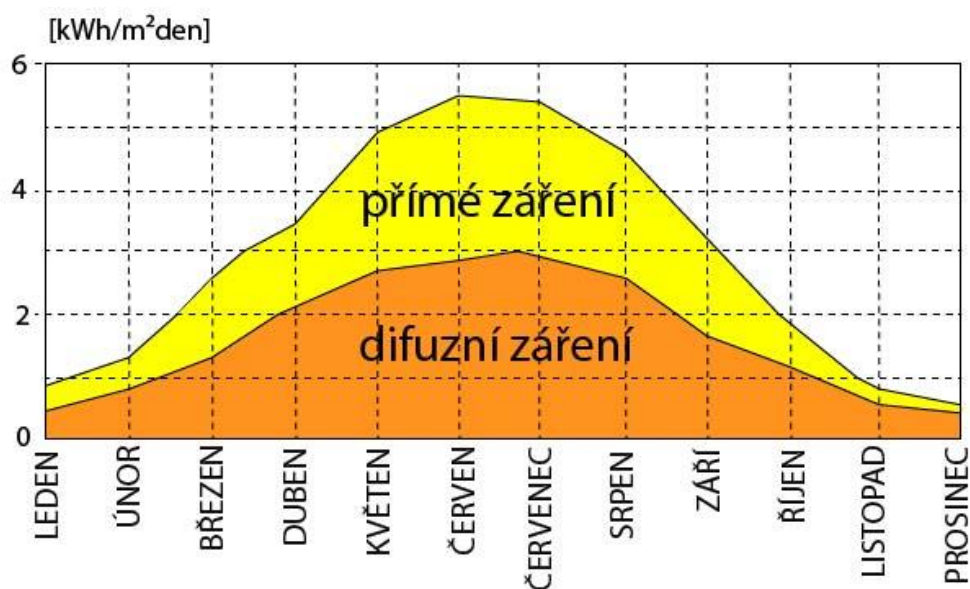
$$I = I_p + I_D \text{ [kWh. m}^{-2}\text{]} \quad (3)$$

$I$  = intenzita slunečního záření na povrchu Země [kWh.m<sup>-2</sup>]

$I_p$  = intenzita přímého slunečního záření [kWh.m<sup>-2</sup>]

$I_D$  = intenzita difúzního slunečního záření [kWh.m<sup>-2</sup>]

Na Obr. 2 lze vidět rozložení přímého a difúzního záření v průběhu roku. Je zřetelné, že v letních měsících tvoří globální sluneční záření přibližně polovina difúzního záření, v zimních měsících, kdy bývá častěji zataženo, se tento podíl podstatně zvýší. [13]



Obr. 2: Závislost přímého a difúzního záření na ročním období [13]

### 1.2.1.1 Přímé sluneční záření

Toto záření dopadá na povrch Země, aniž by změnilo směr, je ovšem podmíněno jasnou, bezmračnou oblohou.

Při průchodu atmosférou tedy není odraženo ani pohlceno. Sluneční paprsky se však při průchodu atmosférou oslabují v závislosti na délce dráhy, kterou musí projít na cestě k zemskému povrchu. [13]

### 1.2.1.2 Difúzní sluneční záření

Jedná se o takové záření, které se odrazilo od částic obsažených v atmosféře, tj. např. vodní kapky, prach, a tím změnilo původní směr. Vlnová délka zůstává stejná, jako před odrazem. Na zemi pak přichází ze všech směrů.

Při větším množství difúzního záření se zmenšuje podíl přímého záření. Při zatažené obloze dopadá na povrch pouze difúzní záření. [12]

### 1.2.1.3 Doba slunečního záření

Pro výpočet sluneční energie dopadající na povrch je potřeba vycházet z údaje o skutečné době slunečního svitu v daném období, místě, a z naklonění vůči povrchu zemskému, díky kterému můžeme odečíst tabelované hodnoty - např. z [14].

Výsledek rovnice (4) znamená denní úhrn slunečního záření dopadajícího na  $m^2$  plochy. [12]

$$Q_{S\_den} = T \cdot Q_{S\_den\_teor} + (1 - T) \cdot Q_{D\_den} \quad (4)$$

$$T = \frac{T_{skut}}{T_{teor}} \quad (5)$$

$Q_{S\_den}$  = denní úhrn sluneční energie dopadající na  $m^2$  plochy [kWh.m<sup>-2</sup>]

$Q_{S\_den\_teor}$  = sluneční energie dopadající na povrch při daném znečištění atmosféry bez oblačnosti za celý den [kWh.m<sup>-2</sup>]

$Q_{D\_den}$  = úhrn difúzního záření dopadajícího na  $m^2$  plochy [kWh.m<sup>-2</sup>]

$T$  = poměrná doba slunečního svitu [-]

$T_{skut}$  = skutečná doba slunečního svitu [hod]

$T_{teor}$  = teoretická doba slunečního svitu [hod]

## 1.3 Fotovoltaický článek a jeho princip

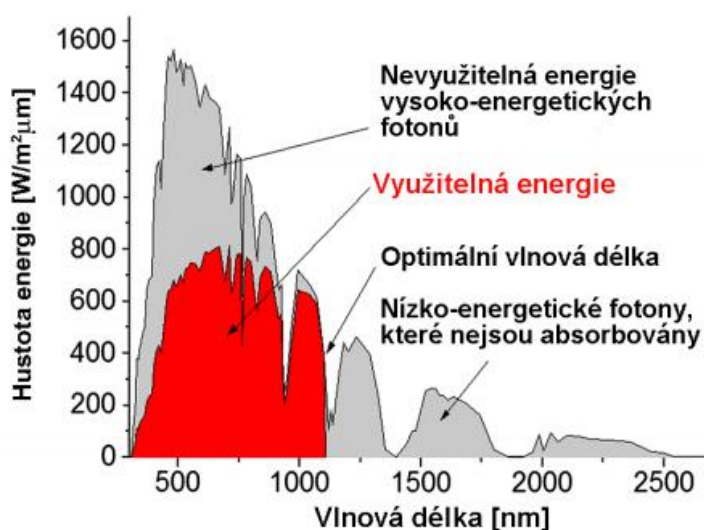
Fotovoltaické články jsou základní prvky systémů pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii. Existuje mnoho různých typů fotovoltaických článků, vždy se však jedná o velkoplošnou polovodičovou součástku s jedním nebo více PN přechody.

### 1.3.1 PN přechod

Vlivem koncentračního spádu na rozhraní PN přechodu (bez přiloženého napětí) začnou elektrony z polovodiče typu N difundovat do polovodiče typu P, kdežto kladně nabitě díry naopak z polovodiče P do N. V oblasti přechodu se elektrony a díry setkávají a vzájemně rekombinují, což vede k vytvoření ochuzené (depletiční) vrstvy, která neobsahuje žádné volné nosiče náboje. Kladně nabitě ionizované donory tak zůstanou na straně N straně polovodiče, zatímco na straně P zůstanou akceptory se záporným nábojem.

Šířka ochuzené oblasti je pak závislá na koncentraci těchto donorů a akceptorů. Tímto mechanismem vzniká nepohyblivý náboj vytvářející elektrické pole, které vyvolává zpětný driftový tok děr a elektronů. PN Přechod fotovoltaického článku se za podmínek bez přiloženého napětí nachází ve stavu termodynamické rovnováhy

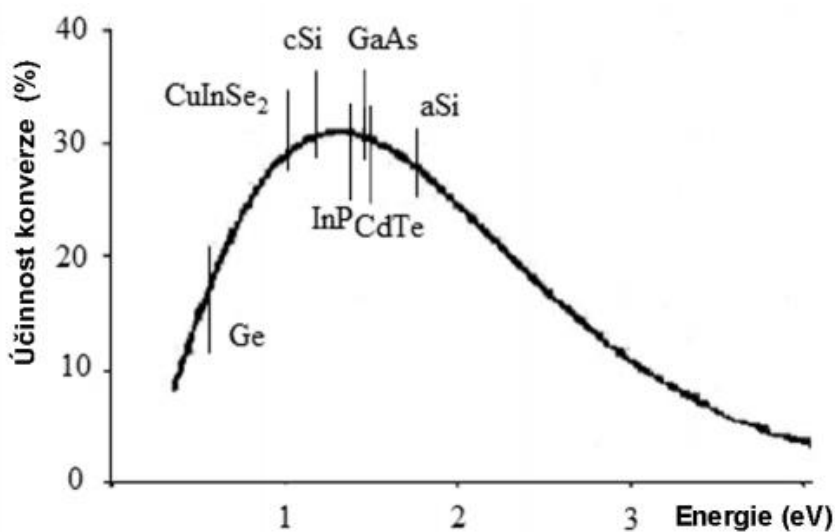
Je-li článkem absorbován foton o energii větší, než je šířka zakázaného pásu  $W_g$ , nadbytečná energie se promění na teplo. Jestliže má energii menší než  $W_g$ , nedochází k absorpci fotonu vůbec.



Obr. 3: Využitelnost energie pro křemík [15]

Na Obr. 3 lze vidět využitelnost slunečního záření spektra AM1,5 pro materiál s šířkou zakázaného pásu  $W_g = 1,12 \text{ eV}$ , tedy křemík.

Zaměříme-li se konkrétně na šířku zakázaného pásu, zjistíme, že s rostoucí šířkou  $W_g$  klesá proudová hustota. Maximální proudová hustota je pak dána počtem fotonů dopadajících na FV článek s energií větší, než je právě  $W_g$ . Čím je šířka zakázaného pásu větší, tím lépe se transformuje energie páru elektron-díra. [16]



Obr. 4: Závislost účinnosti na šířce zakázaného pásu

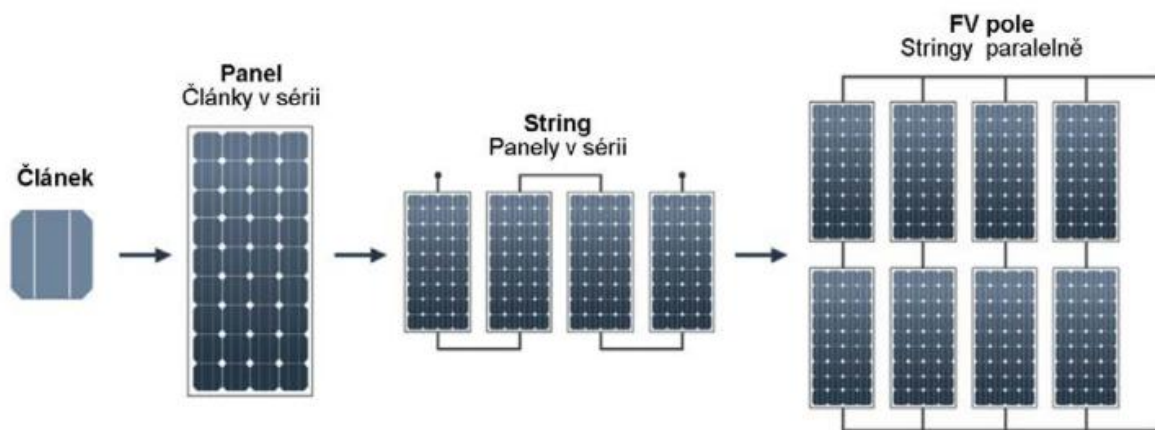
Na Obr. 4 je znázorněna využitelnost energie fotonů pro různé polovodičové materiály používané ve fotovoltaickém průmyslu. Osa X představuje šířku zakázaného pásu těchto materiálů.

### 1.3.2 Zapojení fotovoltaických článků

Přední strana FV článků je uzpůsobena k pohlcování slunečního záření. Články bývají ve většině případů opatřeny z obou stran kovovými kontakty pro připojení sběrných vodičů. Vnější obvodem zapojeným mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. [2]

Na svorkách těchto článků lze při maximálním výkonu naměřit napětí až 0,6 V a protékající elektrický proud až 5 A. Tyto články se dále sériově pospojují, aby se získalo prakticky využitelné napětí. Nejčastěji se můžeme, v případě křemíkových fotovoltaických panelů, setkat s moduly obsahujícími 36 nebo 72 FV článků, které dodávají napětí 18, resp. 36 V.

FV moduly se pro dosažení optimálního výkonu zapojují sériově (stringy) pro zvýšení napětí, paralelně pro zvýšení proudu, nebo sérioparalelně pro zvýšení proudu i napětí. Pro konstrukci fotovoltaického pole by se pak měly využívat jen moduly téhož typu. [15]



Obr. 5: Sestavování fotovoltaického pole [15]

Obr. 5 představuje princip postupného pospojování nejprve FV článků v jeden fotovoltaický modul, jednotlivé moduly do série a tyto série nakonec do fotovoltaického pole tak, jak bylo nastíněno v předešlých odstavcích.

Životnost fotovoltaických panelů se pohybuje v rozmezí 25 – 35 let. V průběhu času ztrácí postupně na účinnosti, ale jedná se pouze o malou ztrátu (cca 0,3 % ročně). Obvykle je garantována účinnost 90 % po dvanácti letech provozu, 25 let starý FV modul by měl dosahovat účinnosti nad 80 % ze svého původního stavu. [7]

### 1.3.3 Základní elektrické parametry fotovoltaických článků

Nejběžnější metodou ke zkoumání elektrických vlastností u fotovoltaických článků je volt-ampérová (V-A) charakteristika. Níže jsou uvedeny parametry spjaté s charakterizací fotovoltaických článků.

#### 1.3.3.1 Proud nakrátko

Proud nakrátko  $I_{SC}$  je maximální proud při daném osvětlení a nulovém napětí. Je tedy roven proudu generovanému světlem  $I_{SC} = I_L$ , za předpokladu že sériový odpor  $R_{SO}$  je nulový. Velikost proudu nakrátko je závislá na intenzitě osvětlení, ozářené ploše, teplotě a spektrální citlivosti.

#### 1.3.3.2 Napětí naprázdno

Napětí naprázdno  $U_{OC}$  je maximální napětí při nulovém proudu a bez připojené zátěže.  $U_{OC}$  je maximální napětí měřené při dané teplotě a intenzitě osvětlení.

#### 1.3.3.3 Bod maximálního výkonu

Bod maximálního výkonu (MPP z anglického Maximum Power Point) je bod na V-A charakteristice, který udává hodnotu maximálního výkonu. Z V-A charakteristiky se odečítá přímo ze souřadnicového systému.

#### 1.3.3.4 Maximální výkon

Hodnota maximálního výkonu popsaného výše je matematicky dána vztahem (6). [16]

$$P_{mpp} = U_{mpp} \cdot I_{mpp} \quad (6)$$

$P_{mpp}$  = maximální výkon nacházející se v bodě uprostřed ohybu V-A char. [W]

$U_{mpp}$  = napětí, při kterém fotovoltaický článek dodává maximální výkon. [V]

$I_{mpp}$  = proud, při kterém fotovoltaický článek dodává maximální výkon. [A]

#### 1.3.3.5 Faktor plnění

Faktor plnění ( $FF$  z anglického Fill Factor) udává poměr mezi maximálním výkonem  $P_{mpp}$  a výkonem daným proudem nakrátko  $I_{SC}$  a napětím naprázdno  $U_{OC}$ . Čím je jeho hodnota vyšší, tím větší výkon je schopen FV modul do zátěže dodat. Obvyklá hodnota  $FF$  se pohybuje kolem 0,7 až 0,85 u modulů monokrystalického a multikrystalického křemíku. [17]

Fill Factor je bezrozměrná veličina nabývající hodnot od 0 do 1 a dá se vyjádřit vztahem (7). [16]

$$FF = \frac{U_{mpp} \cdot I_{mpp}}{U_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (7)$$

$FF$  = faktor plnění [-]

$U_{OC}$  = napětí naprázdno [V]

$I_{SC}$  = proud nakrátko [A]

### 1.3.3.6 Účinnost

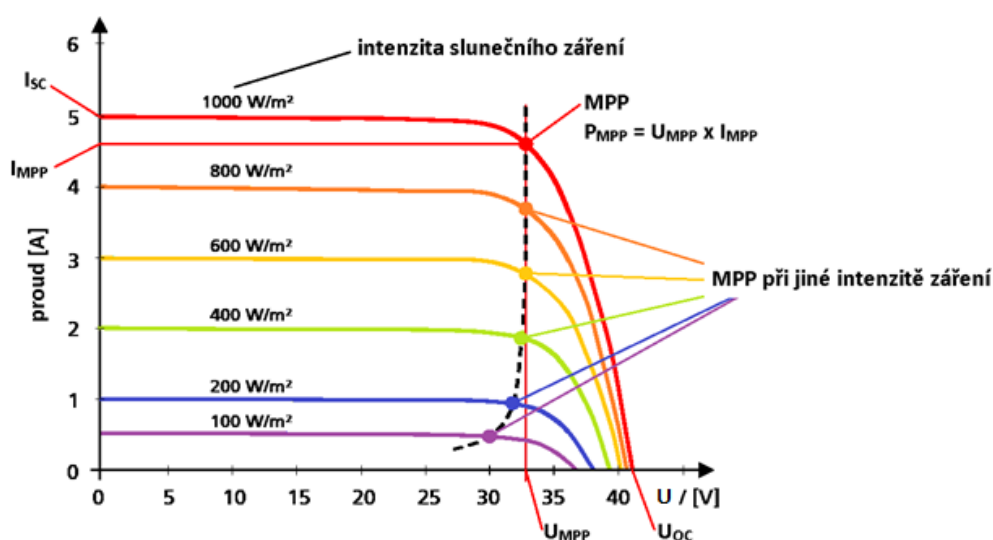
Účinnost fotovoltaického modulu je dána především vlastnostmi materiálu, ze kterého jsou jednotlivé články vyrobeny, neboť ovlivňuje spektrální citlivost článků na dopadající záření. Pomocí dalších přímo změřených elektrických parametrů ji lze vyjádřit podle následujícího vztahu v procentech.

$$\eta = \frac{U_{mpp} \cdot I_{mpp}}{P_{in}} * 100 = \frac{FF \cdot U_{OC} \cdot I_{SC}}{P_{in}} * 100 \quad (8)$$

$\eta$  = účinnost fotovoltaického panelu [%]

$P_{in}$  = výkon dopadajícího záření [W]

Na Obr. 6 je znázorněna V-A charakteristika FV panelu pro různé hodnoty intenzity slunečního záření - znázorněno barevnými křivkami. Jsou zde také označeny elektrické parametry, které byly popsány v této kapitole.



