

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra technických zařízení budov



Návrh solárního systému pro bytový dům
Design of solar system for an apartment building

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

Autor: Ekaterina Bolotova

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Praha 2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bolotova</u>	Jméno: <u>Ekaterina</u>	Osobní číslo: <u>486869</u>
Zadávací katedra: <u>K125 - Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Návrh solárního systému pro bytový dům</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Design of solar system for an apartment building</u>	
Pokyny pro vypracování: Navrhněte fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody a pro využití pro výrobu elektrické energie. Vypracujte projekt FVE a přípravy teplé vody v zadaném bytovém domě. Textová část - technická zpráva, návrh dimenzí rozvodů, základní bilanční výpočet. Výkresová část- půdorysy, svislý řez, funkční schéma zapojení.	
Studie na téma Solární fotovoltaické systémy v bytové výstavbě.	
Seznam doporučené literatury: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [online]. n.z.: The European Commission's science and knowledge service. Dostupné z: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY Pei Huang, Yongjun Sun, Marco Lovati, Xingxing Zhang, Solar-photovoltaic-power-sharing-based design optimization of distributed energy storage systems for performance improvements, Energy, Volume 222, 2021, 119931, ISSN 0360-5442, http://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119931 . (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221001808)	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>22.2.2023</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>22. 5. 2023</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
..... Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

..... Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)
--------------------------------	------------------------------

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principu při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne 8. 5. 2023

.....

Abstrakt

Cílem této práce je návrh fotovoltaické elektrárny na střeše bytového domu. V teoretické části je rozebrán princip fungování a typy fotovoltaických systémů, základní komponenty a jejich typy, technické požadavky na instalaci fotovoltaické elektrárny v bytové výstavbě a hlavní výhody těchto systémů.

Výsledkem praktické části je návrh hybridního fotovoltaického systému na střeše zadaného objektu napojeného na zásobník teplé vody a bateriové uložení za účelem využití přebytků vyrobené navrženou fotovoltaickou elektrárnou elektrické energie a následné ekonomické zhodnocení projektu. Praktická část dále obsahuje projekt přípravy teplé vody.

Klíčová slova

Fotovoltaika, fotovoltaický systém, fotovoltaická elektrárna, příprava teplé vody

Abstrakt

The target of this work is to design a photovoltaic power plant on the roof of an apartment building. The theoretical part discusses the principle of operation and types of photovoltaic systems, basic components and their types, technical requirements for installing a photovoltaic power plant in residential construction, and the main advantages of these systems.

The practical part results the design of a hybrid photovoltaic system on the roof of the specified apartment building connected to a hot water tank and a battery storage system in order to utilize excess electric energy produced by the designed photovoltaic power plant and subsequent economic evaluation of the project. The practical part also includes a project for preparing hot water.

Key words

Photovoltaics, photovoltaic system, photovoltaic power plant, hot water preparation

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za cenné odborné rady a věcné připomínky při vypracování mé bakalářské práce.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk.....	8
Seznam obrázku a grafů.....	9
Seznam tabulek.....	10
1. Teoretická část.....	11
1.1. Úvod.....	11
1.2. Princip fungování FVE	11
1.3. Typy FVS v bytové výstavbě	12
1.3.1. On-grid systém.....	12
1.3.2. Off-grid systém.....	13
1.3.3. Hybrid systém.....	13
1.4. Komponenty fotovoltaického systému	14
1.4.1. FV moduly	14
1.4.2. Střídač	16
1.4.3. Bateriové uložení	18
1.4.4. Přepět'ová ochrana.....	19
1.5. Technické požadavky na instalaci FVE v bytové výstavbě.....	19
1.6. Výhody FVE.....	21
1.7. Závěr.....	21
2. Praktická část.....	22
2.1. Popis lokality	22
2.2. Výpočet spotřeby objektu EE na provoz spotřebičů a osvětlení.....	23
2.3. Návrh FVE	25
2.3.1. Konstrukční systémy	26
2.3.2. Vyhodnocení konstrukčních systémů	28
2.3.3. Konfigurace FVE.....	28
2.3.3.1. FV Moduly	28
2.3.3.2. Stringování.....	28
2.3.3.3. Střídač	29
2.3.3.4. Vodiče a přepět'ová ochrana	30
2.3.3.5. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči.....	31
2.4. Návrh ZTV.....	32
2.4.1. Výpočet přípravy TV – zásobníkový ohřev	32
2.5. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči a ZTV.....	36
2.6. Návrh baterie.....	38
2.7. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči, ZTV a baterií	40
2.8. Analýza ziskovosti.....	42
2.9. Závěr.....	45
Použitá literatura.....	46
Seznam příloh a výkresů projektové dokumentace.....	48

Seznam symbolů a zkratek

ČR	Česká republika
FVE	fotovoltaická elektrárna
FVS	fotovoltaický systém
FV	fotovoltaický
EE	elektrická energie
el.	elektrický
ZTV	zásobník teplé vody
TV	teplá voda
VT	výměník tepla

Seznam obrázků a grafů

- Obr. 1 – Globální horizontální záření v ČR
- Obr. 2 – On-grid systém
- Obr. 3 – Off-grid systém
- Obr. 4 – Hybrid systém
- Obr. 5 – Monokrystalický fotovoltaický panel
- Obr. 6 – Polykrystalický fotovoltaický panel
- Obr. 7 – Amorfni fotovoltaický panel
- Obr. 8 – FVE solární střídač
- Obr. 9 – FVE se symetrickým střídačem
- Obr. 10 – FVE s asymetrickým střídačem
- Obr. 11 – Bateriové uložisti FVE
- Obr. 12 – Přepěťová ochrana na FVE
- Obr. 13 – Propojení FVE, technické místnosti a rozvaděče
- Obr. 14 – Pohled na objekt
- Obr. 15 – Střecha objektu
- Obr. 16 – Umístění modulů, South facing
- Obr. 17 – Umístění modulů, South facing s optimizéry
- Obr. 18 – Umístění modulů, East/West
- Obr. 19 – Stringování, východní oblast
- Obr. 20 – Stringování, západní oblast
- Obr. 21 – Schematické zapojení stringů