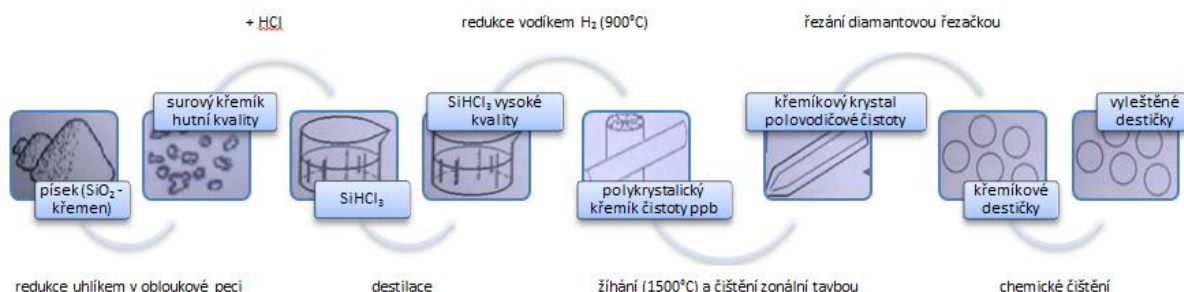
Obr. 6: V-A charakteristika fotovoltaického modulu [18]

## 1.4 První generace fotovoltaických modulů

V současné době se 90 % všech komerčně dostupných panelů vyrábí z křemíku a to hned z několika důvodů. Křemík tvoří 26 % zemské kůry, vyrábí se z něj většina polovodičových součástek a technologie jeho čištění je v současné době dobře zvládnuta. Jelikož výrobcům mikroelektronických prvků často nestačila čistota použitého křemíku (až 99,999999 %), používal se nevyhovující křemík na výrobu fotovoltaických panelů. Ingoty z polykrystalického křemíku dosahují čistoty zhruba 99.99999 % a zpravidla již obsahují malé množství boru, který z nich dělá polovodiče s vodivostí typu p.

### 1.4.1 Výroba křemíkového polotovaru

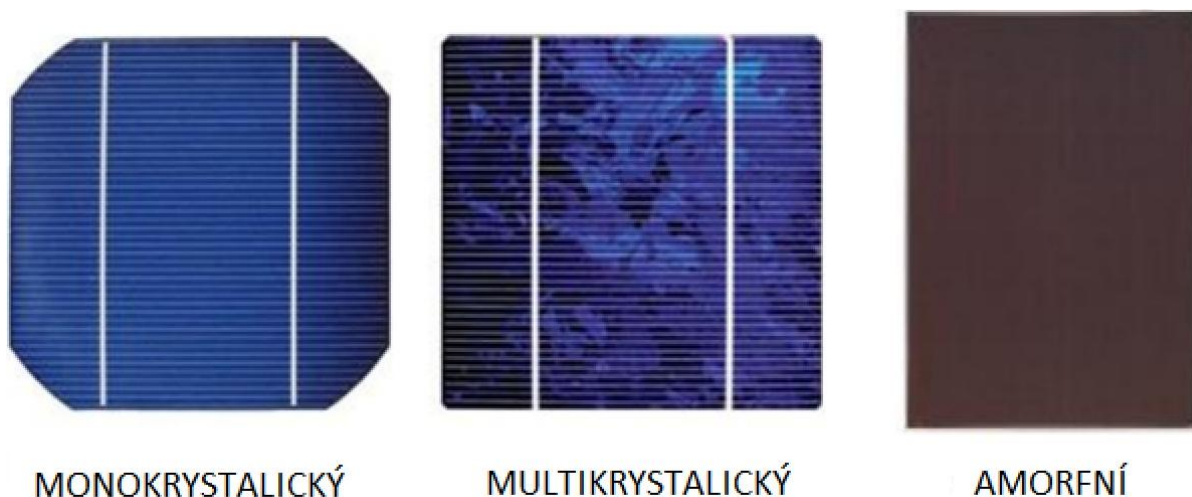
Křemík se v přírodě se vyskytuje většinou ve formě křemene neboli oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ). V této formě je mechanicky odolný a chemicky stabilní, drobná zrnka křemene tvoří všem dobře známý křemenný písek. Surový křemík se vyrábí z písku redukcí uhlíkem v obloukové peci, kde dochází k celému řetězci chemických reakcí. Pokud započítáme pouze výchozí a výstupní produkty, můžeme zjednodušeně vše vyjádřit jedinou rovnicí.



Obr. 7: Schematické znázornění postupu výroby Si polotovaru pro výrobu PV článků [5]

Obr. 7 naznačuje postup výroby Si polotovaru, kdy je nejprve do obloukové pece vpravován křemen  $\text{SiO}_2$  společně s koksem, v dolní části pece se hromadí roztavený křemík (při 2000 °C), který má čistotu až 99 %, zbylé 1 % tvoří nejvíce příměsi Fe, Al a C. Pro použití v polovodičové technologii je zapotřebí křemíku daleko čistšího, proto je třeba surový křemík vyčistit a poté vytvořit finální polotovar pro použití v další polovodičové výrobě. K tomu účelu existují různé technologie, příklad jedné z nich je schematicky znázorněn na obr. 2. Převodem na kapalnou fázi a její destilací lze získat polotovar s čistotou až ppb (nečistoty řádově  $10^{-9}$ ), která je potřebná pro výrobu integrovaných obvodů. [7]

Nejčastěji se pak setkáváme se třemi typy fotovoltaických panelů vyhotovených z křemíku. Rozpoznat je lze již na pohled, viz Obr. 8. Je zde pro porovnání uveden i amorfnní křemík, který patří až do druhé generace.



Obr. 8: Vzhled základních typů fotovoltaický článků [7]

#### 1.4.2 Monokrystalický křemík

Připravuje se tažením monokrystalu z tavenin polykrystalického křemíku. Výsledným produktem je monokrystalický křemíkový válec – ingot o průměru 125 až 300 mm. Tento válec je ořezáván do tvaru hranolu. Rozřezáním speciální drátovou pilou jsou získány křemíkové destičky o tloušťce 200 až 360  $\mu\text{m}$ . Při rozřezávání ingotu dochází k velikým ztrátám materiálu. Proto se vyvíjejí nové technologie, které by tyto ztráty zmenšily.

Účinnost sériově vyráběných solárních článků bývá od 14 do 18 %. V laboratorních pokusech se podařilo dosáhnout účinnosti až 25%.

#### 1.4.3 Polykrystalický křemík

Je stále více využíván díky své nižší výrobní ceně oproti monokrystalickému křemíku. Je to dáno tím, že odpadá proces tažení monokrystalu.

Typicky má též nižší účinnost: 12 – 14 %. V laboratořích dosahují články z polykrystalického křemíku účinnosti až 18 %. Destičky jsou čtvercového tvaru a jsou řezány z odlévaného křemíkového ingotu. V průběhu tuhnutí taveniny dochází k tvorbě různě orientovaných krystalů o různých velikostech. Polykrystalická struktura materiálu dodává těmto článkům charakteristický vzhled.

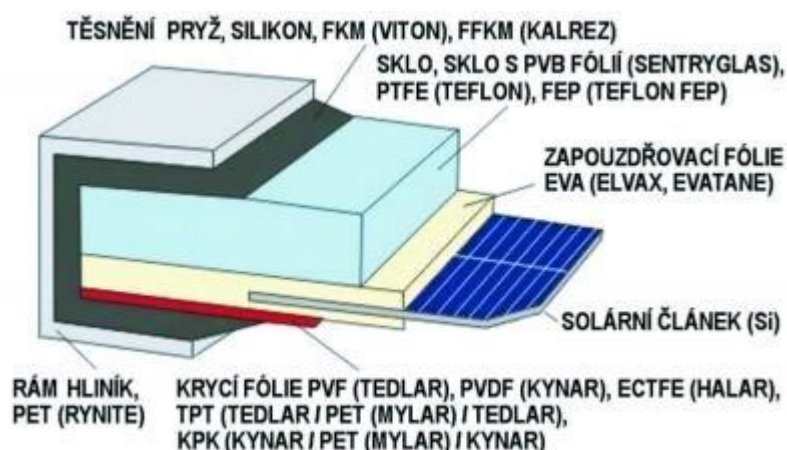
## 1.5 Konstrukce fotovoltaických modulů

Nejvyužívanějším materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Vzhledem k šířce zakázaného pásu je u něj vysoká účinnost generace volných nosičů. Zároveň se u křemíku, jako základního materiálu pro mikroelektroniku, podařilo velmi dobře zvládnout všechny technologické operace k vytváření struktur potřebných pro výrobu.

K výrobě fotovoltaických článků se používají křemíkové destičky čtvercového typu o rozměrech až 200x200 mm. Každé z těchto destiček se vyrobí jeden fotovoltaický článek. Nejprve se k výrobě používal pouze monokrystalický křemík, v sedmdesátých letech dvacátého století vedla potřeba snížení ceny k vývoji a využití polykrystalického křemíku.

### 1.5.1 Pouzdřicí materiály

Fotovoltaické články se musí chránit před vlivy okolního prostředí, aby bylo dosaženo vysoké životnosti. Proto se vkládají do etylvinylacetátových (EVA) či jiných fólií. Přední stranu článku tvoří speciálně tvrzené sklo, které je vysoce průhledné, aby byla zajištěna co největší propustnost slunečního záření. Zároveň chrání články před vlhkostí, větrem, krupobitím a dalšími povětrnostními vlivy. Zadní strana je uzavřena vícevrstvou plastovou fólií nebo dalším tvrzeným sklem. Dále jsou moduly opatřeny hliníkovým rámem, který slouží pro uchycení k nosným konstrukcím. Celkově je fotovoltaický modul kompaktní celek s předepsanými mechanickými, optickými a elektrickými vlastnostmi. Jeho rozvrstvené uspořádání je znázorněno na Obr. 9.



Obr. 9: Konstrukce FV modulu [7]

### 1.5.1.1 Tvrzené sklo

Označováno též jako kalené. Procesem kalení je sklo zahřáto na teplotu kolem 600 °C a následným rychlým ochlazením proudem vzduchu získává jedinečné vlastnosti. Zvýší se mechanická pevnost a odolnost, zároveň vydrží rychlé změny teplot, které často zapříčiňují popraskání normálního skla.

Tento druh skla se využívá i v automobilovém průmyslu, neboť při rozbití se kalené sklo rozpadne na malé části bez ostrých hran, je tedy bezpečnější.

Speciálním druhem je *Sentryglas* doplněný o trojvrstvou fólii z polyvinylbutyralu (PVB), polyesteru (PE) a speciálního povlaku zaručujícího vyšší odolnost proti oděru. Používá se pro pouzdření přední strany fotovoltaických modulů. [8]

### 1.5.1.2 PMMA (polymethylmetakrylát)

Známé pod označením plexisklo. Používá se jako svrchní krycí vrstva panelů. Plexisklo má malou hmotnost, velkou pružnost a vysokou propustnost světla. Mezi nevýhody patří nízká povrchová tvrdost, absorpce prachu a tepelná roztažnost, proto se používá pro uchycení gumové těsnění. Využívá se jako alternativa k *Sentryglas*.

### 1.5.1.3 PVB (polyvinylbutyral)

Bezbarvý, průhledný materiál, který se vyrábí z polyvinylalkoholu a butyaldehydu. Kromě fotovoltaiky se používá jako bezpečnostní sklo u předních skel automobilů. Jeho výhody jsou vysoká životnost a stabilita proti UV záření, na druhou stranu je velice citlivý na vodu, proto je potřeba fotovoltaické moduly řádně utěsnit. [6]

### 1.5.1.4 Rámy

Jako nosný pouzdřicí materiál se používají většinou hliníkové rámy. V současné době se vyvíjejí rámy vyztužené polyethyletereftalátem (PET). Ty mají oproti hliníku o 30 - 40 % menší hmotnost. Jsou teplotně stálé do 85 °C a odolné vůči UV záření. Předpokládaná životnost rámu je minimálně 20 let. [9]

### **1.5.1.5 EVA (Etylvinylacetát)**

Z chemického hlediska jde o kopolymery ethylenu s vinylacetátem a vyrábějí se blokovou radikálovou vysokotlakou polymerací. Vlastnosti závisejí na obsahu vinylacetátové složky. Se stoupajícím obsahem vinylacetátu stoupá jejich průtažnost, rázová houževnatost a odolnost proti tvorbě trhlin pod napětím. Kopolymery jsou průsvitné až průhledné, mají vysokou pevnost, rozpouštějí se v ketonech a v aromatických i chlorovaných uhlovodících. [20]

Tento materiál se velmi často používá jako ochrana křemíkového článku před vlhkostí, mechanickými otřesy, k elektrické izolaci a odvodu tepla ze solárního článku. Tento plast je značně odolný proti vlivu tepla a proti procesům stárnutí. Jeho hlavní nevýhodou je velká citlivost na UV záření. EVA se po dlouhodobém slunečním záření zbarví dohněda. Tím dochází ke snížení propustnosti slunečního záření s výsledným snížením efektivnosti článku. [19]

### **1.5.1.6 Tedlar (polyvinylfluorid)**

Materiál, který výborně odolává povětrnosti a dobře propouští UV záření. Vzhledem k relativně rychlému tepelnému rozkladu nad bodem tání (185 až 210 °C) se v praxi zpravidla nezpracovává z taveniny na polotovary. Největší význam má pro výrobu fólií a laků určených pro vnější aplikace. Fólie se vyrábějí litím z roztoku a nanáší se laminováním, kdy se mezi Tedlar a povrch nanese tepelně aktivované lepidlo.

Tedlar je použitelný pro teploty -70 až 110 °C. Slouží pro ochranu stavebních dílů z oceli, hliníku aj., pro krytí solárních kolektorů a fóliových skleníků i jako dělicí fólie. [20]

## 1.5.2 Vhodnost použití různých druhů FV modulů

Před pořízením vlastních FV modulů bychom si měli položit otázku, co od nich očekáváme a jakou mají plnit úlohu. Dále pak, v jakých klimatických podmínkách budou využívány, zdali je v daném místě dostatek přímého nebo difúzního záření. I plocha, na které mohou být FV moduly nainstalovány hraje velkou roli - hlavně v případě použití na střechách rodinných domů. U střech záleží rovněž na jejich sklonu.

Monokrystalické FV moduly mívají lepší účinnost, jsou-li orientovány přímo na slunce a jeho přímý sluneční svit. Multikrystalické jsou schopny lépe zpracovat sluneční svit i při vyšším odklonu od optimální pozice.

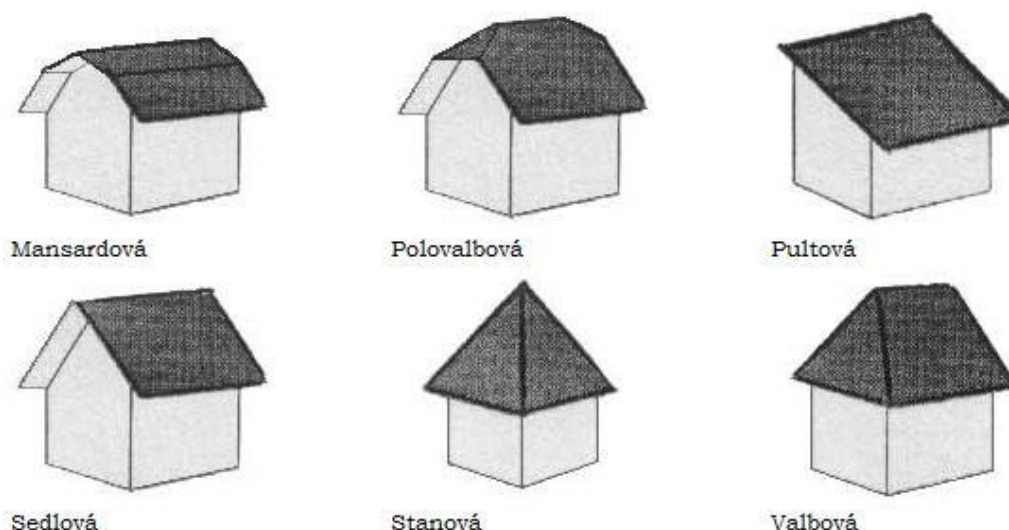
Pokud budeme FV moduly využívat po celý rok při statickém umístění, vyjde téměř nastejno, zvolíme-li mono či multikrystalický typ FV modulu, neboť výška slunce se vzhledem k horizontu v průběhu roku mění. Kromě výšky slunce se mění v průběhu roku i intenzita slunečního svitu. Důsledkem toho je, že při optimálním nastavením monokrystalických FV modulů získáme v letních měsících větší množství elektrické energie, než v zimních. U multikrystalických modulů jsou nižší rozdíly mezi létem a zimou. Pokud bychom chtěli využívat FV moduly pouze v letních měsících, bude lepší zvolit variantu s monokrystaly. [10]

Nesmíme zapomínat na další druh FV modulů – amorfni, tenkovrstvé moduly. Ty jsou oproti krystalickým levnější, mají ale daleko nižší účinnost a pro dosažení stejného výkonu jako u krystalických modulů potřebují zhruba dvojnásobně větší zastavěnou plochu. Na druhou stranu jsou tyto druhy modulů schopny lépe využívat disperzní sluneční záření. Možné využití tak mohou najít v zastíněných oblastech, kde je zapotřebí využití fotovoltaického zdroje pro výrobu elektrické energie.

### 1.5.3 Upevnění na střechu

Upevnění FV modulů na střechu může být provedeno různými způsoby. Pokud s výstavbou domácí FV elektrárny počítáme již při návrhu stavby, je možné využít integračního řešení, kdy se části střechy nahrazují přímo FV stavebními prvky – přebírají kromě funkce výroby elektrického proudu i funkce tepelné ochrany, zvukové izolace a ochrany proti povětrnostním vlivům.

Druhou, častější variantou, jsou aditivní řešení, kdy se FV moduly s kovovou konstrukcí upevňují na střechy – tato varianta se používá při již zrealizovaných výstavbách objektů. Na Obr. 10 jsou uvedeny základní druhy šikmých střech, u nichž je upevnění složitější, než na rovných střechách, kde může mít projektant víceméně volnou ruku.



Obr. 10: Základní druhy střech [33]

Budeme-li brát v úvahu jakoukoliv střechu s šikmým tvarem, je potřeba respektovat doporučení pro bezproblémový provoz FV modulů. [34]

- Vzdálenost mezi plochou modulu a střešní krytinou by neměla být příliš velká.
- Na druhou stranu musí být vzdálenost dostatečná, aby bylo umožněno odvětrávání a nezachytávaly se zde například listy stromů.
- Vertikální a horizontální linie by se neměly překračovat (okapy, štít, hřeben,...)
- Plocha modulu by měla mít stejný sklon jako střecha.
- Moduly by neměly být instalovány na těsně, aby bylo usnadněno vyrovnávání tlaku a bylo zabráněno hvízdání způsobenému větrem.

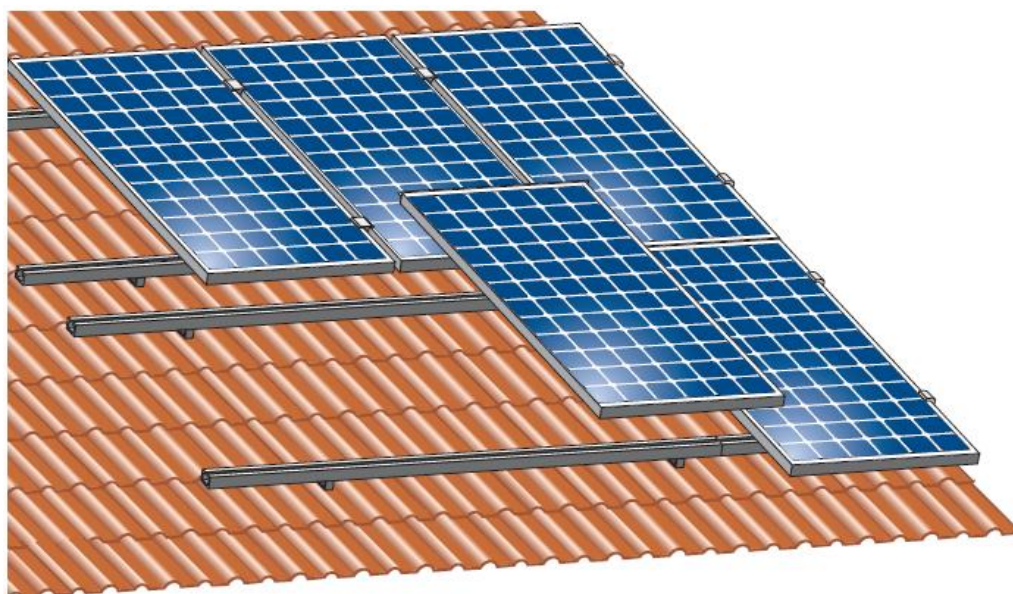
Šikmé střechy zpravidla určují jak orientaci, tak i sklon instalovaných modulů. Kovové konstrukce se montují nad stávající střešní krytinu – ta si zachovává svou funkci odvodu vody. Aby se zařízení zasadilo do střechy co nejharmoničtěji, mělo by uspořádání modulů tvořit uzavřenou plochu – rozptýlené nebo stupňovité skládání modulů může působit nešikovně. Vždy by se měly vybírat co největší homogenní plochy.

Samotná kovová konstrukce se skládá ze tří hlavních prvků – střešní upevnění, nosné kolejnice a upevnění modulu. Kolejnicový systém se upevňuje skrze střešní krytinu na střešní konstrukci (zobrazeno na Obr. 11), nebo přímo na střešní krytinu.



Obr. 11: Střešní háky a kolejnicový systém [34]

FV moduly se na kolejnice fixují pomocí specifických prvků. V nejobvyklejším montážním řešení se moduly umísťují svisle na dvě paralelní příčné nosné kolejnice, které se upevňují ve čtyřech bodech. Toto základní uspořádání je zobrazeno na Obr. 12.



Obr. 12: Vertikální montáž modulů na příčné nosné kolejnice [34]

## 1.6 Fotovoltaické systémy

### 1.6.1 OFF GRID

V případě OFF GRID se jedná o takzvané ostrovní systémy - ty lze považovat za první používané systémy vůbec. Za ostrovní systém lze totiž považovat samostatný FV článek přímo napájející spotřebič - například kalkulačku.

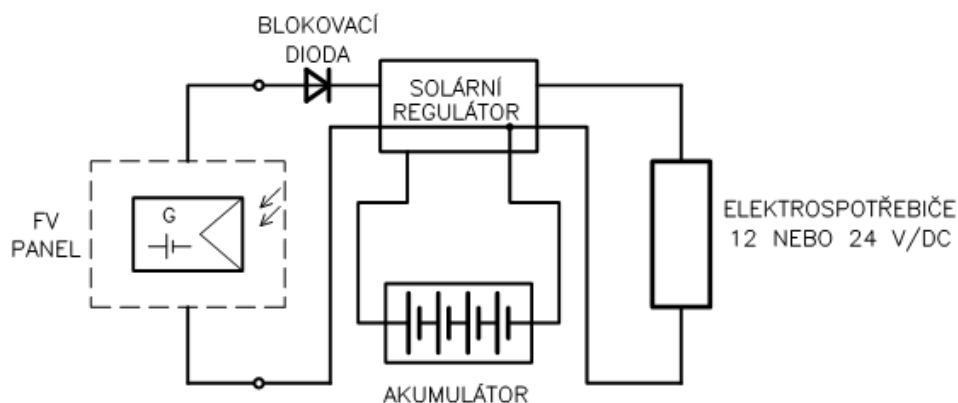
Oblast použití ostrovní systémů nadále roste. Lze je totiž využívat v místech, kde není k dispozici elektrická síť - tedy například v rozvojových zemích. Zajímavé možnosti využití těchto systémů jsou například:

- FV systémy na obytných vozech, lodích
- Obytné budovy ležící mimo civilizaci
- Sloupky pro tísňové volání
- Solární čerpací systémy pro čerpání vody k zavlažování

#### 1.6.1.1 Izolovaný systém

O izolovaném ostrovním systému můžeme mluvit, nemáme-li k dispozici žádný záložní zdroj. Zároveň nesmí být systém napojený k distribuční elektrické síti.

Typické schéma zapojení izolovaného OFF GRID systému můžeme vidět na Obr. 13. K fotovoltaickým modulům je připojený solární regulátor. Ten stabilizuje napětí a nabíjí akumulátor. Spotřebiče jsou připojeny k regulátoru, který napájí spotřebiče z akumulátoru, případně přímo z FV panelů, není-li akumulátor dostatečně nabit.

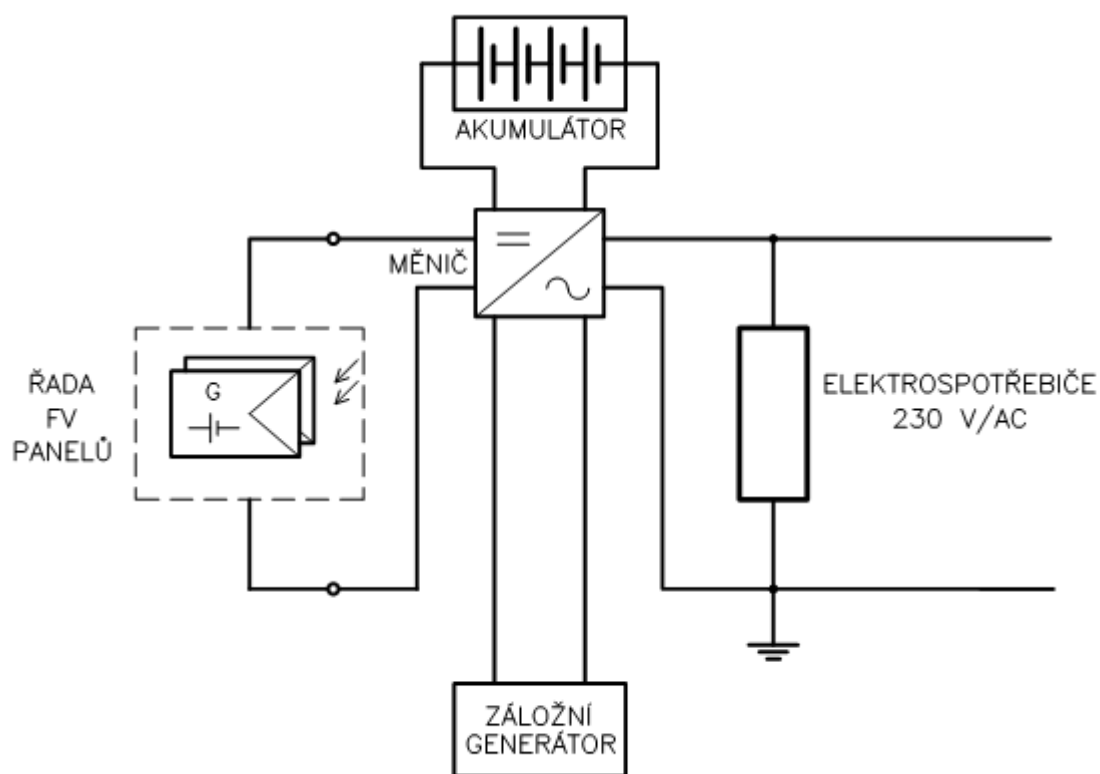


Obr. 13: Schéma zapojení izolovaného ostrovního systému [31]

### 1.6.1.2 Hybridní systém

Hybridní ostrovní systém je oproti izolovanému složitější. Jak je vidno z Obr. 14, přibývá zde záložní zdroj energie, kterým bývá například elektrocentrála vyrábějící elektrickou energii z fosilních paliv (benzín, nafta,..). Do schématu se dále začleňuje měnič elektrické energie, který převádí stejnosměrnou napětí z FV panelů a akumulátoru na střídavé - tím jsou napájeny klasické elektrospotřebiče.

Hlavní oblasti použití těchto systémů jsou v případech, kde není v bezprostřední oblasti distribuční síť. Jsou to tedy například horské chaty a jakékoliv rozvojové oblasti.



Obr. 14: Schéma zapojení hybridního ostrovního systému [31]

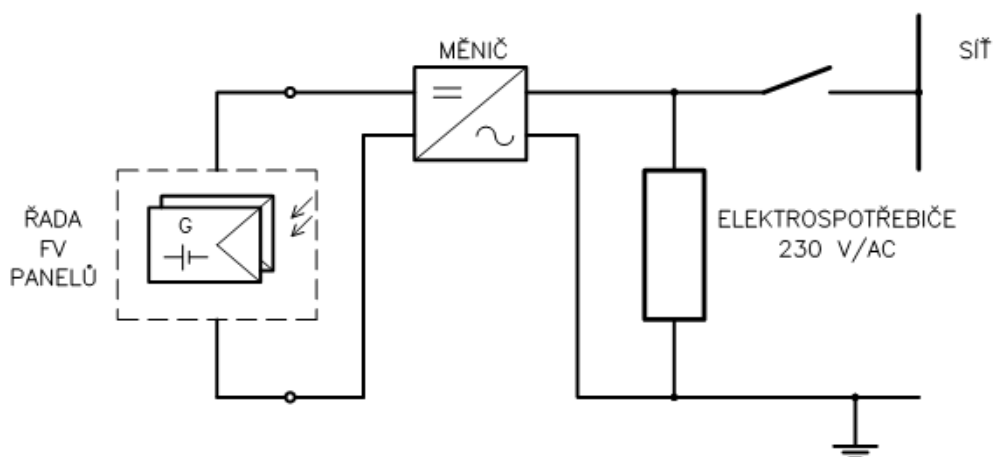
## 1.6.2 ON GRID

Pro systémy ON GRID je charakteristické, že musí být napojeny elektrickou sítí, konkrétně za hlavní elektroměr distribuční společnosti. Systém samotný obsahuje opět měnič napětí (střídač), který zajišťuje stejné napětí jako z distribuční sítě. Dále bývá systém vybaven vlastním elektroměrem pro odečet energie vyrobené z FV panelů. Zjednodušené schéma zapojení lze vidět na Obr. 15.

V případě dostatečného slunečního záření jsou spotřebiče napájeni vlastní vyrobenou energií buď přímo, nebo pomocí akumulátoru. V případě přebytků vyrobené energie může být elektřina dodávána zpět do sítě. Pokud máme naopak energie nedostatek, můžeme odebírat energii z distribuční sítě.

Systém připojený k rozvodné síti se zpravidla skládá alespoň z těchto základních součástí:

- FV moduly s montážní nosnou konstrukcí
- Rozváděč pro FV moduly
- Stejnoseměrná kabeláž
- Hlavní DC vypínač
- Střídač
- Střídavá kabeláž
- Elektroměrová skříň s rozvodem, elektroměr spotřeby a elektroměr výroby



Obr. 15: Schéma zapojení systému připojeného k elektrické síti [31]

### 1.6.3 Hybridní ON GRID systém

Za speciální druh ON GRID systému lze považovat FV elektrárnu s DC vazbou. Je to nejefektivnější způsob, jak se vyhnout zbytečné byrokracii. Není totiž potřeba žádat distributora o povolení, se kterým je spojeno spoustu administrativních úkonů.

Hlavní výhodou je skutečnost, že jsme schopni využít 100% vyrobené elektřiny z FV panelů pro vlastní spotřebu. V ideálním případě se tento systém instaluje současně s možností ohřevu TUV, například v kombinaci s tepelným čerpadlem. [32]

Nevýhody tkví ve vyšších pořizovacích cenách, na druhou stranu je ovšem možné instalovat nejprve menší výkon FV panelů a postupně přikupovat další. Tento druh systému bude použit v praktické části, kde bude i podrobněji popsán.

## 1.7 Střídače

Střídače jsou zařízení, které slouží k přeměně stejnosměrného napětí vyráběného FV moduly na střídavé napětí pro elektrickou síť. Lze se setkat i s označením měnič nebo invertor. Mívají celou řadu doplňkových funkcí jako monitoring sítě a provozních údajů, a různé ochranné funkce. Hlavním parametrem střídače je, z hlediska využití energie, jeho účinnost. Ve skutečnosti je ale důležitá kombinace více faktorů a zapomínat by se nemělo na spolehlivost samotného zařízení. Nejdůležitější parametry jsou uvedeny níže.

### 1.7.1 Účinnost

V katalogových listech bývají uváděny většinou dva druhy účinnosti – maximální a evropská. Maximální účinnost se pohybuje v současnosti v rozmezí 90 - 98 %. Těchto hodnot dosáhne ovšem při optimálních podmínkách. Vysoká hodnota maximální účinnosti tedy negarantuje vysoké energetické zisky.

Pro naši zeměpisnou šířku je zajímavější hodnota účinnosti evropské. Ta je průměrem účinnosti při různých stupních zatížení střídače – měří se při 5, 10, 20, 30, 50 a 100 % nominálního výkonu. Na druhou stranu je třeba zmínit, že může být tato charakteristika silně ovlivněna teplotou, neboť se měří při optimálním napětí na DC část FV systému. Evropská účinnost se počítá podle následujícího vzorce: [35]

$$\eta_{euro} = 0,03 * \eta_{5\%PN} + 0,06 * \eta_{10\%PN} + 0,13 * \eta_{20\%PN} + 0,1 * \eta_{30\%PN} + 0,48 * \eta_{50\%PN} + 0,2 * \eta_{100\%PN} \quad (9)$$

$$\eta_{euro} = \text{evropská účinnost} \quad [\%]$$

### 1.7.2 Rozsah MPP

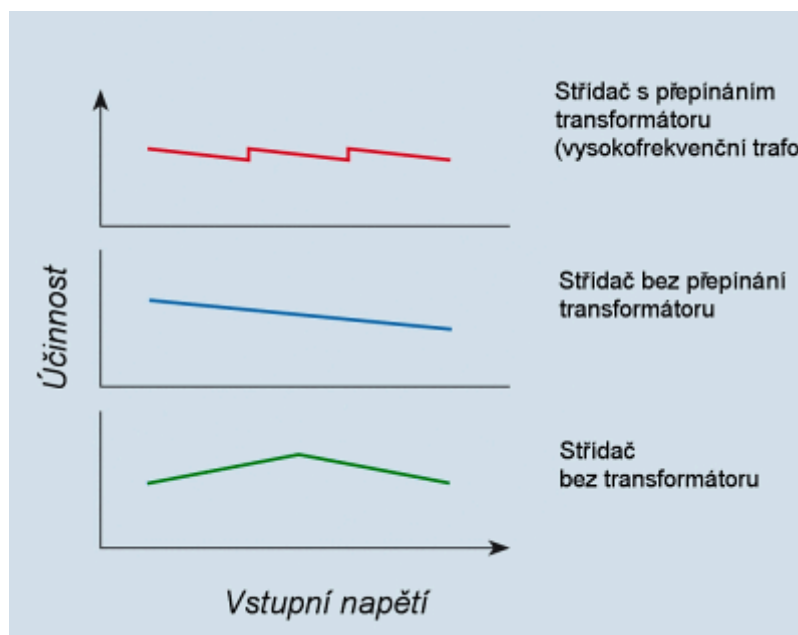
Udává rozsah napětí, při kterém by měl střídač optimálně pracovat. Vstupní napětí se mění a je důležité, aby střídač dokázal udržet vysokou účinnost konstantně v celém rozsahu, neboť výkyvy v hodnotách jsou nežádoucí.

S rozsahem MPP souvisí i účinnost přizpůsobení MPP. Udává rychlost reakce střídače na měnící se klimatické podmínky a podle nich adekvátně a přesně přizpůsobit. Čím delší je reakce, tím méně elektrické energie získáme.

Pro množství získané energie je tedy důležitá především vysoká evropská účinnost v celém rozsahu a přesný *MPP trackeru*, který nastavuje pracovní bod střídače pro maximální výkon použitých FV modulů.

### 1.7.3 Další faktory střídačů

Na trhu jsou dva technologické druhy střídačů – s transformátorem nebo bez něj. Transformátor zajišťuje střídači galvanické oddělení stejnosměrné a střídavé větve systému, a chrání ho tak před poškozením. Na druhou stranu, beztransformátorové střídače mívají obvykle vyšší absolutní účinnost. Rozdíly pro vstupní napětí v závislosti na použité technologii střídače jsou zobrazeny na Obr. 16. [35]



Obr. 16: Technologie střídačů [36]

Mezi další důležité faktory při výběru střídače patří sběr a analýza dat, což je velmi důležité pro bezchybnou kontrolu chodu systému. Můžeme tak být informováni pomocí celé řady komunikačních zařízení při výkyvu výtěžnosti, například zastínění, či poškození některého z FV modulů, či celé větve.

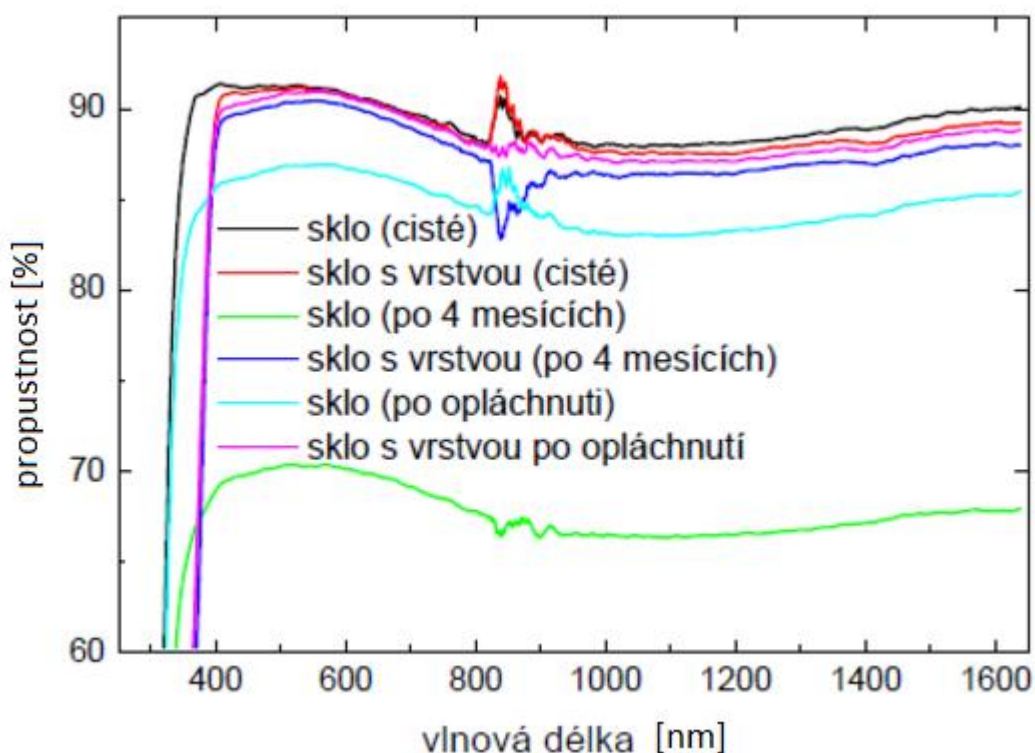
Střídače jsou díky oblačnosti a jiným vlivům počasí často zatíženy pouze částečně. Někteří výrobci navrhují do střídačů více výkonových prvků pro stálý chod a prodloužení životnosti. Různé výkonové stupně se pak zapínají podle měnících se klimatických podmínek. Při použití složitějšího technologického řešení je zapotřebí kvalitní chlazení a v neposlední řadě též servis – k poruše dojde dříve nebo později u všech technologických zařízení a kvalitní servis zajistí co nejkratší dobu nefunkčnosti systému a tím i unik zisku z potenciální vyrobené elektrické energie.