- Graf. 1 - Roční spotřeba EE
- Graf. 2 – Spotřeba EE - zimní pracovní den
- Graf. 3 – Spotřeba EE - zimní víkend
- Graf. 4 – Spotřeba EE - jarní/podzimní pracovní den
- Graf. 5 – Spotřeba EE - jarní/podzimní víkend
- Graf. 6 – Spotřeba EE - letní pracovní den
- Graf. 7 – Spotřeba EE - letní víkend
- Graf. 8 – Krytí FVE spotřeby EE
- Graf. 9 – Využití FVE
- Graf. 10 – Odběrový profil teplé vody podle normy ČSN
- Graf. 11 – Statistický odběrový profil teplé vody
- Graf. 12 – Využití FVE se ZTV
- Graf. 13 – Využití hybridní FVE
- Graf. 14 – Krytí FVE spotřeby el. Energie

Seznam tabulek

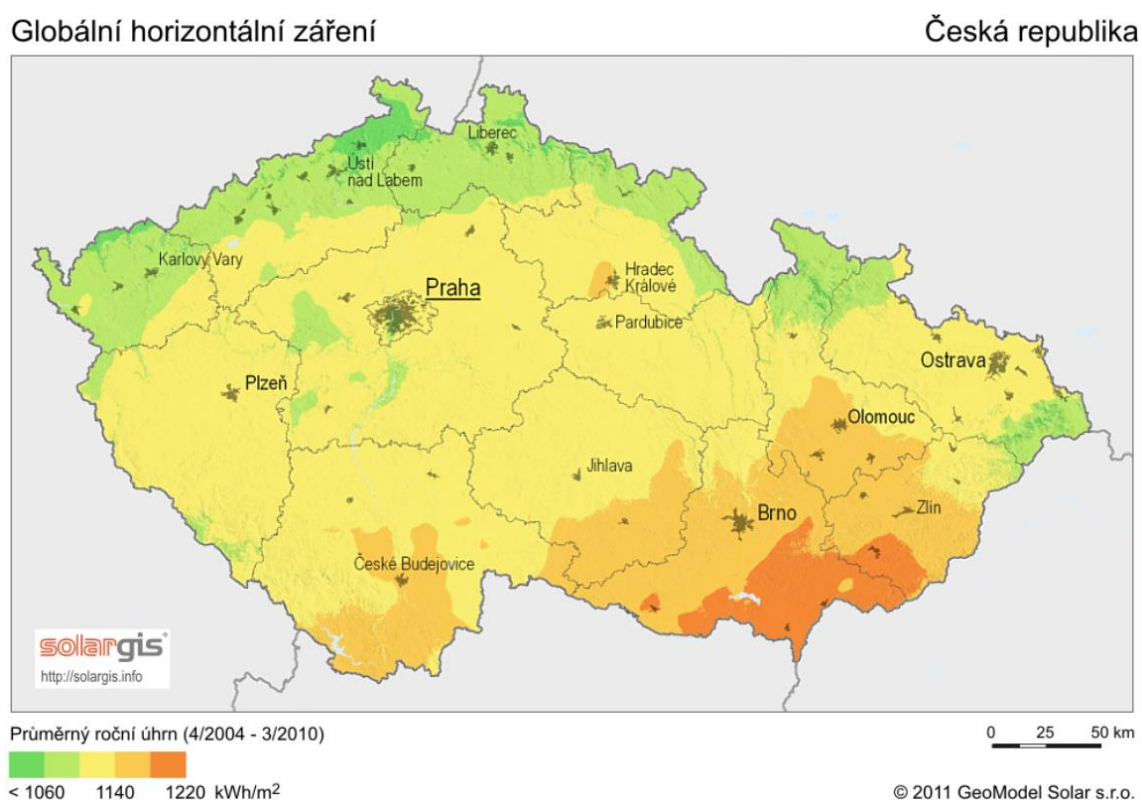
- Tab. 1 – Porovnání ZTV
- Tab. 2 – Využití FVE 12.7.
- Tab. 3 – Využití FVE 22.7.
- Tab. 4 – Využití FVE 23.7.
- Tab. 5 – Porovnání baterií

1. Teoretická část

1.1. Úvod

Využití energie slunečního záření je jedním z nejšetrnějších a nejčistších způsobů výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie s ohledem na ochranu životního prostředí. I když je sluneční výkon 40 bilionkrát vyšší než teoretická spotřeba lidstva, zatím dokážeme využít pouze malou jeho část.

V České republice dopadající sluneční záření dosahuje průměrné intenzity zhruba 300 W/m^2 a úhrnu energie mezi $800\text{-}1250 \text{ kWh/m}^2$ ročně. [1]



Obr. 1 – Globální horizontální záření v ČR [2]

K přímé přeměně slunečního záření na elektřinu (stejnoseměrný proud) slouží solární fotovoltaické systémy. 7

1.2. Princip fungování FVE

Princip fungování FVE je založen na fotovoltaickém jevu. [3]

Fotovoltaický jev je způsob, jakým se sluneční záření přeměňuje na elektrickou energii pomocí fotovoltaických článků. Tyto články, také FV moduly nebo FV panely, se

skládají z několika polovodičových vrstev různého materiálu s odlišnou vodivostí. Sluneční fotony dopadající na FV panely, vyvolávají uvolnění elektronů z atomových jader a tím vzniká proud elektronů.