### 1.7.4 Příčiny sníženého výkonu

Už od výroby se výkony jednotlivých FV modulů liší obvykle o  $\pm 3\%$ . Nejslabší panel ovlivňuje výkon celého řetězce panelů v sérii. Může za to centrální sledování maximálního bodu výkonu. U velkých FV systémů se vyplatí investovat do vlastního střídače pro jednotlivé *stringy*.

Za dalším možným snížením výkonu může stát zastínění FV modulů, například komínem, sloupem, vzrostlým stromem. Ztráty ve výnosu jsou ještě znásobeny *bypass* diodami v modulech, které mohou snížit výkon panelu řádově o desítky procent. Se zastíněním souvisí i znečištění modulů - listy ze stromů, prach, sníh, jakékoliv jiné pevné částice. Je důležité FV moduly umývat, zbavovat je nečistot. Experimentální ověření vlivu znečištění skla na propustnost světla je znázorněno na Obr. 17.

Rozdílné teploty na různých místech instalace též působí na účinnost FV systému. Při vyšší teplotě se výkon modulu snižuje.



Obr. 17: Vliv znečištění skla na propustnost světla [35]

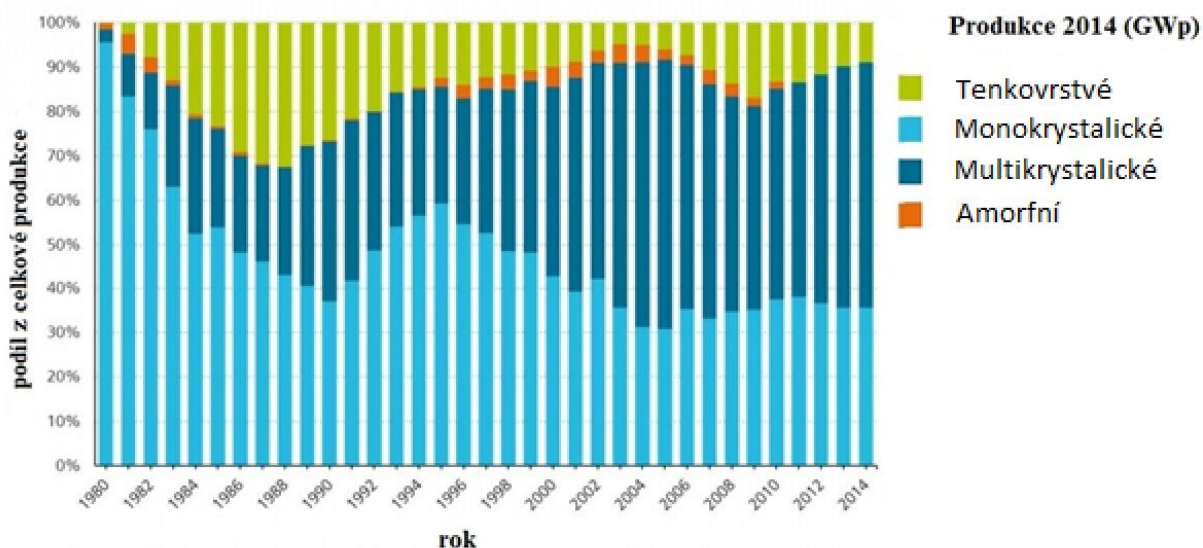
## 1.8 Produkce fotovoltaických modulů

Z Obr. 18 je zřejmé, jakým vývojem se ubíral trh fotovoltaických panelů s časem. Na začátku 80. let zaujímaly největší podíl na trhu panely z monokrystalického křemíku. Již v té době se experimentovalo s panely z amorfního křemíku a polykrystalický křemík procházel důkladným vývojem, stejně jako panely tenkovrstvé.

Během 90. let zaujímal polykrystalický křemík podíl na trhu téměř neměnný, monokrystalický křemík dosahoval posledního velkého rozmachu. Zájem o tenkovrstvé panely v těchto dobách pomalu klesal.

Od 21. století do současnosti je zřejmý postupný nárůst podílu na trhu polykrystalického křemíku oproti monokrystalickému. S amorfním křemíkem se nadále experimentovalo, v současné době má podíl na trhu téměř nulový. I o tenkovrstvé články postupně klesá zájem. Nadále však lze počítat s tím, že se tento trend může změnit, neboť tenkovrstvé panely poskytují veliký potenciál na výzkum a vývoj.

V současné době dosahují největšího podílu na trhu panely multikrystalické s 55 %, následovány jsou monokrystalickými panely s 35 %, segment trhu ukončují tenkovrstvé panely s 10 %. Amorfní křemík je vyráběn pouze pro konkrétní aplikace v omezeném množství.



Obr. 18: Celková produkce FV modulů [21]

## 2 OZE

Zkratka OZE znamená obnovitelné zdroje energie, tedy přírodní energetické zdroje používané k výrobě elektrické a tepelné energie. Tyto zdroje jsou v podstatě nevyčerpatelné a jejich zásoba se neustále obnovuje.

V ČR jsou nejrozšířenějším zdrojem energie fosilní paliva – především uhlí a zemní plyn a ropa. Zásoby těchto druhů paliv ubývají. Například uhlí, které se do své nynější, využitelné podoby přeměňovalo milióny let, se během sto let vytěžilo a využilo natolik, že se vyčerpání zdrojů předpokládá již v první polovině 21. století. Dalším aspektem v neprospěch využívání fosilních paliv je jejich negativní účinek na životní prostředí při spalovacích procesech – podílejí se na tvorbě skleníkového efektu. [1]

### 2.1 Druhy OZE

- Fotovoltaika - využití sluneční energie pro výrobu elektrické energie
- Fototermika - využití sluneční energie pro ohřev vody
- Vodní energie - využití vody pro výrobu elektrické energie
- Větrná energie - využití větru pro výrobu elektrické energie
- Biomasa - využití bioodpadu pro výrobu elektrické energie
- Bioplyn - využití bioodpadu pro výrobu bioplynu
- Geotermal - energie prostředí, geotermální energie a tepelná čerpadla

### 2.2 Nová zelená úsporám

Jedná se o program Ministerstva životního prostředí. Podporuje energeticky úsporné rekonstrukce rodinných domů a bytových domů, výměnu nevyhovujících zdrojů na vytápění a využívání OZE. [37]

Za hlavní cíl si program dává zlepšit stav životního prostředí tím, že se sníží produkce emisí znečišťujících látek, především CO<sub>2</sub>. V druhé řadě taky uspořit energie v konečné spotřebě a stimulovat ekonomiku České Republiky – zvýšení kvality bydlení občanů, nastartování dlouhodobých progresivních trendů.

## 2.2.1 Nová zelená úsporám pro rodinné domy

Nová zelená úsporám (NZÚ) je program je v současné době již ve třetím vydání s platností od 24. listopadu 2016 a účinností od 9. ledna 2017.

Pro rodinné domy se oblast podpory dělí na tři hlavní části. Snižování energetické náročnosti stávajících rodinných domů – především zateplení, izolace, výměna oken. Dalším část tvoří dotovaná výstavba nových rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností. Poslední část zaujímá efektivní využití zdrojů energie – výměna elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem, instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu (rekuperace). Do této části patří i výstavba nových fotovoltaických a fototerminických systémů.

Tab. 2-1: Dotace z programu Nová zelená úsporám

Podoblast podpory	Typy systémů	Výše podpory [Kč]
C.3.1	Solární termický systém na přípravu teplé vody	35 000
C.3.2	Solární termický systém na přípravu teplé vody a přitápění	50 000
C.3.3	Solární FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem	35 000
C.3.4.	Solární FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh/rok	55 000
C.3.5.	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700$ kWh/rok	70 000
C.3.6	Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000$ kWh/rok	100 000

Jak je zřejmé z Tab. 2-1, podpora může dosáhnout až 100 000 Kč/dům. Aby projekt vyhověl požadavkům pro získání podpory, instalovaný FV systém musí splňovat následující parametry: [38]

- Instalovaný výkon FV systému nepřesáhne 10 kWp
- Minimální účinnost modulů je 10% pro tenkovrstvé, 15% pro mono a multikrystalické
- systém bude umístěn na rodinném domku, nikoliv např. na zahradě

### 2.2.1.1 FVE připojená k síti a se zásobníkem teplé vody (C.3.4)

V tomto druhu systému je možné mít FVE (fotovoltaickou elektrárnu) připojenou do sítě a elektřinu z ní využívat i mimo ohřev vody – ten zde slouží jako možnost pro ukládání přebytků energie. [39]

- Roční množství vyrobené elektřiny použité v domě dosáhne alespoň 1700 kWh.
- Celkový využitelný zisk v budově tvoří alespoň 70 % elektřiny vyrobené z FVE.
- FV systém musí být připojen k distribuční soustavě (s platností od 1. ledna 2016).
- Střídač musí mít účinnost minimálně 94 % a *MPP tracker* 98 %.
- Objem zásobníku teplé vody musí být minimálně 80 l/kWp.
- Maximální dotace ve výši 55 000 Kč.

### 2.2.1.2 Malá FVE připojená k síti a vybavená bateriemi (C.3.5 a C.3.6)

U těchto FV systémů platí stejné podmínky jako u výše uvedeného C.3.4. Přibývá zde nutnost vybavit FVE o baterie s kapacitou alespoň 1,75 kWh/kWp. Pro systém celkovým využitelným ziskem alespoň 1700 kWh (C.3.5) můžeme získat dotaci v maximální výši 70 000 Kč. U systému C.3.6 musíme dosáhnout ročně alespoň na 3000 kWh, výše dotace je zde ale navýšena až na 100 000 Kč. [39]

## 2.3 Mikro zdroje

Základem pro nové možnosti připojení domácí FVE je novela § 3 odst. 3 zák. č. 458/2000 Sb., energetického zákona. Ta, zjednodušeně napsáno, praví, že není zapotřebí licence ERÚ (Energetický regulační úřad) pro provoz FVE s instalovaným výkonem do 10 kW i přesto, že je systém připojený k distribuční soustavě. V místě ovšem nesmí být připojena žádná jiná výrobní, která by byla provozována pod licenci. Energetický regulační úřad vydal s platností od 1. února 2016 vyhlášku č. 16/2016 sb. – ta definuje zcela novou kategorii výroby elektrické energie, tzv. mikro zdroje. Krom maximálního výkonu 10 kW musí být systém připojen k distribuční soustavě a jmenovitý střídavý proud musí být do 16 A na fázi. Mikro zdroj musí být vybaven zařízením, které zamezí dodávce elektřiny do distribuční soustavy v místě připojení - výjimku tvoří krátkodobé přetoky elektřiny se specifickými požadavky. [40]

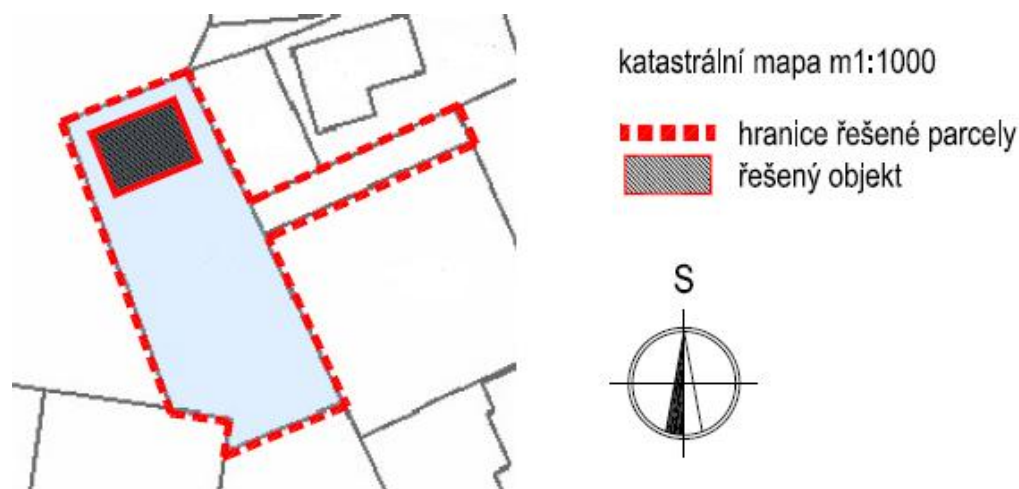
Pokud žadatel prokáže, že maximální hodnota impedance proudové smyčky v místě připojení je pro zdroje do 16 A na fázi  $0,47 \Omega$ , vzniká mu nárok na vytvoření dodatku ke stávající smlouvě o připojení vlastníka mikro zdroje jako odběratele. [22]

## 3 Praktická část

### 3.1 Popis řešeného objektu

FV systém je navržen pro rodinný dům, který je v současné době ve fázi stavby. Nachází se poblíž Kutné Hory (přesnou adresu nebude z důvodu ochrany soukromí uvedena). Dům je koncipován pro pět lidí v dispozicích 5+kk. Užitná plocha čítá celkem  $146\text{m}^2$  - z toho  $73\text{m}^2$  v přízemí a  $73\text{m}^2$  v obytném podkroví. Na Obr. 19 je uvedena katastrální mapa, která je zde důležitá hlavně kvůli orientaci pozemku a samotného objektu. Z katastrální mapy bylo zjištěno, že jižní strana domu směřuje na azimut  $165^\circ$ , tedy  $15^\circ$  od jihu.

Pro návrh FVE je důležitý typ střechy - ta je v tomto případě sedlová se sklonem  $35^\circ$ . Dle normy ČSN EN 1991-1-1 o užitém zatížení střechy a ČSN EN 1991-1-3 o nahodilém zatížení od sněhu je u této střechy povoleno zatížení  $0,75\text{kN/m}^2$ . Jako střešní krytina budou sloužit betonové tašky - k uchycení FV modulů budou sloužit střešní háky s kolejnicovým systémem.

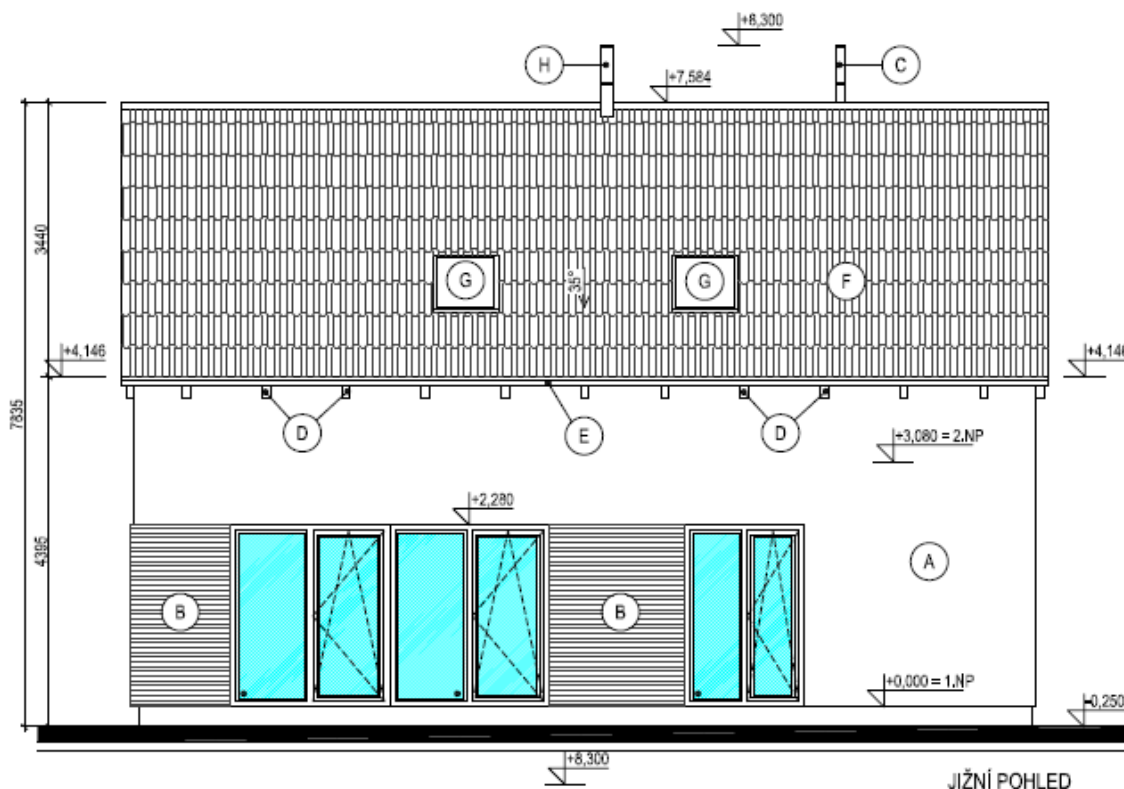


Obr. 19: Katastrální mapa

V současné projektové dokumentaci je navržen plynový kondenzační kotel *Viessman Vitodens 242-F* se jmenovitým výkonem v rozsahu 3,2 - 26 kW, který obsahuje integrovaný zásobník akumulárního ohříváče o objemu 170 litrů.

Na Obr. 20 jsou znázorněn bokorys na jižní stranu stavěného rodinného domu. K montáži FV modulů bude využita střecha z jižní strany z důvodu vhodného natočení vzhledem ke slunečnímu svitu.