Tento proud lze buď rovnou použít k napájení spotřebičů, nebo se dá přeměnit na střídavý proud pomocí střídače. [4]

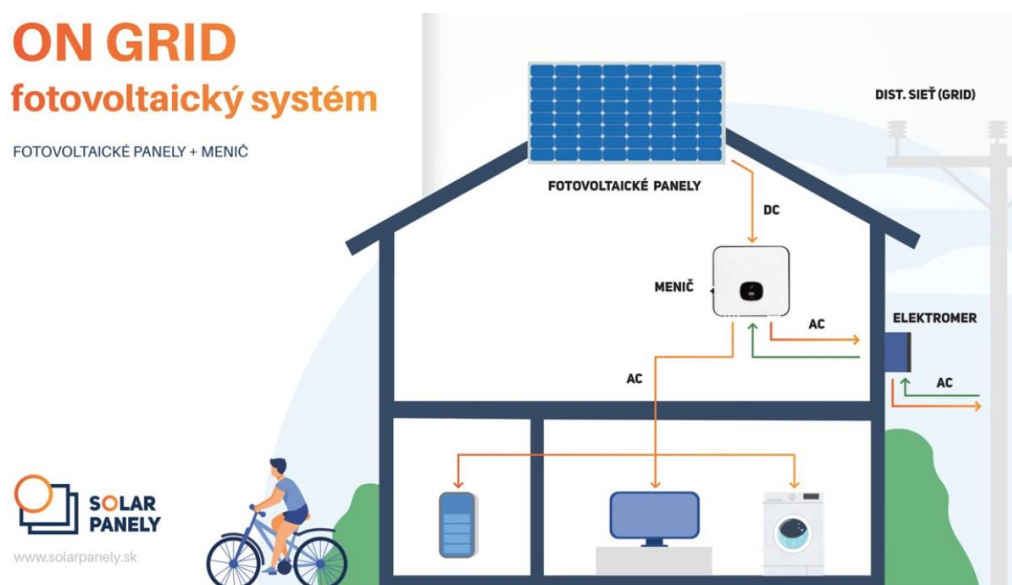
V současnosti představuje podíl fotovoltaiky na celkové produkci elektrické energie v celém světě pouhé 0,01 %, ale s rostoucím potenciálem technologií využívání slunečního záření se vyspělé státy s tímto obnovitelným zdrojem energie počítají i do budoucna. [1]

1.3. Typy FVS v bytové výstavbě

1.3.1. On-grid systém

On-grid FVS znamená, že solární panely vyrábí elektrickou energii, která se dodává do veřejné rozvodné sítě (viz. Obr. 2).

Pokud je sluneční svit dostatečný, spotřebiče v domě mohou využívat energii z těchto panelů a přebytek se dodává do sítě nebo se akumuluje do baterií. Pokud však není dostatek solární energie, je nutné odebírat elektřinu z veřejné sítě. Tento systém je vybaven tzv. čtyř kvadrantovým elektroměrem, který instaluje dodavatel energie. [5]

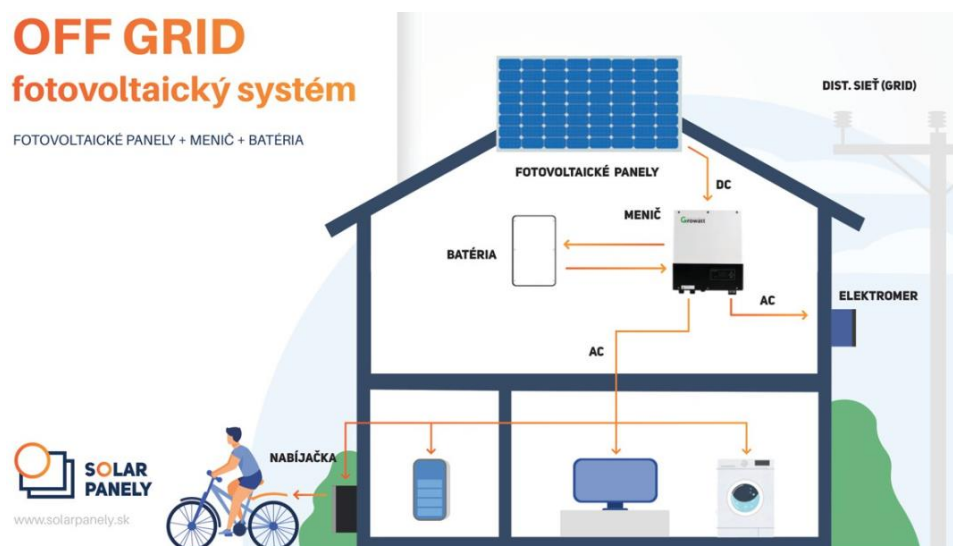


Obr. 2 – On-grid systém [6]

1.3.2. Off-grid systém

Ostrovní fotovoltaický systém (tzv. off-grid systém) je typ solárního fotovoltaického systému, který se vyznačuje dvěma hlavními vlastnostmi. Za prvé, není připojen k veřejné síti a za druhé, obsahuje akumulátory na ukládání energie (viz. Obr. 3).

Tyto systémy se obvykle instalují na místech, kde není přístup k rozvodné síti, nebo kde by bylo nákladné zřízení elektrické přípojky. [7]



Obr. 3 – Off-grid systém [8]

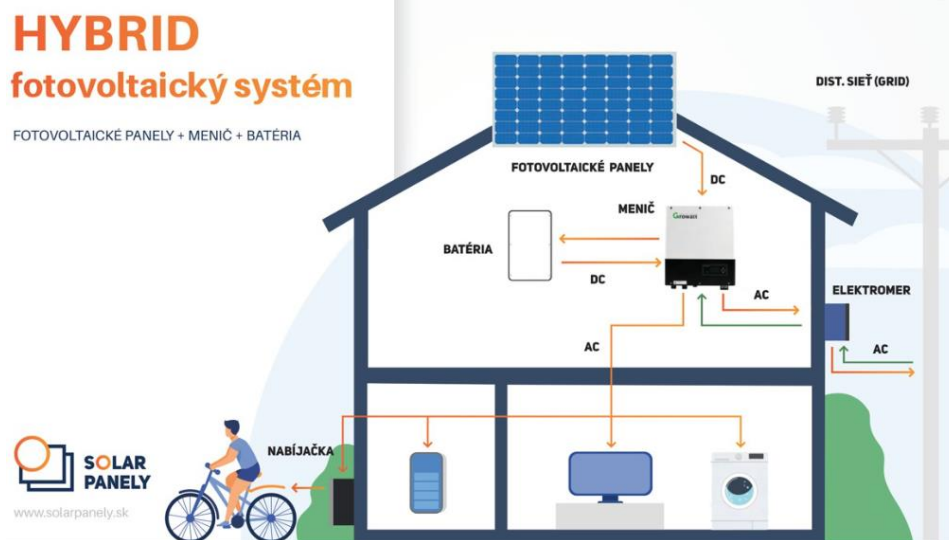
1.3.3. Hybrid systém

Hybridní elektrárna spojuje výhody on-grid a off-grid systémů. Jde o solární systém s akumulátory, které ukládají přebytečnou energii ze solárních panelů pro pozdější použití (viz. Obr. 4).