Jižní část střechy je vzhledem k využití potenciálu dopadajícího slunečního záření ideální. V případě stavby je z hlediska možného osazení FV moduly vyhovující, neboť se zde vyskytují pouze dvě střešní okna, která jsou navíc stejně vzdálená od okraje střechy. Při návrhu rozmístění FV modulů tak vzniká plocha, která nebude nikde zastíněna. Vyskytuje se zde pouze nerezový komín od domácího krbu, ten ovšem nebude FV moduly zastiňovat a jejich účinnost tak nebude ovlivněna zastíněním objektů umístěných na střeše domu.



označ.	LEGENDA MATERIÁLŮ
(A)	vnější tenkovrstvá šikmá bitová omítka - 2.np - barevná odstín šedá - doplněná na základě předložených vzorků - viz skladba stěny Z1
(B)	oknařádkové palubky - mezikenní pruhy - MIDJŮN, kotvené do dvojitého dřevěného rámu - viz skladba stěny Z2
(C)	komín - systémové řešení dodavatele plynového krbu
(D)	teráčská konstrukce zastřešení - hraněné, rostlé, smrkové dřeva povrch. úprava ochranný nátěr; barva bude upřesněna architektem
(E)	oplochování a keramofaká výmbky, odvodňovací sifony - systémové řešení, např. RHEINZINK povrch. úprava předzvětralý; barva: bitlicově šedý
(F)	střešní krytina - betonové tašky biomax MAX - včetně veškerých typových detailů, střešní krytina, včetně doplňkových prvků v podobě sněhových zachytávačů apod. - viz skladba střechy S2 a S3
(G)	střešní okno VELUX 78Cx1160
(H)	Třívrstvý nerezový komín Ø150, d.8,0m - systémové řešení dodavatele krbu

Obr. 20: Jižní pohled na rodinný dům

## 3.2 Návrh FV systémů

Hlavní rozdíl mezi klasickou a hybridní FVE spočívá především v maximálním využití energie z FV modulů, aniž by bylo zbytečně dodáno velké množství přebytečné energie zpět do sítě. U klasických FVE je využíváno maximálně 60% z celkové vyrobené energie – tedy cca 40% energie prodáváme do sítě za velice nevýhodných podmínek. Tato energie pak chybí při energetických špičkách, zejména večer a v noci – např. na odběr elektrické energie při náročných podmínkách jako je praní, vaření, sledování televize. [41]

Hybridní FVE dokáže zužitkovat veškerou elektrickou energii a umožňuje tak souvisle napájet objekty i v případě výpadku elektrické rozvodné sítě. Stejně jako klasické FVE umožňuje dodávat přebytky do sítě, ovšem pouze v případě, kdy již nemůže být v instalovaném objektu využívána – akumulátor je plně nabitý a spotřeba aktuálně využívaných spotřebičů je menší, než dodávaný výkon FVE. Pokud je celková spotřeba vyšší, než celková výroba, umožňuje elektřinu dokupovat, neboť jsou připojeny k distribuční síti. Hybridní střídač, srdce HFVE, automaticky vyhodnotí, že je třeba zvýšit příkon ze sítě a plynule změní poměr odběru ze sítě a odebírání z akumulátoru.

Zatímco u klasických FVE není možné žádat o dotaci z programu Nová zelená úsporám, neboť neobsahuje akumulační prvky a není zaručena spotřeba minimálně 70% vyrobené elektrické energie, u HFVE všechny požadavky splňujeme a lze tak žádat o dotaci 70 000 Kč u instalace s využitelným ročním ziskem alespoň 1700 kWh, resp. 100 000 Kč s ročním využitím alespoň 3000 kWh elektrické energie vyrobené FV systémem.

HFVE systém se tak jeví jako ideální řešení pro plánovanou výstavbu vedoucí nejen k nezávislosti na zvyšování cen elektřiny, nýbrž i k celkové nezávislosti na případných výpadcích distribuční sítě.

Pro výsledné porovnání byly namodelovány 2 druhy FVE viz Tab. 3-1. První je klasický ON GRID (v textu uváděn jako FVE), druhý systém hybridní s akumulací energie do baterií (uváděn jako HFVE). Pro klasický FV systém bude využito 12 multikrystalických modulů o celkovém nominálním výkonu 2,76 kWp, pro HFVE bylo namodelováno 15 modulů s výkonem k 3,45 kWp. Střídač byl použit pro každý systém rozdílný. V ON GRID systému bylo zvoleno zařízení *Fronius Galvo 3.3-1*. Pro hybridní FVE byl využíván střídač *Studer Innotec XTM 4000-48* doplněný o lithiovou baterie k akumulaci elektrické energie.

Tab. 3-1: Navržené FV systémy

	<b>HFVE</b>	<b>FVE</b>
<b>FV modul:</b>	<i>TrinaSolar TSM-PC05</i>	<i>TrinaSolar TSM-PC05</i>
<b>Počet modulů:</b>	15	12
<b>Nominální výkon FV: modulů</b>	3,45 kWp	2,76 kWp
<b>Střídač:</b>	<i>Studer Innotec XTM 4000-48</i>	<i>Fronius Galvo 2.5-1</i>
<b>Regulátor nabíjení:</b>	<i>Studer Innotec VarioTrack VT-65</i>	-
<b>Baterie:</b>	<i>BMZ ESS 3.0</i>	-

### 3.3 Spotřeba elektrického energie

V rodinném domu bude instalován plynový kotel *Viessman Vitodens 242-F*, který bude potrubním rozvodem rozdělen na 2 topné okruhy – podlahové vytápění a ohřev teplé vody. Ve spotřebě elektrické energie budou uvažovány pouze typické spotřebiče domácnosti bez ohledu na spotřebu elektřiny plynového kotle, neboť ta se během roku výrazně mění v závislosti na potřebě vytápění a ohřívání teplé vody. Očekávaný přehled spotřeby elektrické energie a doby provozu uvedených zařízení je znázorněn v Tab. 3-2.

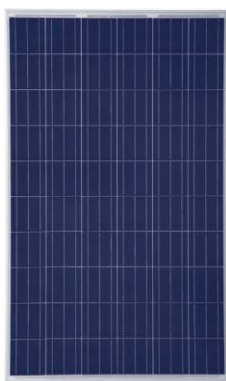
Tab. 3-2: Spotřeba elektrické energie

<b>Spotřebič</b>	<b>Příkon [W]</b>	<b>Denní provoz [h]</b>	<b>Denní spotřeba [Wh]</b>
<b>Kombinovaná chladnička</b>	-	24	660
<b>20x 8W LED</b>	160	3	480
<b>2x notebook</b>	35	4	140
<b>LCD televizor</b>	100	3	300
<b>Pračka</b>	800	0,5	400
<b>Myčka</b>	900	0,5	450
<b>Ostatní spotřebiče</b>	1000	1	1000
<b>Celková denní / měsíční / roční spotřeba je 3,43 kWh / 104,33 kWh / 1251,95 kWh</b>			

## 3.4 Vybrané komponenty

### 3.4.1 FV modul *TrinaSolar TSM-PC05*

Po prozkoumání trhu byl pro FV systém zvolen multikrystalický modul švýcarské značky *TrinaSolar*, který je v ČR dobře dostupný jak z cenového hlediska, tak zastoupení značky a možnosti jeho náhrady v případě poškození. Výrobce garantuje minimálně 90 % původní hodnoty výkonu po dobu 10 let a 80 % po dobu 25 let. Hodnoty uvedené na Obr. 21 jsou naměřeny při 25°C a 1000 W/m<sup>2</sup> při splnění podmínek STC (standardní testovací podmínky). [30]



<b>Typ FV modulu:</b>	multikrystalický
<b>Maximální výkon:</b>	230 Wp
<b>Účinnost:</b>	14,1 %
<b>Proud nakrátko:</b>	8,26 A
<b>Napětí naprázdno:</b>	37 V
<b>Rozměry:</b>	1650x992x40 mm
<b>Hmotnost:</b>	19,5 kg

Obr. 21: TrinaSolar TSM-PC05 [30]

### 3.4.2 Střídač *Fronius Galvo 3.1-1*

Střídače řady *Galvo* výrobce *Fronius* jsou jednofázové, beztransformátorové systémy vhodné pro rodinné domy při instalaci ON GRID systému. Pro hybridní instalace nemohou být využívány, neboť neobsahují vstup pro akumulátor. Na druhou stranu umožňují instalaci ve venkovních podmínkách vzhledem ke stupni krytí IP65 viz Obr. 22, na kterém jsou uvedeny i další technické parametry střídače *Fronius Galvo 3.1-1*.



<b>Jmenovité výstupní napětí:</b>	230 V
<b>Evropská účinnost MPP:</b>	95,4 %
<b>Jmenovitý výstupní výkon:</b>	3,1 kVA
<b>Maximální nabíjecí proud:</b>	15 A
<b>Stupeň ochrany:</b>	IP65
<b>Rozměry:</b>	645x431x204 mm
<b>Hmotnost:</b>	16,8 kg

Obr. 22: Fronius Galvo 3.1-1 [24]

### 3.4.3 Hybridní střídač *Studer Innotec XTM 4000-48*

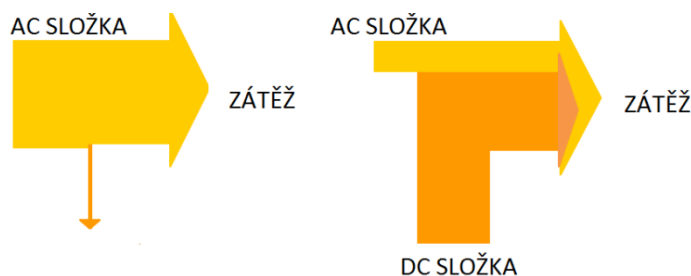
Hybridních střídačů zatím není na trhu takové množství. Střídače švýcarského výrobce *Studer Innotec* patří mezi nejvyhledávanější. Tento konkrétní má stálý nominální výkon 3,5 kVA, po dobu 30 minut 4 kVA a po dobu 5 sekund dokonce 10,5 kVA. Jedná se o plně integrovaný systém, který produkuje čistý sinusový signál. Vzhledem ke krytí stupně IP20 je vhodné instalovat jej ve vnitřních prostorech, ideálně v technické místnosti s baterií a podružnými rozváděči elektrické energie. Technické parametry střídače jsou na Obr. 23.



<b>Jmenovité výstupní napětí:</b>	230 V
<b>Jmenovité napětí baterie:</b>	48 V
<b>Jmenovitý výstupní výkon:</b>	3,5 kVA
<b>Výstupní napětí regulátoru:</b>	38 - 68 V
<b>Maximální nabíjecí proud:</b>	50 A
<b>Rozměry:</b>	466 x 322 x 133 mm
<b>Hmotnost:</b>	22,9 kg

Obr. 23: *Studer Innotec XTM 4000-48* [29]

Předností hybridních střídačů *Studer Innotec* je technologie *Smart-Boost*, která umožňuje upřednostňovat DC složku uloženou v akumulátoru před AC složkou putující ze sítě a zároveň plynule regulovat jejich poměr na základě adaptivního algoritmu viz Obr. 24. [23]



Obr. 24: Technologie *Smart-Boost*

### 3.4.4 Regulátor nabíjení *Studer Innotec VarioTrack VT-65*

Tento regulátor nabíjení byl vybrán především kvůli kompatibilitě se střídačem v hybridním FVE, neboť jsou oba tyto produkty od stejného výrobce. Solární regulátor nabízí účinnost 98 % a je možné ho využít pro systémy s FV výkonem až 4 kWp. Vzhledem ke krytí stupně IP54 je možné instalovat jej ve venkovních podmínkách např. pod střešní převis. Další technické parametry jsou uvedeny na Obr. 25. [28]



<b>Jmenovité napětí:</b>	12 / 24 / 48 V
<b>Jmenovitý nabíjecí proud:</b>	65 A
<b>Účinnost</b>	98 %
<b>Maximální FV vstupní napětí:</b>	150 V
<b>Maximální FV příkon:</b>	1000 / 2000 / 4000 W
<b>Rozměry:</b>	120 x 220 x 310 mm
<b>Hmotnost:</b>	5,2 kg

Obr. 25: Studer Innotec VarioTrack VT-65 [28]

### 3.4.5 Li-Ion baterie **BMZ ESS 3.0**

Akumulátor typu Li-Ion byl vybrán především z důvodu vysokého počtu nabíjecích cyklů, který je u tohoto konkrétního typu až 5000 hlubokého vybití do 20 % kapacity baterie. Oproti tomu olověné akumulátory dosahují hodnot pouze cca 1000 a musejí tak být častěji obměňovány. Obecně je cena lithiových akumulátoru vyšší, než u olověných, má ovšem delší životnost – počet nabíjecích cyklů.

**BMZ ESS 3.0** je akumulátor německé výroby a jeho maximální kapacita dosahuje hodnoty 6,74 kWh. Budeme-li brát v úvahu pouze 80% vybíjení (garantovaná hodnota), máme k dispozici kapacitu 5,39 kWh. Jelikož budeme u tohoto FV systému požadovat dotaci z programu NZÚ, musíme se řídit požadavkem nutnost kapacity baterie alespoň 1,75 kWh/kWp, což vzhledem k instalovanému výkonu FV modulů 3,45 kWp vychází na 6,04 kWh – akumulátor vyhovuje požadavkům. Vzhledem k rozměrům a hmotnosti vybrané baterie je vhodné umístit ji do místnosti spolu s hybridním střídačem. Na Obr. 26 jsou zobrazeny další technické parametry akumulátoru. [26]



<b>Typ baterie:</b>	Li-Ion
<b>Maximální kapacita:</b>	6,74 kWh
<b>Nominální kapacita:</b>	121,5 Ah
<b>Jmenovité napětí:</b>	55,5 V
<b>Počet nabíjecích cyklů:</b>	5 000
<b>Rozměry:</b>	638 x 421 x 487 mm
<b>Hmotnost:</b>	95kg

Obr. 26: **BMZ ESS 3.0**



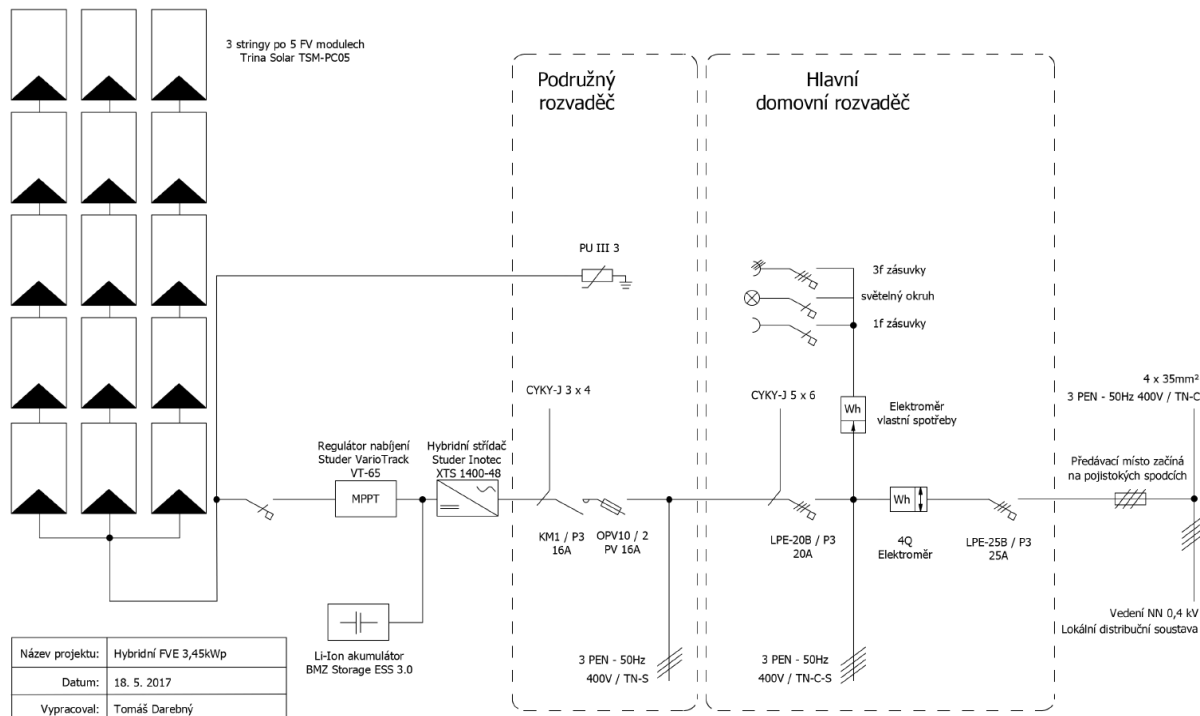
### 3.6 Elektroinstalace

Na Obr. 28 je naprojektováno jednopólové schéma zapojení hybridního FV systému od modulů až po distribuční síť. K tomuto návrhu byl využit program *EPLAN Electric P8*, který umožňuje projektování jednoduchých přístrojů stejně jako velkých energetických celků.

Vyprodukovaná elektrická energie protéká obvodem přes jistič s přepětovou ochranou do regulátoru nabíjení. Z toho se větví do akumulátoru, kde je ukládána přebytečná energie a dále do hybridního střídače. Ze střídače opět na přepětovou ochranu s jističem do podružného rozváděče sloužícího k měření produkce FV systému. Z rozváděče podružného postupuje vyprodukovaná elektrická energie do hlavního rozváděče, odkud je vedena do jednotlivých větví potřebujících napájení.

Z druhé strany přitéká elektrická energie z distribuční sítě přes domovní elektroměr a hlavní jistič opět do hlavní rozvodné skříně. Rozhodnutí, která elektrická energie má být v konkrétním čase využita, záleží na hybridním střídači a jeho naprogramování.

Pro FVE systém by bylo schéma podobné, přičemž by chyběl regulátor napájení, akumulátor a logika ve střídači by byla naprogramována odlišným způsobem.