Během dne, kdy slunce svítí nejvíce a spotřeba energie je nízká, se energie ukládá do akumulátorů. Večer a v noci, kdy je spotřeba energie vysoká, se energie z akumulátorů spotřebuje.

Pokud však není dostatek energie ze solárních panelů, hybridní elektrárna se připojuje k distribuční síti a odebírá energii potřebnou k pokrytí nedostatku.

Hybridní elektrárna je tedy vhodná pro oblasti, kde jsou období s vysokou a nízkou produkcí solární energie. [9]



Obr. 4 – Hybrid systém [10]

1.4. Komponenty fotovoltaiického systému

Základními komponentami solárního fotovoltaiického systému jsou fotovoltaiické panely (FV panely), střídač (inverter), baterie (v případě, že se systém používá jako ostrovní), kabely pro přenos energie a montážní systém pro uchycení FV panelů na střechu nebo jiné povrchy. Kromě toho mohou být do systému začleněny i další prvky, jako jsou například ochranné prvky proti přepětí nebo měřicí a regulační prvky.

1.4.1. FV Moduly

Solární panely jsou tvořeny solárními články, které jsou spojeny dohromady a připojeny k nosné konstrukci, čímž vzniká fotovoltaiický modul.

Fotovoltaiické články jsou tenké destičky, které jsou vyrobeny z polovodičového materiálu, který má vlastnosti vodiče a izolantu. Přidané chemické prvky určují, zda bude převládat vodičová nebo nevodičová vlastnost materiálu.

Křemík je nejdůležitějším polovodičovým materiálem využívaným ve většině fotovoltaiických článků, ale existují také další sloučeniny, jako například CdTe (tellurid kadmenný) nebo CIGS (sloučenina mědi, india, galia, síry a selenu), které se používají v některých typech fotovoltaiických článků. [11]

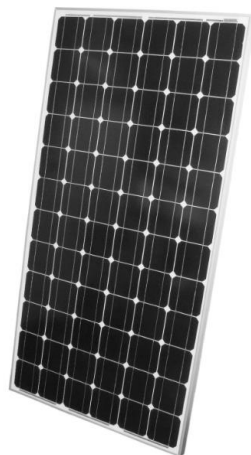
Podle technologie výroby existuje několik typů fotovoltaiických panelů.

Monokrystalické solární fotovoltaiické panely

Jsou charakterizovány svojí úplně černou barvou a jsou vyráběny řezáním tenkých plátků (waferů) z jednoho jediného krystalu křemíku (viz. Obr. 5).

Tyto články mají nejvyšší účinnost mezi všemi typy fotovoltaických článků – kolem 20 %, avšak jejich výroba je nejnáročnější a tím i nejdražší.

Díky technologickému pokroku se však v poslední době pořizovací náklady na tyto články pomalu snižují. [12]



Obr. 5 – Monokrystalický fotovoltaický panel [13]

Polykrystalické solární fotovoltaické panely

Polykrystalické, také multikrystalické fotovoltaické články se vyrábějí řezáním tenkých plátek (waferů) z bloku křemíku, ve kterém jsou srostlé větší množství menších křemíkových krystalů. Tyto články mají charakteristickou modrou barvu a při ideálním osvětlení nabízejí efektivitu zhruba 15 až 17 procent (viz. Obr. 6).

Jejich výhodou oproti monokrystalickým článkům je, že díky komplikovanější struktuře lépe zachytí světlo přicházející z ostřejších úhlů, což umožňuje lepší rozložení výkonu během dne. Výroba těchto článků není tak náročná jako u monokrystalických článků a díky tomu jsou polykrystalické panely často cenově dostupnější. [12]



Obr. 6 – Polykrystalický fotovoltaický panel [14]

Amorfní fotovoltaické panely

Takzvané "tenké vrstvy" představují třetí skupinu fotovoltaických panelů. Tyto panely se skládají z tenké vrstvy polovodivého materiálu (např. amorfní křemík, slitina kadmium-telur nebo slitina měď-indium-galium-selenu), která se nanáší na pevný povrch, jako je sklo, plast nebo kov (viz. Obr. 7).

Amorfní fotovoltaické panely mají nejnižší účinnost (kolem 11 %), ale mají výhodu minimální tloušťky a hmotnosti. Tyto panely lze vrstvit na sebe a zachytit tak různé vlnové délky světla. Díky své nízké hmotnosti jsou tyto panely velmi snadno instalovatelné. [12]



Obr. 7 – Amorfní fotovoltaický panel [15]

1.4.2. Střídač

Střídač, také měnič nebo invertor, je základní elektronické zařízení, které se používá v solárních fotovoltaických systémech k přeměně stejnosměrného proudu z fotovoltaických panelů na střídavý proud, který je vhodný pro distribuci a použití v elektrické síti nebo pro napájení spotřebičů (viz. Obr. 8). [16]



Obr. 8 – FVE solární střídač [17]

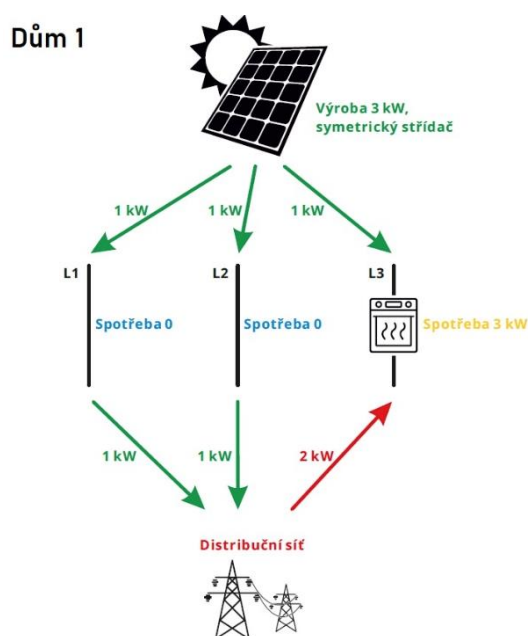
Je důležité zvolit střídač s dostatečným počtem MPPT, což jsou sledovače bodu maximálního výkonu, aby bylo možné efektivně spravovat různě orientované a skloněné solární panely s různou úrovní osvitů.

Střídače pro FVE se dělí na několik základních typů, jako jsou jednofázové nebo třífázové, symetrické nebo asymetrické, ostrovní, síťové nebo hybridní. [18]

Symetrický střídač

Symetrický střídač rovnoměrně rozděluje výkon vyrobený z fotovoltaických panelů mezi všechny fáze elektrické sítě bez ohledu na aktuální spotřebu. Tím se zajišťuje jednodušší a levnější instalace.

Například, pokud jsou vyráběny 3 kilowatty, střídač posílá 1 kW do každé fáze a přebytečný výkon se přetéká do sítě. Pokud je ale na jedné fázi vyšší spotřeba než výkon z fotovoltaiky, tak se výkon doplňuje ze sítě (viz. Obr. 9). [16]



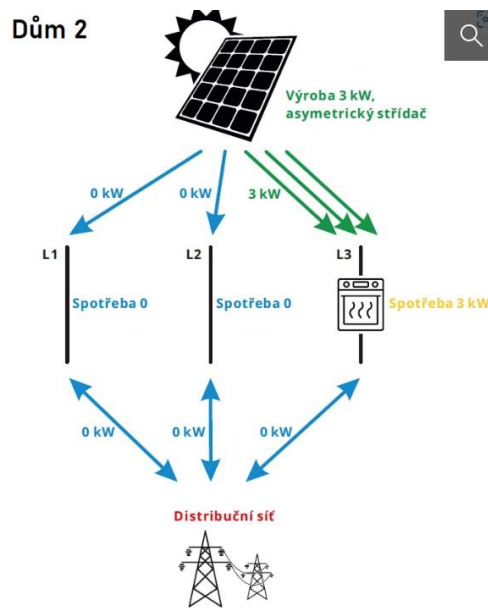
Obr. 9 – FVE se symetrickým střídačem [16]

Asymetrický střídač

Asymetrický střídač rozděluje výkon z fotovoltaických panelů do tří fází nerovnoměrně, a to podle aktuální potřeby. Je to složitější a dražší řešení než symetrický střídač.

V příkladu z obrázku 10 je vidět, že asymetrický střídač posílá všechny 3 kW výkonu na třetí fázi, kde je aktuálně největší spotřeba. Na zbylých fázích není žádná spotřeba, takže na ně neposílá žádný výkon. Díky tomu dokáže fotovoltaický systém v domě

pokrýt veškerou spotřebu elektriny, aniž by byla potřeba odebírat nebo dodávat energii ze sítě. [16]



Obr. 10 – FVE s asymetrickým střídačem [16]

1.4.3. Bateriové úložiště

Bateriová úložiště slouží k uchování vyrobené elektrické energie v bateriích a mohou být využity jako zdroj nouzového napájení nebo jako součást energetické sítě pro uchování a distribuci energie z FVE (viz. Obr. 11).

Skládají se z baterií a řídicího systému pro monitorování a řízení nabití a vybití baterií. Oblíbené jsou lithium-iontové baterie, které nabízejí vysokou hustotu energie a dlouhou životnost.

Bateriová úložiště jsou velmi efektivní při ukládání a uvolňování energie, umožňují využívat energii z obnovitelných zdrojů i v době nedostatku a snižují závislost na sítích s vysokým napětím a zlepšují efektivitu energetických systémů. [19]



Obr. 11 – Bateriové úložiště FVE [20]

1.4.4. Přepětová ochrana

Přepět'ové ochrany jsou komponenty, které slouží k ochraně elektrických zařízení před poškozením způsobeným přepětím, tedy vyšším napětím, než které je izolace schopna unést (viz. Obr. 12). Tyto ochrany jsou obvykle nazývány bleskojistky nebo svodiče přepětí a chrání zařízení před poškozením způsobeným atmosférickými výboji, přepětím v sítích nebo zkraty v elektroinstalaci. [21]

Tyto prvky umožňují jednoduše nastavovat rozsah vypínacích napětí, frekvencí a reakčního času. Měření parametrů sítě lze také nastavit pro třífázovou nebo jednofázovou soustavu, aby odpovídaly specifickým potřebám a podmínkám v konkrétním zařízení. [22]



Obr. 12 – Přepět'ová ochrana na FVE [22]

1.5. Technické požadavky na instalaci FVE v bytové výstavbě

Výběr vhodného umístění

Vybrat vhodné místo pro instalaci fotovoltaických panelů je klíčovým krokem pro úspěšné fungování solární elektrárny. Je nutné zohlednit několik faktorů, jako je sluneční expozice, dostupnost infrastruktury a dopad na životní prostředí.

Orientace FV modulů na jih umožňuje nejvyšší generaci energie. Alternativně mohou být panely orientovány na východ/západ, ale dojde ke snížení produkce energie o cca 20 %. Důležité je také zohlednit různé střešní stínící prvky a nadstavby. [23]

Zastínění FV modulů

Zastínění jednotlivých panelů může být velkým problémem pro celkovou produkci energie FVE. Výkonové optimizéry jsou jedním z řešení, jak minimalizovat dopad zastínění na výkon solární elektrárny. Tyto optimizéry pomáhají zajistit, že každý panel pracuje nezávisle na ostatních, což minimalizuje ztráty způsobené zastíněním. Nicméně instalace výkonových optimizérů zvyšuje celkové investiční náklady na FVE. Proto je důležité při výběru lokality pro umístění solární elektrárny zohlednit potenciální zdroje zastínění a zvážit, zda jsou výkonové optimizéry nutné nebo ne. [23]

Kontrola stavu a konstrukce střechy

Před instalací fotovoltaické elektrárny musí být zajištěno, že střecha objektu je v dobrém stavu, aby nedošlo k ovlivnění návratnosti investice do fotovoltaického systému. Proto je důležité nejdříve provést údržbu, opravu nebo rekonstrukci střechy.