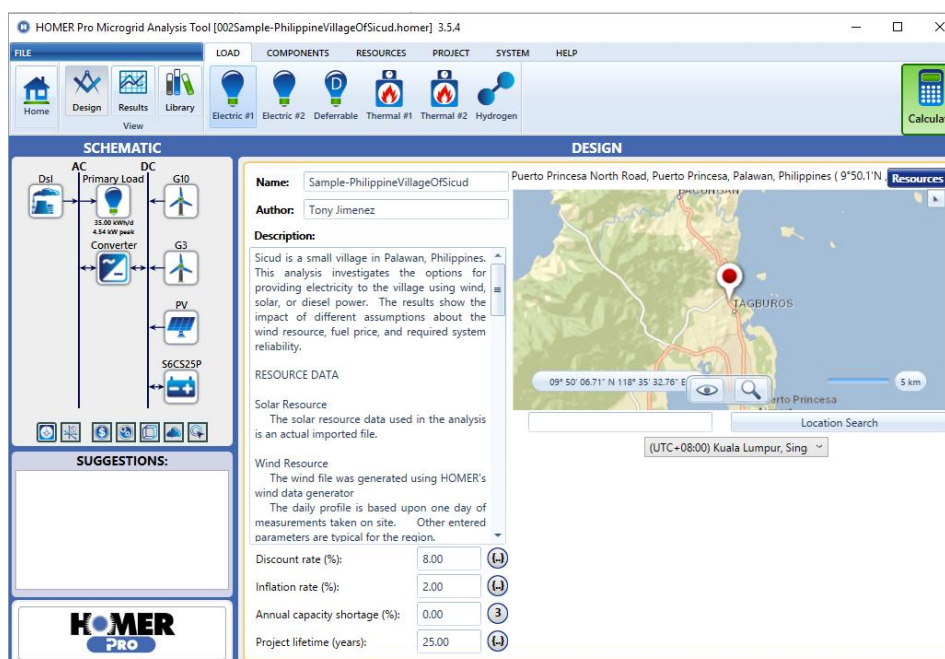
Obr. 28: Jednopólové schéma zapojení systému HVVE

## 3.7 Použité simulační programy

### 3.7.1 HOMER Pro

*HOMER Pro* (Homer) je počítačový software, který je určen pro komplexní výpočet FV systémů, malých větrných a vodních elektráren, záložních diesellových generátorů nebo jakékoliv kombinace těchto systémů. Byl vyvinutý na americkém *National Renewable Energy Laboratory NREL*, optimalizuje decentralizované systémy dodávek energie, které mohou být v ostrovní síti nebo napojené do rozvodné sítě. Za tímto účelem lze různé komponenty, jako jsou FV moduly, střídače, větrné nebo vodní elektrárny, kombinovat podle požadavků. Pro popis FV panelu a střídače jsou potřebné informace o výkonnosti a nákladech. [34]

Nevýhoda tohoto programu ve studentské verzi spočívá v omezeném množství komponent a přístrojů v knihovně. Jsou zde pouze někteří zástupci trhu. Například v kategorii střídačů chybí přístroje, které by mohli simulovat hybridní FVE – například švýcarský výrobce *Studer Innotec*. Silnou stránkou programu Homer je optimalizace systému. Pro mnoho parametrů lze definovat různé hodnoty, se kterými Homer provádí analýzy citlivosti a ze stovek možných variant najde optimální variantu nákladů. Pro všechny konfigurace jsou prováděné výpočty na hodinovém základě a mohou být znázorněny graficky a ve formě tabulky. Uživatelské prostředí programu *HOMER Pro* je znázorněno na Obr. 29.



Obr. 29: Uživatelské prostředí *HOMER Pro* [27]

### 3.7.2 PV\*SOL

PV\*SOL je simulační program berlínské společnosti *Valentin Energie Software GmbH*, která jej vyvíjí a prodává již od roku 1998. Původně se společnost zabývala simulací solárních termických systémů, s nimiž se zakladatel společnosti zabýval již od sedmdesátých let. Tento program je jedním z nejpoužívanějších v Německu stále větší oblibě i v zahraničí. [34]

Mezi výhody programu PV\*SOL patří i jeho internetová online verze, která poskytuje jednoduché uživatelské prostředí a rychlou ověřitelnost vhodnosti navrženého FV systému. Navíc obsahuje rozsáhlou pravidelně aktualizovanou databázi panelů a střídačů, nechybí ani knihovny pro baterie, MPP, jednotlivé spotřebiče a zátěžové profily. Stejně jako v *Homer Pro* ovšem chybí výrobce *Studer Innotec*.

### 3.7.3 PVGIS

PVGIS je především bezplatná služba, která je k dispozici na webových stránkách IRC (Institut pro energetiku Evropské komise v Itálii). Poskytuje uživatelům údaje o záření pro jakékoli místo v Evropě jako hodnoty měsíčního průměru nebo průměrné denní hodnoty. Údaje od PVGIS pochází z různých datových zdrojů – evropské údaje pochází z *European Solar Radiation Atlas* z období 1981 až 1990. Uživatelské prostředí je znázorněno na Obr. 30. Výstupem programu jsou grafické nebo textové soubory.

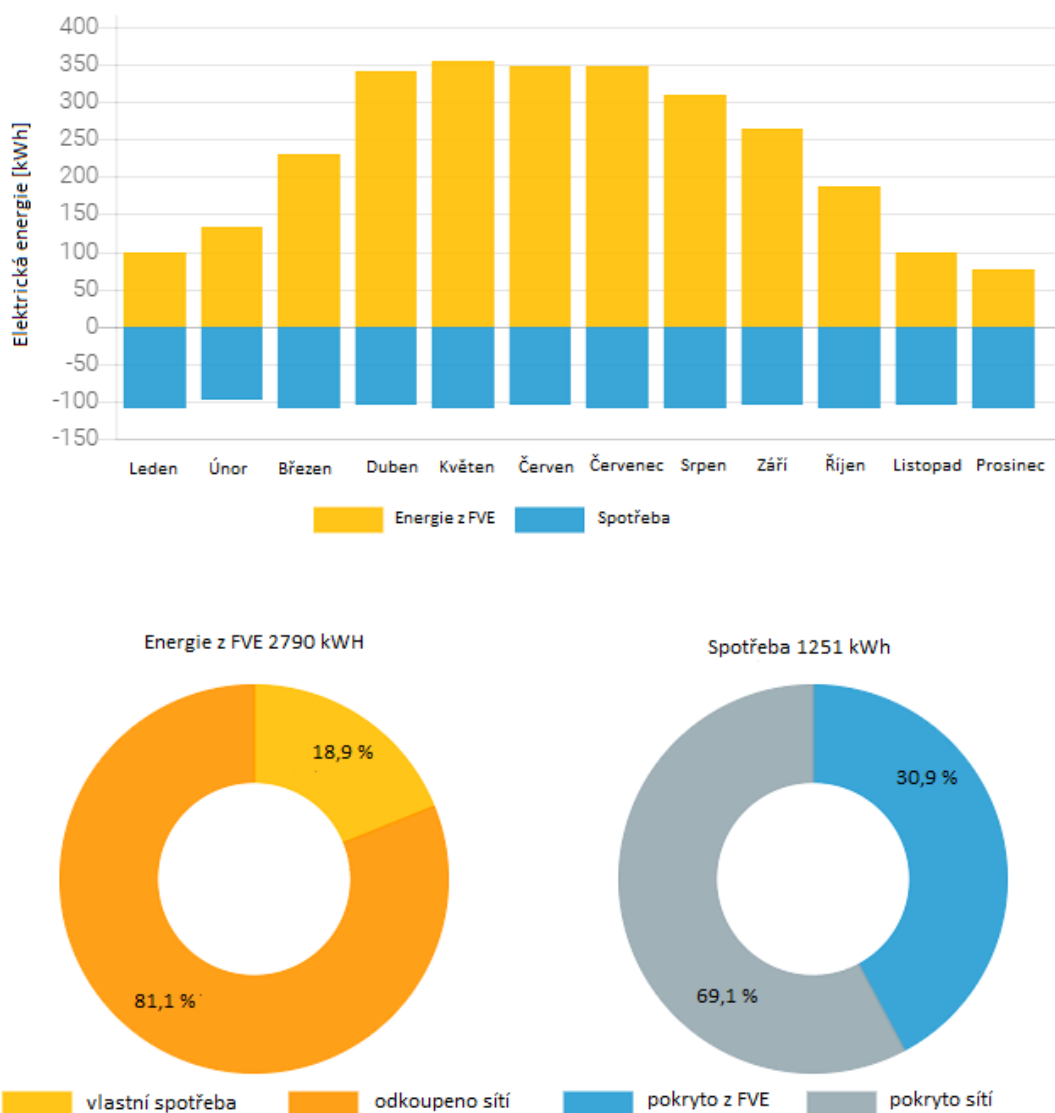
The screenshot shows the PVGIS web application interface. On the left is a map of Europe with various countries labeled. On the right is a configuration panel titled "Performance of Grid-connected PV". The panel includes a search bar at the top, a "Radiation database" dropdown, "PV technology" set to "Crystalline silicon", "Installed peak PV power" set to 1 kWp, and "Estimated system losses" set to 14%. Under "Fixed mounting options", the "Mounting position" is "Free-standing", "Slope" is 35 degrees, and "Azimuth" is 0 degrees. Under "Tracking options", there are checkboxes for "Vertical axis", "Inclined axis", and "2-axis tracking", each with a "Slope" field and an "Optimize" checkbox. Under "Output options", there are checkboxes for "Show graphs", "Show horizon", "Web page", "Text file", and "PDF". A "Calculate" button is at the bottom of the panel. The map section has a search bar and a "Go to lat/lon" button.

Obr. 30: Uživatelské prostředí PVGIS [25]

## 3.8 Výstupy ze softwaru

### 3.8.1 FVE v programu PV\*SOL

Jelikož v databázi programu *PV\*SOL* není zahrnut námi vybraný FV modul, byl ze seznamu vybrán modul stejného výrobce o vyšším výkonu 250 Wp, místo 12 modulů bylo zvoleno pouze 11, čímž se výsledný výkon dostal na téměř shodnou úroveň – rozdíl činí pouze 0,01 kWp. Sklon modulu byl nastaven na 35° a orientace modulů má azimut 165°. V databázi přístrojů byl k dispozici střídač *Fronius Galvo 3.1-1*, který byl pro tento typ FV systému navržen. Dále je zde zohledněna měsíční spotřeba elektrické energie, která v našem případě činí 1251 kWh bez započtení nákladů na provoz plynového kondenzačního kotle.



Obr. 31: Výstup z programu *PV\*SOL* pro FVE

Z Obr. 31 je patrné, v čem je tkví hlavní nevýhoda ON GRID systémů. Ročně nám navržený FV systém vyrobí 2791 kWh elektrické energie a spotřeba bez napájení plynového kotle 1251 kWh, i přesto pokryje vyrobené elektřina pouze 30,9 % celkové spotřeby domácnosti – v systému chybí akumulátor, který by uložil vyrobenou elektrickou energii pro pozdější využití.

Z Tab. 3-3 je taktéž patrné, že ročně odprodáme zpět do sítě celkem 1540 kWh, což tvoří celkem 81,1 % vyrobené energie. Dále je z tabulky zřejmé, že i při takto navrženém systému bychom mohli být téměř nezávislí na distribuční síti, neboť pouze ve 3 měsících vychází rozdíl mezi vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energií záporně.

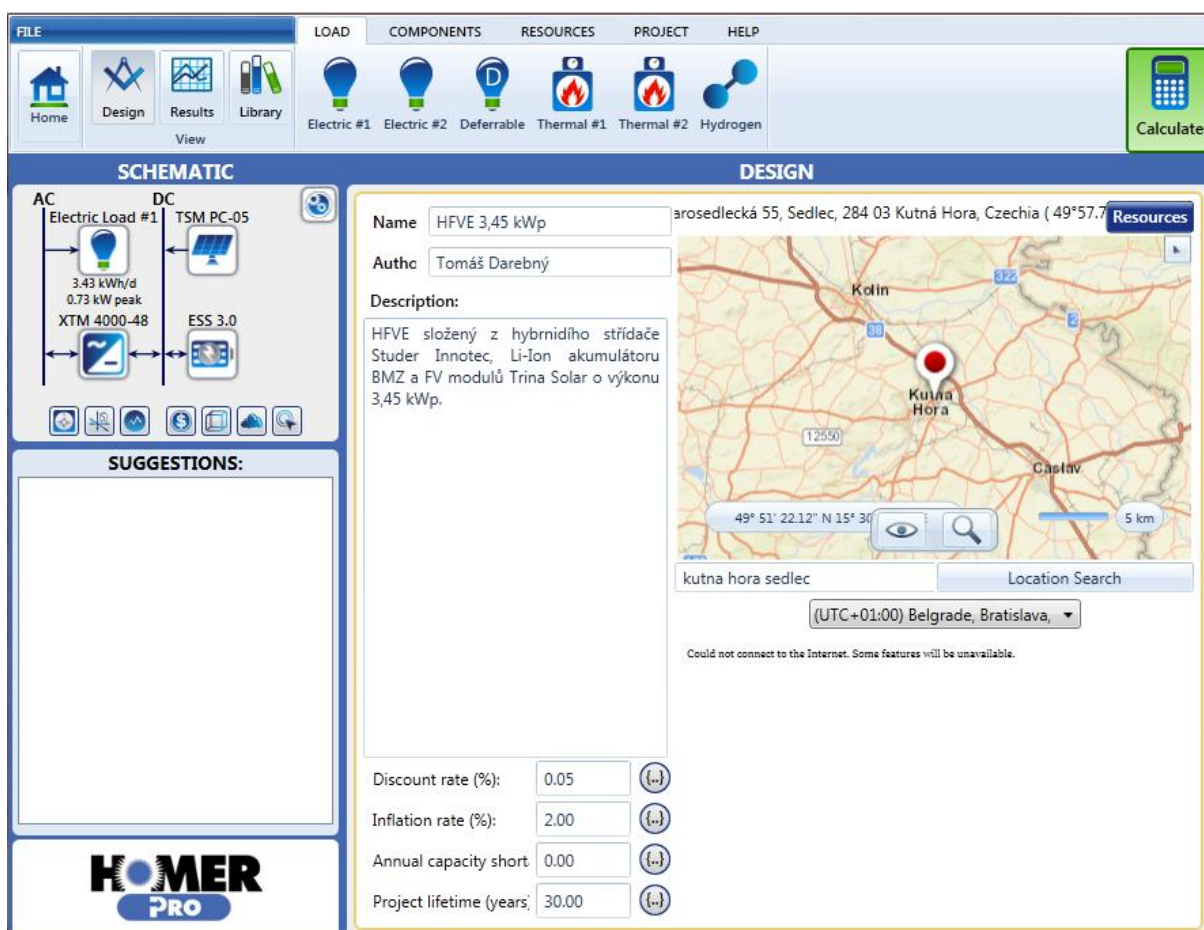
Tab. 3-3: Přehled vyrobené a spotřebované elektrické energie v průběhu roku u FVE

Měsíc	Spotřeba [kWh]	Výroba FVE [kWh]	Rozdíl [kWh]
<b>Leden</b>	106	100	-6
<b>Únor</b>	97	133	36
<b>Březen</b>	106	230	124
<b>Duben</b>	103	342	239
<b>Květen</b>	106	355	249
<b>Červen</b>	103	347	244
<b>Červenec</b>	106	347	241
<b>Srpen</b>	106	309	203
<b>Září</b>	103	265	162
<b>Říjen</b>	106	187	81
<b>Listopad</b>	103	100	-3
<b>Prosinec</b>	106	76	-30
<b>Celkem</b>	<b>1251</b>	<b>2791</b>	<b>1540</b>

Simulační program *PV\*SOL* v online verzi bohužel neobsahuje možnost zahrnout do navrženého systému akumulátor a hybridní střídač – tedy nemůže být nasimulován hybridní FV systém. Navíc je nasimulovaný systém FVE oproti navrženému HFVE systému poddimenzovaný o cca 0,7 kWp výkonu FV modulů.

### 3.8.2 HFVE v programu *HOMER Pro*

Pro simulaci hybridního FVE byl vybrán program Homer. Na vstupní obrazovce viz Obr. 32 se nastavila lokalita plánované instalace FV systému, tedy Kutná Hora. Podle aktuálních hodnot České národní banky (ČNB) se vyplní hodnota diskontní sazby a inflace. Dále je zde kolonka pro životnost projektu, která byla nastavena na 30 let.

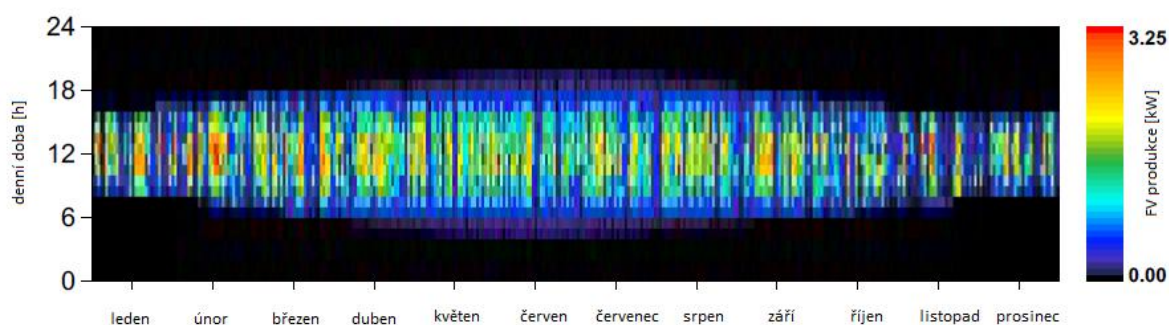


Obr. 32: Nastavení vstupní obrazovky programu *HOMER Pro*

Kromě kolonek pro jméno autora a název projektu s jeho popisem, je potřeba nastavit, jak bude systém koncipován – po vložení všech potřebných přístrojů a FV modulů v záložce *Components*, se tyto součásti zobrazí v levé části obrazovky (*Schematic*). Z důvodu omezené funkčnosti studentské licence byly namodelovány komponenty podle zadaných hodnot vyčtených z katalogových listů. V záložce *Resources* byly zvoleny a implementována potřebná data. V záložce *Load*, která je zobrazena na Obr. 32, zadáme spotřebu elektrické energie. Poslední důležitou záložkou je *Project*, kde bylo zapotřebí zvolit měnu, ve které byl projekt kalkulován.

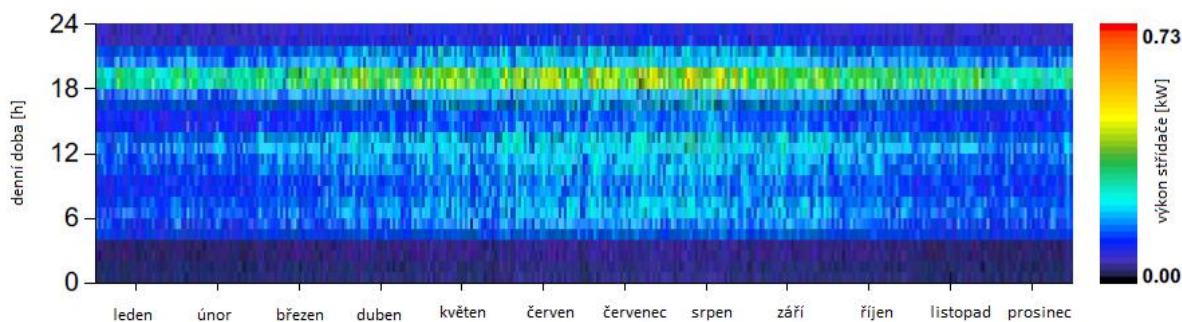
Ve studentské verzi není možné celý projekt uložit a plnohodnotně zobrazovat výsledky, na druhou stranu je možné vytvořit report, ve kterém jsou obsaženy nejdůležitější součásti projektu.