Při umístění FVE na střechu je třeba zohlednit také další faktory, jestli jsou dostatečně dimenzované krovy, krytinu umožňující kotvení konstrukce a umístění fotovoltaické konstrukce. [23]

Dostatek místa v rozvaděči

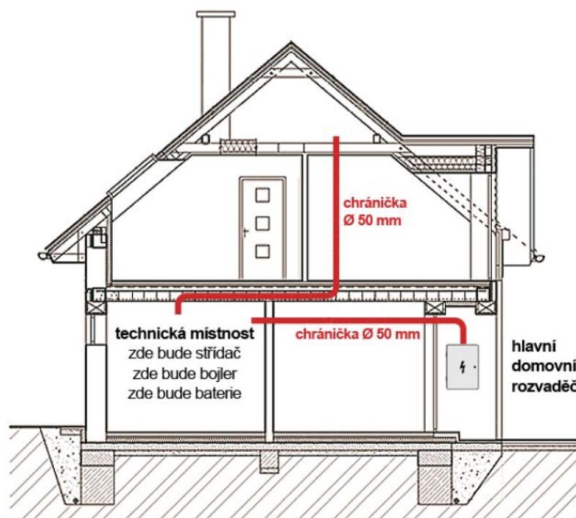
Do hlavního domovního rozvaděče lze integrovat několik technologií FVE. Mezi ně patří například moduly regulátoru vlastní spotřeby, různá měřicí čidla nebo spínací SSR relé pro optimalizaci spotřeby. Pokud rozvaděč není dostatečně velký, bude třeba ho nejdříve předělat před instalací FVE.

Nejlepší řešení pro FVE je mít hlavní domovní rozvaděč umístěný v technické místnosti spolu se střídačem, zásobníkem teplé vody a případně i baterií.

Pokud se jedná o hybridní systémy, je třeba instalovat měřicí čidla, která umožní střídači rozpoznat, kdy má baterie nabíjet nebo vybíjet. Pokud objekt je již postavený, je nezbytné nainstalovat nový samostatný rozvaděč pro FVE. [23]

Příprava trasy propojující FVE, technickou místnost a rozvaděč

Při plánování propojení fotovoltaické elektrárny, technické místnosti a rozvaděče je doporučeno používat chráničky namísto kabelů, aby bylo zajištěno snadné přizpůsobení se rychle se měnícím technologiím, jako jsou nové typy střídačů, zlepšená účinnost panelů a zvýšená kapacita baterií, které mohou v budoucnu zcela znehodnotit dříve položenou kabeláž. (viz. Obr. 13) . [23]



Obr. 13 – Propojení FVE, technické místnosti a rozvaděče [23]

1.6. Výhody FVE

Zlepšení životního prostředí

Fotovoltaické elektrárny nabízejí významnou výhodu v podobě minimalizování uhlíkové stopy a ochrany životního prostředí. Proces výroby elektřiny pomocí solárních panelů nevytváří žádné škodlivé emise ani odpadní produkty, což má pozitivní dopad na životní prostředí. [24]

Energetická soběstačnost

Vyráběná energie umožňuje snížit závislost na dodávkách elektřiny ze sítě, neboť využívají se vlastní zdroje. [24]

Úspory za energie

I když počáteční investice do instalace FVE může být vysoká, rozhodně se vyplatí v dlouhodobém horizontu. Díky této investici se totiž sníží roční náklady na elektrickou energii. [24]

Rychlá návratnost investice

V dnešní době je možné využít státní dotační program Nová zelená úsporám, který poskytuje finanční podporu při pořízení FVE (mnohem větší ve srovnání s finanční podporou na instalaci solárních kolektorů). Díky této podpoře se stává investice do FVE mnohem výhodnější a návratnost se zlepšuje (v závislosti na typu zdroje). [24]

Nízké náklady na skladování energie

FVE mohou být integrovány s bateriemi pro skladování EE pro použití v době, kdy není sluneční svit. Na rozdíl od toho fototermické kolektory nemohou EE skladovat a produkují teplo pouze v době, kdy je sluneční záření přítomné.

1.7. Závěr

Fotovoltaické elektrárny jsou velmi nadějným zdrojem obnovitelné energie. S klesajícími náklady na solární technologie se stává výroba elektřiny z FVE mnohem konkurenceschopnější než klasické dodávky elektřiny ze sítě. [24]

2. Praktická část

2.1. Popis lokality

Fotovoltaická elektrárna bude umístěna na střeše bytového domu, který se nachází v Praze a leží v nadmořské výšce 204,610 metrů nad mořem.

Jedná se o čtyřpodlažní podsklepený objekt (1 PP a 4 NP) nepravidelného půdorysu s plochou střechou.

Zastavěná plocha BD je 375,61 m² s výškou 12,43 m od úrovně terénu.

Nosné svislé konstrukce jsou zděné.

V 1.PP jsou umístěny garážová stání, sklepy, technická místnost, rozvodna UPS a úklidová místnost. V 1.NP až 3.NP jsou vždy umístěny 2 byty. V 4.NP je pouze 1 byt.

Plocha střechy činí 210,61 m².

FVE bude navrhována, tak aby její vyráběná energie byla z větší části spotřebovávána přímo v daném objektu.