Na Obr. 33 je graf ze simulačního reportu. Je na něm zřejmé, že v zimních měsících je produkce elektrické energie generována pouze v užším rozsahu denní doby, než v letních měsících – v těch FV moduly produkují elektřinu již od brzkých ranních hodin do západu slunce. Celkem vyprodukuje 15 FV modulů výrobce *TrinaSolar* 3585 kWh ročně, tedy 286 % navržené roční spotřeby. Produkce dostatečná i k pokrytí zimních měsíců, kdy je vyrobené FV elektrické energie zpravidla méně. Z toho je patrné, že systém je navržen tak, aby pokryl spotřebu celoročně.



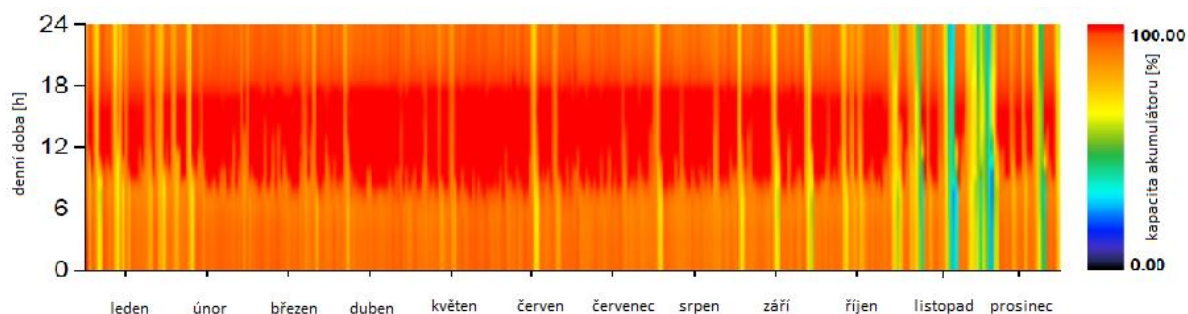
Obr. 33: Výroba elektrické energie FV moduly v průběhu roku

Výkon hybridního střídače je graficky zobrazen na Obr. 34. V letních měsících je jeho vyšší, neboť je vyšší produkce FV modulů. Z grafu je zřejmé, že nejvyššího výkonu dosahuje v podvečerních hodinách, kdy FV moduly přestávají produkovat elektrickou energii, která je pak čerpána z nabitého akumulátoru.



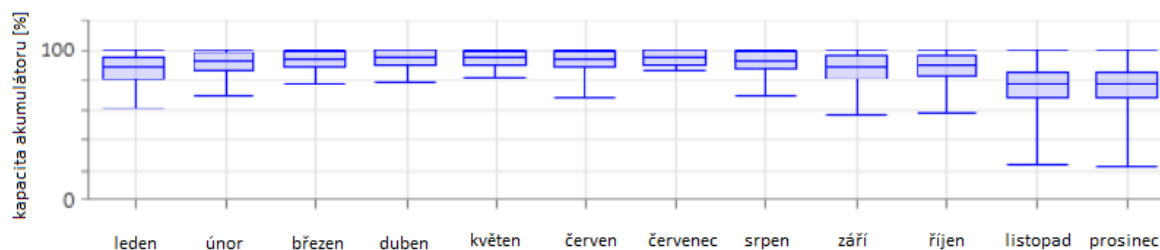
Obr. 34: Výkon střídače v průběhu roku

Na Obr. 35 je zobrazen kapacity Li-Ion akumulátoru – ten umožňuje vybíjení na 20 % při zachování záruky na produkt. Z tohoto grafu je patrné, že v letních bývá akumulátor vybíjen jen z části své kapacity. Žlutá místa v grafu (cca 60 % kapacity) mohou být v tomto období způsobeny nepříznivým počasím (simulační program *HOMER Pro* sbírá data z *NASA Surface meteorology and Solar Energy*), které v letních měsících mohou nastat.



Obr. 35: Stav kapacity akumulátoru v průběhu dne a roku

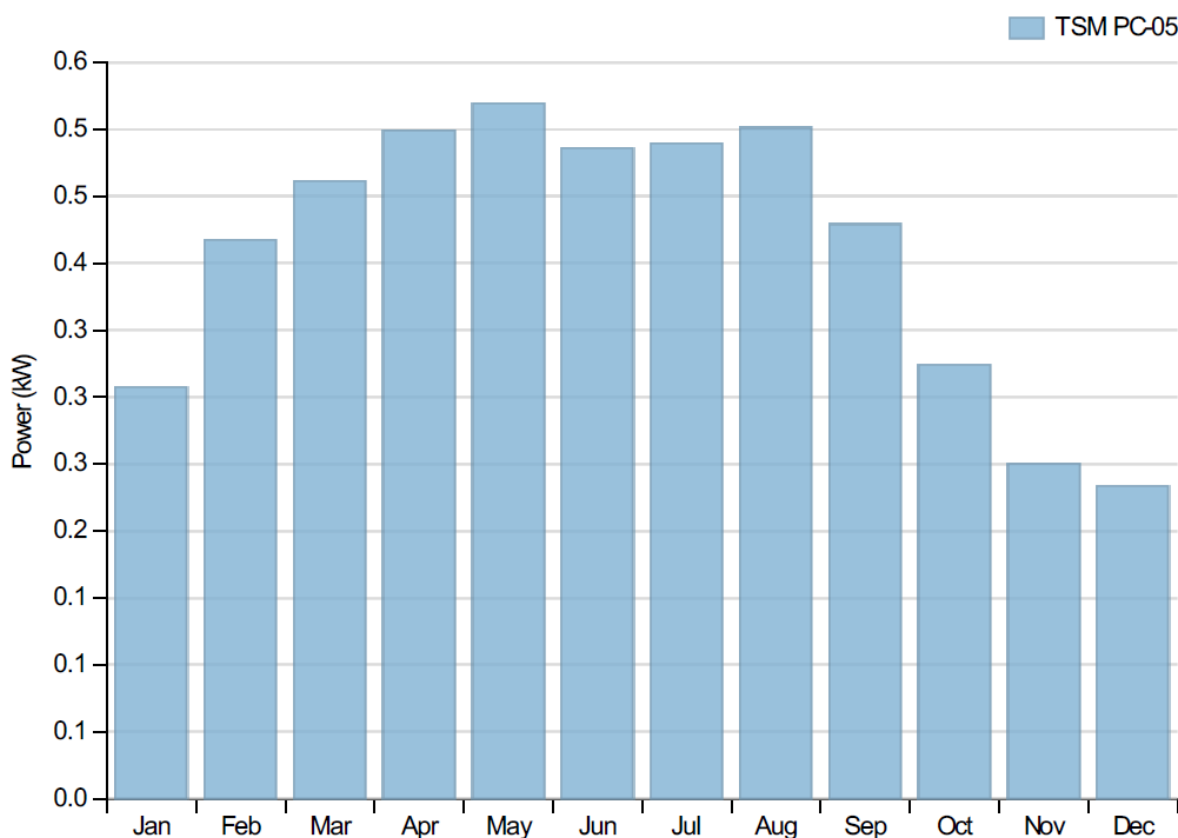
Z grafu, který je na Obr. 36 je naopak zřejmé, že v listopadu a prosinci musí akumulátor poskytovat 80 % své kapacity na spotřebu elektrické energie, dokud se druhý den opět nenabije.



Obr. 36: Stav kapacity akumulátoru v průběhu roku

Celkem s podivem lze brát, že v lednu a únoru poskytuje cca 40 % své kapacity. Tyto výsledky mohou zkreslovat data slunečního svitu, která byla naposled aktualizována v roce 2004 a také to, že je tento simulační program určen primárně pro americký trh.

Ze sloupcového grafu na Obr. 37 je znázorněno, že produkce FV modulů v lednu a únoru opravdu odpovídá grafu stavu kapacity akumulátoru, kdy se vybíjí pouze na 60 % své kapacity v lednu a 70 % v únoru.



Obr. 37: Produkce FV modulů v průběhu roku

Ze všech uvedených grafů je patrné, že navržený hybridní FV systém plně pokryje spotřebu v rodinném domu. Ta se ovšem může lišit od navrženého modelu. Navíc v ní není zahrnuta spotřeba za plynový kondenzační kotel, která se v průběhu roku mění v závislosti na potřebě vytápění a ohřevu teplé vody.

Existují dvě varianty, které by zvýšily spotřebu a využily tak více potenciál navrženého systému. Nahradit plynový kotel pro TUV a podlahové vytápění za elektrický druh vytápění – elektrický kotel nebo tepelné čerpadlo. Provoz tepelného čerpadla je ale ekonomicky náročný (údržba, životnost) a navíc je poměrně hlučné a nehodí se tak do těsné zástavby rodinných domů.

### 3.8.3 HFVE v programu PVGIS

Jelikož *HOMER Pro* ve studentské verzi neumožňuje plnou interpretaci výsledků, byl hybridní FV systém namodelován znovu v programu *PVGis* především z důvodu zjištění produkovaného výkonu v jednotlivých měsících. V *PVGis* je navíc umožněno zohlednit i orientaci modulů vzhledem ke světovým stranám, což v *Homeru* ve volně dostupné verzi možné nebylo.

Tab. 3-4: Nasimulované hodnoty slunečního svitu a produkce elektrické energie z *PVGis*

Měsíc	$E_d$ [kWh]	$E_m$ [kWh]	$H_d$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Leden	3,07	95	1,07	33
únor	5,51	154	1,94	54
Březen	9,73	302	3,54	110
Duben	13,30	398	5,01	150
Květen	13,50	418	5,22	162
Červen	13,60	407	5,35	160
Červenec	13,30	411	5,3	164
Srpen	12,60	391	4,97	154
Září	10,20	306	3,89	117
Říjen	7,22	224	2,66	82
Listopad	3,78	113	1,35	41
Prosinec	2,71	84	0,95	29
Průměr za měsíc	9,05	275	3,44	105
<b>Celkem za rok</b>		<b>3300</b>		<b>1260</b>

$E_d$  = průměrná měsíční produkce elektrické energie. [kWh]

$E_m$  = průměrná měsíční produkce elektrické energie [kWh]

$H_d$  = průměrná denní intenzita slunečního záření na čtvereční metr. [kWh/m<sup>2</sup>]

$H_m$  = průměrná měsíční intenzita slunečního záření na čtvereční metr. [kWh/m<sup>2</sup>]

Z porovnání hodnot celkové roční produkce elektrické energie, tedy součtem všech měsíčních  $E_m$  lze pozorovat, že oproti simulaci v programu *HOMER Pro*, která předpokládá 3585 kWh, je predikce z programu *PVGis* nižší o 8 % (285 kWh), tedy pouze 3300 kWh. Za tuto odchylku může nastavení orientace FV modulů. V *Homeru* byla nastavena optimální orientace, přesný jih, kdežto v *PVGis* reálná hodnota orientace FV modulů – azimut 165°.

## 4 návratnost

Dotace C.3.5.6 z programu NZÚ poskytuje jednorázovou podporu na pořízení FV systému – v našem případě 100 000 Kč na HFVE systém. Klasický FVE systém nesplňuje podmínky pro získání žádné dotace. U hybridního FV systému nemůže být počítáno s prodejem přebytečné elektrické energie, neboť nelze současně žádat o dotaci a prodávat elektřinu do distribuční sítě. U FVE je možné prodávat nadbytečnou elektřinu do distribuční sítě, ovšem v současné době pouze za tržní cenu elektřiny – ta ke dni 24. 5. 2017 činí 0,81 Kč/1 kWh. [3]

### 4.1 návratnost HFVE

Systém HFVE je tedy odkázán, aby v případě získání dotace spotřeboval veškerou vyrobenou elektrickou energii v místě objektu. Dle navrženého modelu ale zbývá nevyčerpaná elektrická energie v poměrně vysokých hodnotách, především v letních měsících viz Tab. 4-1. Ve spotřebě není navíc zahrnutá spotřeba na plynový kondenzační kotel. Možností, jak využít přebytečnou elektrickou energii v létě, by bylo instalovat tepelné čerpadlo pro ohřev vody v bazénu – to oproti tepelným čerpadlům není tak hlučné a je provozováno pouze v letních měsících, tedy v těch, ve kterých máme přebytečnou elektrickou energii.

Tab. 4-1: Přehled vyrobené a spotřebované elektrické energie v průběhu roku u HFVE

Měsíc	$S_m$ [kWh]	$E_m$ [kWh]	Rozdíl [kWh]
Leden	104,33	95	-9,33
únor	104,33	154	49,67
Březen	104,33	302	197,67
Duben	104,33	398	293,67
Květen	104,33	418	313,67
Červen	104,33	407	302,67
Červenec	104,33	411	306,67
Srpen	104,33	391	286,67
Září	104,33	306	201,67
Říjen	104,33	224	119,67
Listopad	104,33	113	8,67
Prosinec	104,33	84	-20,33
<b>Celkem</b>	<b>1251,96</b>	<b>3303</b>	<b>2051,04</b>

Na Tab. 4-2 je uveden rozpis jednotlivých položek v hybridním FV systému. Cena za elektroinstalaci a montážní materiál je pouhým průměrem vyhledaných cen na internetu. Konkrétní částku nabízí montážní firma. Ceny za uvedené přístroje jsou brány z českých internetových obchodů včetně DPH. V tomto případě je v tabulce zahrnuta i dotace z programu NZÚ, která snižuje výslednou cenu na 178 152 Kč.

Tab. 4-2: Cena za HFVE

<b>Položka</b>	<b>Počet [ks]</b>	<b>Cena za ks [Kč]</b>	<b>Cena celkem [Kč]</b>
<i>TrinaSolar TSM PC05</i>	15	3 933,-	58 995,-
<i>Studer Innotec XTM 4000-48</i>	1	55 001,-	55 001,-
<i>Studer Innotec VarioTrack VT-65</i>	1	16 456,-	16 456,-
<i>BMZ ESS 3.0</i>	1	111 925,-	111 925,-
Elektroinstalace	1	30 000,-	30 000,-
Montážní materiál na střeche	1	20 000,-	20 000,-
<b>Dotace NZÚ C.3.5.6</b>	<b>1</b>	<b>- 100 000,-</b>	<b>- 100 000,-</b>
<b>Celkem</b>			<b>192 377,-</b>

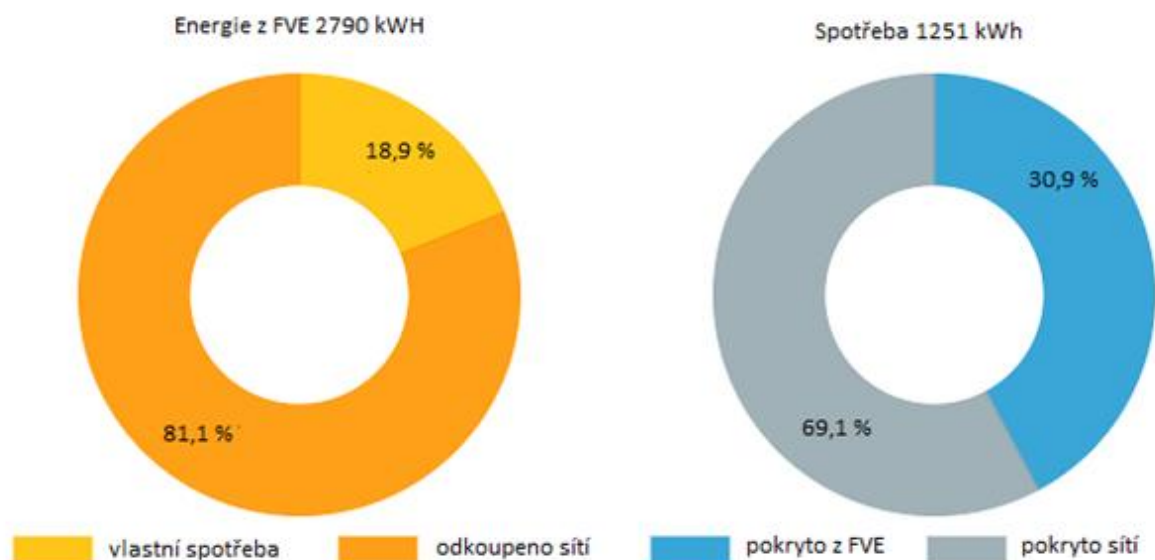
Bude-li uvažována cena 4,83 Kč za 1 kWh ušetřené elektrické energie, ročně se ušetří za elektřinu 15 953,49 Kč v případě, že bude spotřebována veškerá vyrobená elektrickou energií. Investice do HFVE by byla splacena cca za 12 let. Výrobce akumulátoru ovšem garantuje záruku pouze 7 let – delší životnost, než 10 let, nelze předpokládat. Hybridní střídač *Studer Innotec* má záruku pouze na 5 let, v tomto případě lze ovšem uvažovat životnost delší, minimálně 10 let při dodržování servisních úkonů, stejně jako u regulátoru nabíjení.

Z toho vyplývá, že po 10 letech se bude muset pořídit nový střídač, akumulátor a pravděpodobně i regulátor nabíjení. U FV modulů lze předpokládat životnost blízkou se 30 roků. Všeobecně platí, že pro výpočet hybridního FV systému neexistuje žádný ověřený mechanismus, který by potvrdil návratnost vstupní ceny.

Cena za pořízení nových komponent bude za 10 let značně odlišná – všechny součásti se neustále technologicky vylepšují a ceny klesají. Lze tedy předpokládat, že navržený hybridní systém může být ziskový.

## 4.2 Návratnost FVE

Jak již bylo napsáno na úvodu této kapitoly, současná výkupní cena přebytečné elektřiny činí 0,81 Kč/1 kWh. U tohoto klasického FV systému bude uvažována co nejnižší spotřeba v místě spotřeba a co největší prodej do sítě za tržní cenu – co nejrychlejší návratnost.



Obr. 38: Koláčové grafy z programu PV\*SOL

Cena nakupované elektrické energie bude opět uvažována 4,83Kč za 1 kWh. Ročně se musí nakoupit 69,1 % z celkové spotřeby, tedy 864,44 kWh, to se při součinu s nákupní cenou rovná 4 175,25 Kč. Za odprodej 2 262,69 kWh (81,1 %) vyrobené elektřiny za cenu 0,81 Kč za 1 kWh se utrží ročně 1 832,78 Kč. Bez FVE by se ročně nakupovala elektřinu za 6 042,33 Kč. Ročně náklady na elektřinu by tak vyšli na 2 342,47 Kč, ročně by tento systém uspořil 3 699,86 Kč. Návratnost FVE vychází vzhledem k pořizovací ceně viz Tab. 4-3 na cca 33 let. Do té doby by se musely koupit nové FV moduly. Střídač by musel být koupen nový minimálně dvakrát. Lze tedy tvrdit, že investice do klasického FV systému je v současné době nelogická a nevýhodná volba.

Tab. 4-3: Cena za FVE

Položka	Počet [ks]	Cena za ks [Kč]	Cena celkem [Kč]
TrinaSolar TSM PC05	12	3 933,-	47 196,-
Fronius Galvo 3.3-1	1	26 532,-	26 532,-
Elektroinstalace	1	30 000,-	30 000,-
Montážní materiál na střeche	1	20 000,-	20 000,-
<b>Celkem</b>			<b>123 728,-</b>

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s teorií týkající se fotovoltaických článků, modulů a systémů. Z prostudovaných možností instalace navrhnout fotovoltaický systém na střechu rodinného domu poblíž Kutné Hory ve Středočeském kraji. Z důkladného průzkumu trhu jsem dospěl názoru, že bude vhodné navrhnout dva fotovoltaické systémy, které se budou v mnohém rozcházet a bude tak možné zkoumat jejich rozdílnou ekonomické návratnost.

Pro návrh fotovoltaických systémů jsem zvolil 3 simulační programy. Každý z nich přitom umožňoval odlišné možnosti návrhu. Programy byly omezeny knihovny dostupných zařízení, která v nich bylo možné využívat, neboť se jednalo o volně dostupné licence, případně internetové verze. Pro profesionální návrh slouží placené verze programů, které obsahují rozsáhlé knihovny přístrojů a výstupy z jejich simulací tak mohou být přesnější.

Jako první systém byl zvolen klasický ON GRID systém, který je připojen k distribuční síti. Tento systém neobsahuje žádný akumulční prvek a ve své podstatě je velice jednoduchý. Buďto je objekt napájen z vyprodukované elektřiny, nebo je dodávána elektrická energie z rozvodné distribuční sítě. Nevýhodou tohoto systému se ukázala jeho nerentabilita. Vstupní cena by se nám při současných podmínkách panujících na energetické scéně vrátila stěží za 30 let. Příčina je zřejmá – systém vyrobí velké množství elektrické energie, které není možné během dne spotřebovat a proto je prodávána přebytečná elektřina do distribuční soustavy za velmi nízké, tržní, ceny.

Hybridní fotovoltaický systém se zdá být daleko výhodnější variantou. Zásadní rozdíl oproti klasickému fotovoltaickému systému spočívá v hybridním střídači a akumulátoru, do kterého je ukládána přebytečná energie, kterou nejsme schopni přes den spotřebovat. Tu pak můžeme využívat ve večerních a nočních hodinách vybíjením Li-Ion akumulátoru, přičemž ráno se akumulátor opět začne dobíjet. Návratnost u hybridního FV systému byla na základě simulací stanovena na 12 let. Záleží ovšem na životnosti jednotlivých přístrojů, zejména hybridního střídače a akumulátoru, které jsou nejdražšími položkami v tomto systému.

Jsem vděčný, že jsem při psaní této diplomové práce mohl proniknout do tajů fotovoltaiky – například na konferenci v rámci veletrhu Ampér 2017 jsem se setkal s odborníky na dané téma a ujasnil si pohled na věc. Přesto bych si při současných podmínkách nepořídil žádný z popsaných fotovoltaických systémů a ušetřené peníze vložil do jiných, dle mého názoru výhodnějších komodit.

## Seznam použité literatury

- [1] Czech RE Agency: *Fotovoltaika pro každého*. [online]. 2009 [cit. 28. 10. 2015].  
Dostupné z: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/>>
- [2] ŘEHÁK, J., BÁRTEK, J., BAŘINKA, R.. *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování*. Praha: Česká energetická agentura, 2010, 61 s.
- [3] Kurzy. Elektřina - aktuální a historické ceny elektřiny [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/cena-elekriny-graf-vyvoje-ceny/index.asp?A=5&idk=142&curr=CZK&on=0&unit=1%20kWh&lg=1>
- [4] ČADA, M. *Degradační testy polymerních materiálů vystavených elektrickému poli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [5] LIBRA, M., POULEK, V. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. 1. vyd. V Praze: ČZU, 2005, 122 s. ISBN 80-213-1335-8.
- [6] MORAVEC. *Polymery: Polymery, historie, využití, příprava, struktura*. [online]. [cit. 13. 11. 2015].  
Dostupné z: <[http://www.vyuka.z-moravec.net/download/\\_chemie/1-01polymery.pdf](http://www.vyuka.z-moravec.net/download/_chemie/1-01polymery.pdf)>
- [7] Czech Nature Energy: *Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny*. [online]. 2013 [cit. 13. 11. 2015].  
Dostupné z: <<http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>
- [8] DuPont: *DuPont Glass Laminating Solutions Technical Information..* [online]. 2014 [cit. 13. 11. 2015].  
Dostupné z: <[http://www2.dupont.com/SafetyGlass/en\\_US/tech\\_info/index.html](http://www2.dupont.com/SafetyGlass/en_US/tech_info/index.html)>.
- [9] ABUŠINOV, A. Plasty se podílejí na solárním boomu, [online]. 2014 [cit. 13. 11. 2015].  
Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/plasty-se-podileji-na-solarnim-boomu.html>>
- [10] Deramax. *Jaké fotovoltaické panely budu potřebovat* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <https://www.deramax.cz/5-jake-fotovoltaicke-panely-pouzit-5-dil-ze-serialu-clanku>

- [11] *Fluorochromy* [online]. 2014 [cit. 16. 11. 2015].  
Dostupné z: <<http://labguide.cz/wp-content/uploads/2015/01/ELEKTROMAGNETICK%C3%89-SPEKTRUM.jpg>>
- [12] ŠKORPÍK, J. *Sluneční záření jako zdroj energie*. [online] 2006-09, [cit. 16. 11. 2015]. Brno, ISSN 1804-8293.  
Dostupné z: <<http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>>
- [13] *Aplikace solárních fotovoltaických systémů* [online]. 2014 [cit. 18. 11. 2015].  
Dostupné z: <<https://publi.cz/books/91/06.html>>
- [14] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*, 1994. 1. vydání. Praha: T. Malina.
- [15] VANĚK, J., KŘIVÍK, P.. *Obnovitelné zdroje energie* [online]. Brno, 2014 [cit. 20. 11. 2015]. Dostupné z: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=96366](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=96366)>
- [16] VANĚK, J., KŘIVÍK, P., NOVÁK, V. *Alternativní zdroje energie* [online]. Brno, 2014 [cit. 20. 11. 2015]. Dostupné z: <[https://www.vutbr.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=27102](https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=27102)>
- [17] VALA, Z. *Fotoluminiscenční metody detekce defektů solárních článků*. Brno, 2009. 65 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [18] FOTIS, K. *Modeling and simulation of a dual-junction CIGS solar cell using Silvaco Atlas* [online]. 2012 [cit. 5. 12. 2015].  
Dostupné z: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a574282.pdf>>
- [19] CHLEBOUN, J. *Degradační testy polymerních materiálů vystavených klimatickým podmínkám*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.
- [20] MLEZIVA, J. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [21] *PHOTOVOLTAICS REPORT* [online]. Freiburg, 2015 [cit. 2. 12. 2015].  
Dostupné z: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/downloads-englisch/pdf-files-englisch/photovoltaics-report-slides.pdf>>

- [22] TZB info. *Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-domaci-elektrarny-v-roce-2016>
- [23] Studer Innotec. *New Trends in Hybrid Systems with Battery* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: [http://www.studer-innotec.com/media/document/0/new\\_trends\\_in\\_hybrid\\_systems\\_with\\_battery\\_inverter.pdf](http://www.studer-innotec.com/media/document/0/new_trends_in_hybrid_systems_with_battery_inverter.pdf)
- [24] Fronius Galvo. *Katalogový list* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://eshop.solartec.cz/import/527.pdf>
- [25] PVGIS. *Performance of Grid-connected PV* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
- [26] BMZ ESS. *Katalogový list* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: [https://www.solarniexperti.cz/wp-content/uploads/Datasheet-BMZ\\_ESS\\_3.0.pdf](https://www.solarniexperti.cz/wp-content/uploads/Datasheet-BMZ_ESS_3.0.pdf)
- [27] Homer Energy. [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: [http://homerenergy.com/images/homer\\_pro\\_screenshot.PNG](http://homerenergy.com/images/homer_pro_screenshot.PNG)
- [28] Fronius VarioTrack. *Katalogový list* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.studer-innotec.com/media/document/0/variotrack-en-1.pdf>
- [29] Studer Innotec. *Katalogový list* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.studer-innotec.com/media/document/0/xtm-en-8.pdf>
- [30] TrinaSolar. *Katalogový list* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: [http://napelem.net/napelem\\_arak/adatlap/Trina\\_Solar\\_PC5.pdf](http://napelem.net/napelem_arak/adatlap/Trina_Solar_PC5.pdf)
- [31] Solartec. *Schéma možných zapojení* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.solartec.eu/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/schema-moznych-pripojeni>
- [32] ACDC Systems. *Fotovoltaika* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.acdcsystems.cz/fotovoltaika/>
- [33] Dorr Střechy. [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.dorrstrechy.cz/UserFiles/Image/typy-strech.jpg>

- [34] HASELHUHN, Ralf. *Photovoltaik: Gebäude liefern Strom*. 2005. ISBN 3-934595-53-7.
- [35] TZB info. *Střídač pro fotovoltaickou elektrárnu. Jakou technologii zvolíte?* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/9555-stridac-pro-fotovoltaickou-elektrarnu-jakou-technologie-zvolite>
- [36] TZB info. *Fotovoltaický střídač - účinnost není vše* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5571-fotovoltaicky-stridac-ucinnost-neni-vse>
- [37] Nová zelená úsporám. *O programu (2016)* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/poradenske-centrum/o-programu-2016/>
- [38] TZB info. *Příspěvek na fotovoltaiku pro rodinné domy v Nové zelené úsporám* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/zelena-usporam-na-tzb-info/13476-prispevek-na-fotovoltaiku-pro-rodinne-domy-v-nove-zelene-usporam>
- [39] Nová zelená úsporám. *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: [http://www.novazelenausporam.cz/file/818/nzu\\_zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva\\_11-2016.pdf](http://www.novazelenausporam.cz/file/818/nzu_zavazne-pokyny-pro-zadatele-rd-3-vyzva_11-2016.pdf)
- [40] ERÚ. *Vyhláška č. 16/2016 Sb.* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/463080/Vyhl%C3%A1%C5%A1ka+o+podm%C3%ADnk%C3%A1ch+p%C5%99ipojen%C3%AD%20k+elektrizaci%C4%8Dn%C3%AD%20soustav%C4%9B/e40a8453-37b6-4b06-848e-c4eac97a886a>
- [41] TechPark. *Cesta k energetické nezávislosti* [online]. [cit. 2017-05-24].  
Dostupné z: <http://www.solartechnika.sk/solartechnika-42011/cesta-k-energeticke-nezavislosti.html>

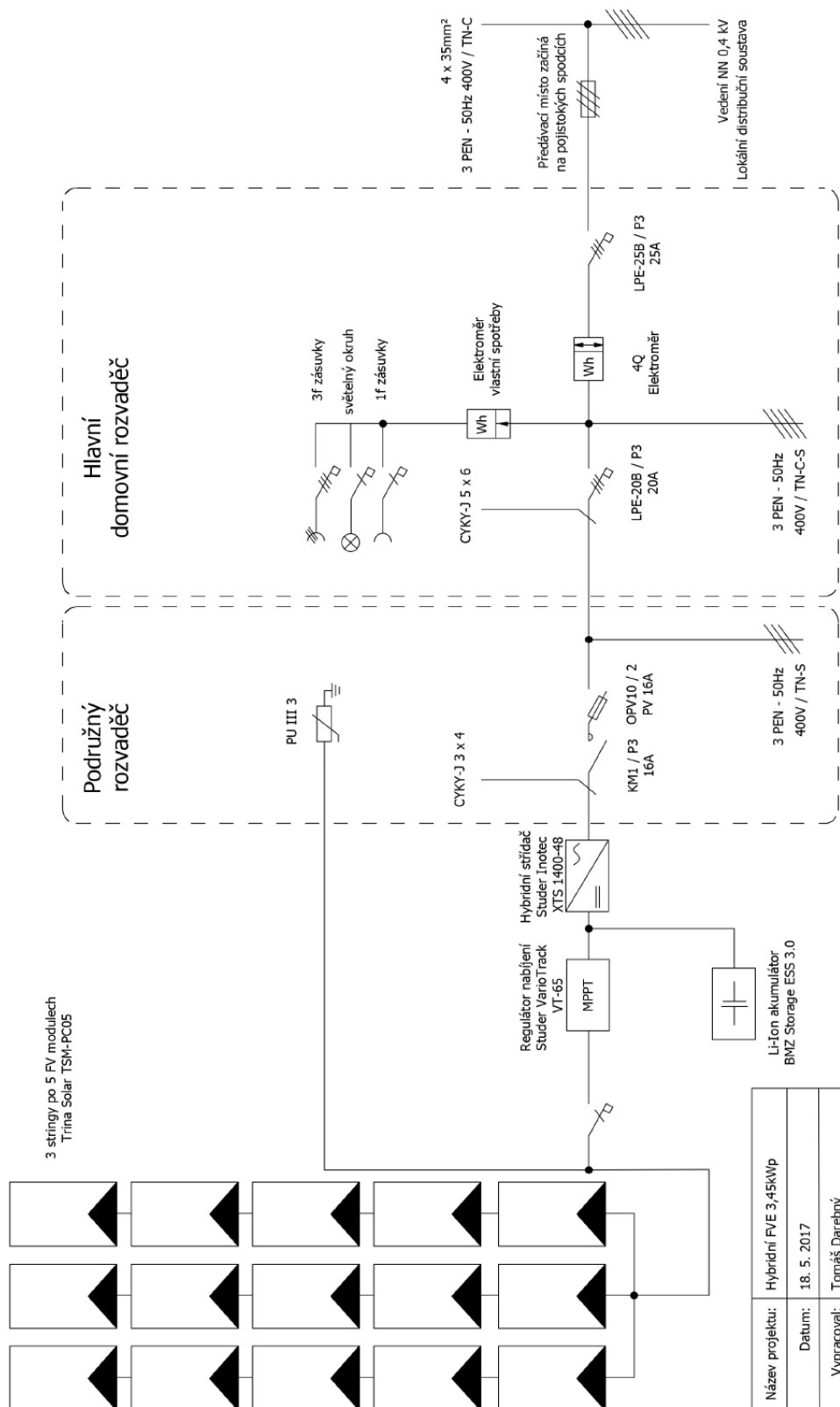
## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Jednotka	Popis
UV	-	ultrafialové
IČ	-	infračervené
FV	-	fotovoltaický
V-A	-	volta-ampérová
PVB	-	polyvinylbutyralu
PE	-	polyester
PMMA	-	polymethylmetakrylát
PET	-	polyethylenetereftalátem
MPP	-	bod maximálního výkonu
FVE	-	fotovoltaický systém
HFVE	-	hybridní fotovoltaický systém
NZÚ	-	Nová zelená úsporám
DPH	-	daň z přidané hodnoty
Homer	-	<i>HOMER Pro</i>
TUV	-	teplá užitková voda

## Seznam příloh

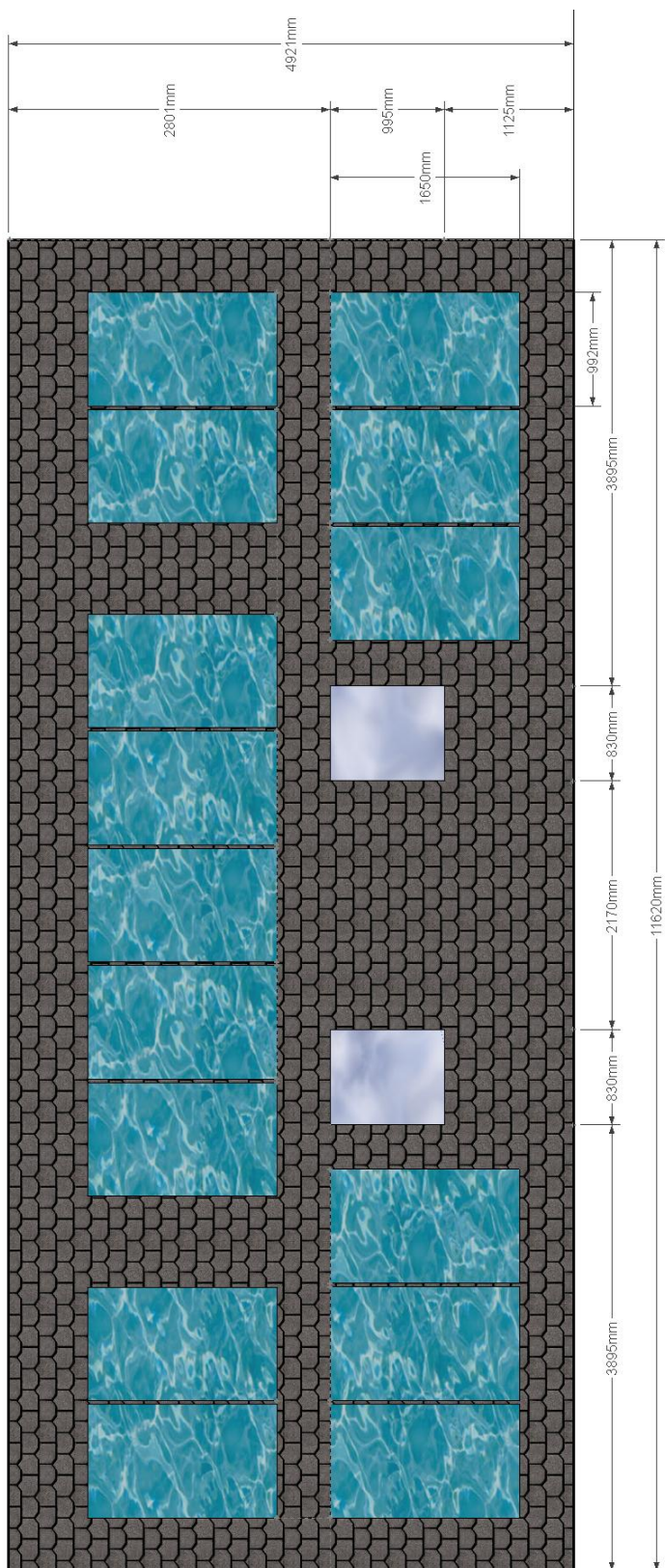
Příloha A	Jednólové schéma zapojení systému HFVE	66
Příloha B	Rozmístění FV modulů na střeše	67
Příloha C	Katalogový list FV modulu <i>TrinaSolar</i>	68
Příloha D	Katalogový list střídače <i>Fronius Galvo</i>	71
Příloha E	Katalogový list střídače <i>Studer Inotec</i>	74
Příloha F	Katalogový list regulátoru nabíjení <i>Studer Innotec</i>	76
Příloha G	Katalogový list akumulátoru <i>BMZ</i>	78

# Příloha A



Název projektu:	Hybridní FVE 3,45kWp
Datum:	18. 5. 2017
Vypracoval:	Tomáš Darebný

# Příloha B



## **Příloha C**





## **Příloha D**





## **Příloha D**



## **Příloha F**



## **Příloha G**