Obr. 14 – Pohled na objekt



Obr. 15 – Střecha objektu

2.2. Výpočet spotřeby objektu EE na provoz spotřebičů a osvětlení

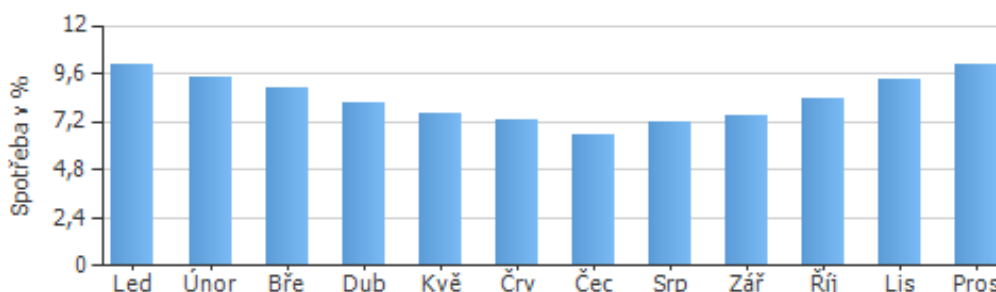
Průměrná roční spotřeba elektrické energie (EE) na provoz spotřebičů a osvětlení v bytech je vypočítána podle stanovené hodnoty spotřeby elektrické energie průměrné bytové domácnosti v ČR, která činí 1,5 MWh ročně. Podle českého statistického úřadu průměrná bytová domácnost zahrnuje 2,71 osoby. Ve řešeném bytovém domě je 25 osob, které mají běžnou spotřebu elektřiny na svícení a chod spotřebičů v průměru 13,838 MWh ročně.

Kromě uvedené spotřeby v bytových jednotkách, bytový dům vyžaduje určité množství energie na osvětlení společných prostor, provoz výtahu a garážových vrat. Uvažováno, že osvětlení společných prostor je řešeno stropními LED svítidly o příkonu 15 W, které svítí nárazově v přítomnosti osob v průměru 4 hodiny denně. Celkem ve společných prostorech objektu je cca 15 svítidel, které spotřebují v průměru 0,022 MWh ročně.

Dále v objektu je 1 elektrický výtah, který v průměru spotřebuje 0,8 MWh ročně a garážová vrata spotřebují cca 0,035 MWh za rok.

Celková spotřeba elektrické energie řešeného bytového domu na provoz spotřebičů/zařízení a osvětlení je 14,695 MWh/rok.

Roční spotřeba EE řešeného bytového komplexu v procentuálním poměru je znázorněna na Graf. 1.

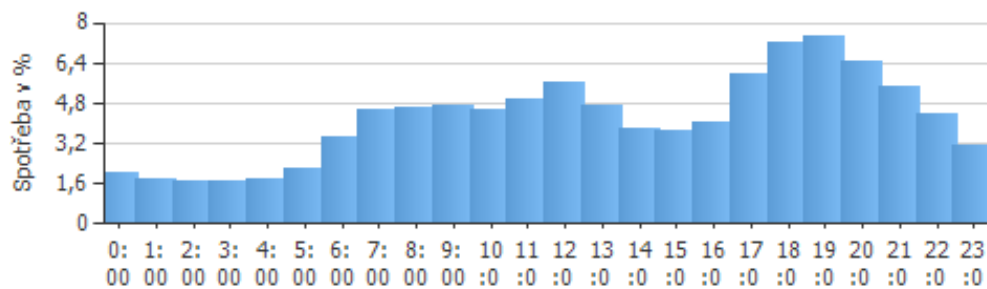


Graf. 1 - Roční spotřeba EE

Důležitým parametrem pro návrh fotovoltaického systému je špičkové zatížení (spotřeba) elektrické energie, což nám pomůže určit optimální kapacitu bateriového systému pro akumulaci přebytků vyrobené FV moduly elektrické energie.

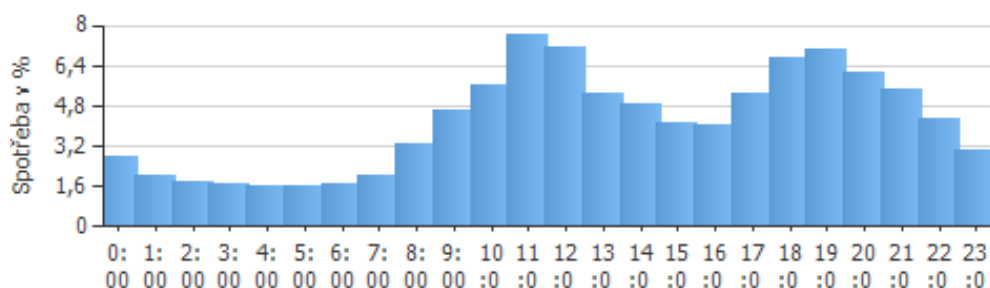
Sestavíme profily spotřeby elektrické energie bytového komplexu v procentuálním poměru v jednotlivé hodiny podle charakteristického období s krokem 1 hodina (obr. 2 až 7). Hodnoty spotřeby elektrické energie jsou sestaveny podle statistických údajů pro bytový komplex v České republice. Z těchto profilů stanovíme špičkovou spotřebu pro jednotlivé období.

Pro zimní pracovní den špičková spotřeba EE nastává v 19 h, která činí 3,708 kWh (viz. Graf. 2).



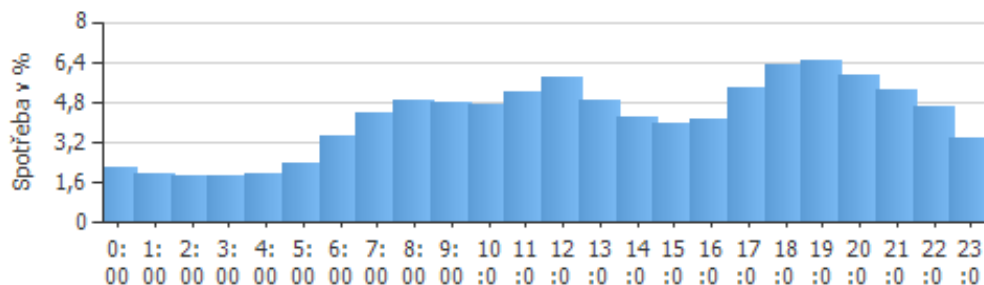
Graf. 2 – Spotřeba EE - zimní pracovní den

Zimní víkend: špičková spotřeba v 11 h a rovná se 3,85 kWh (viz. Graf. 3).



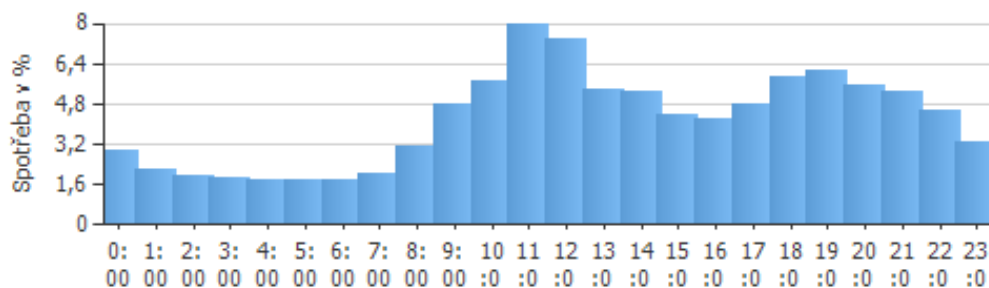
Graf. 3 – Spotřeba EE - zimní víkend

Jarní/podzimní pracovní den: špičková spotřeba v 19 h, činí 2,818 kWh (viz. Graf. 4).



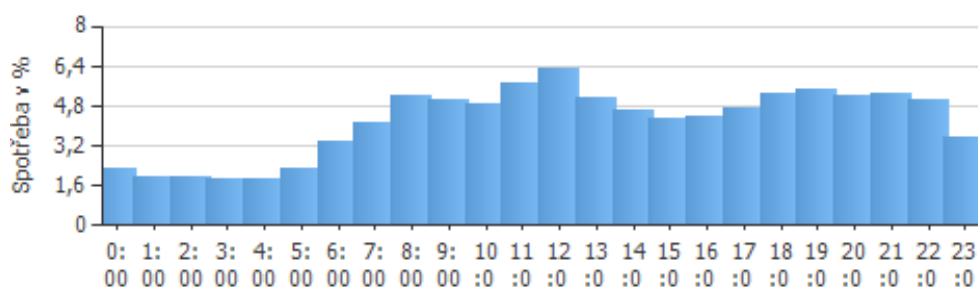
Graf. 4 – Spotřeba EE - jarní/podzimní pracovní den

Jarní/podzimní víkend: špičková spotřeba v 11 h – 3,447 kWh (viz. Graf. 5).



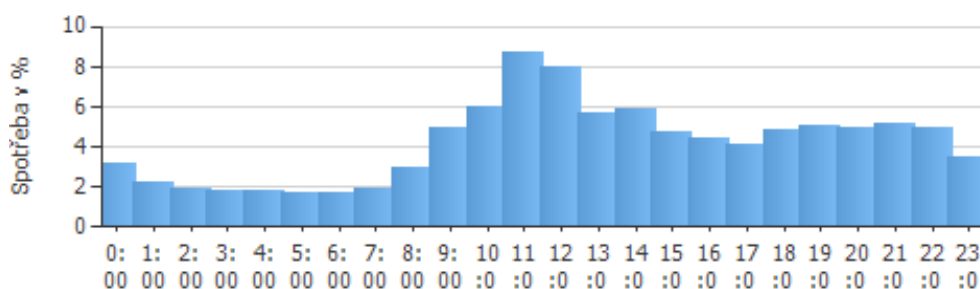
Graf. 5 – Spotřeba EE - jarní/podzimní víkend

Letní pracovní den: špičková spotřeba ve 12 h – 2,172 kWh (viz. Graf. 6).



Graf. 6 – Spotřeba EE - letní pracovní den

Letní víkend: špičková spotřeba v 11 h se rovná 2,991 kWh (viz. Graf. 7).



Graf. 7 – Spotřeba EE - letní víkend

Vyhodnocení: špičková spotřeba elektrické energie v průběhu roku je zaznamenána 6.12. v 11 h (zimní víkend), která činí **3,85 kWh**.

Hodnoty jsou spočítány pomocí programu PVsol Premium.

2.3. Návrh FVE

Za účelem návrhu optimálního systému bude provedena simulace několika možných variant umístění a konfigurace FVE na střechu řešeného objektu.

Prvním krokem je simulace 3 variant, které se liší konstrukčním řešením. Jejich vyhodnocení určí konstrukční systém a umístění FV modulů, který ve výsledku dává největší roční energetický výnos.

Simulace se provádí v programu PVsol Premium.

Pro každou variantu jsou zvoleny moduly JAM72S20-460/MR od výrobce JA Solar Holdings Co., Ltd.

Sklon umístění modulů vůči střešní rovině je 10°.

Návrh systémů je proveden z ohledem na existující nadstavby a technologická zařízení na střeše řešeného objektu.

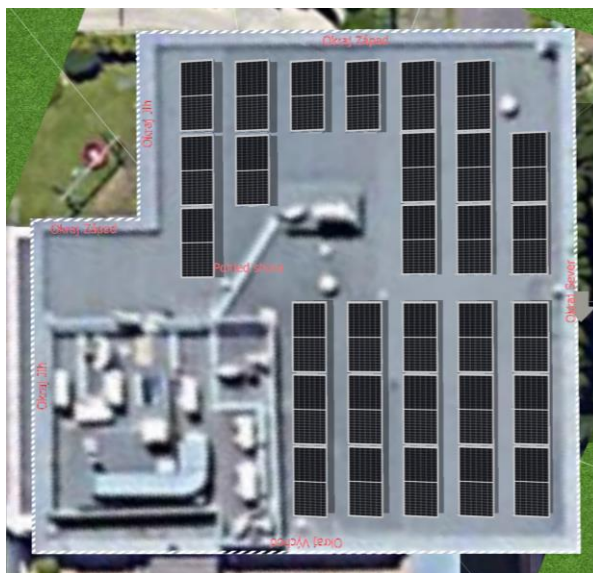
Klimatická data: Praha, CZE (1996 - 2015)

Zdroj hodnot: Meteonorm 8.1

2.3.1. Konstrukční systémy

2.3.1.1. South facing system (S-DOME)

Konstrukční systém S-DOME orientuje moduly jižním směrem. Návrh systému S-DOME je proveden s ohledem na stínění moduly mezi sebou, jejichž geometrické parametry, sklon a řešená lokalita definují minimální odstup řad mezi sebou. Umístění modulů je znázorněno na Obr. 16. Celkem umístěno 30 modulů.

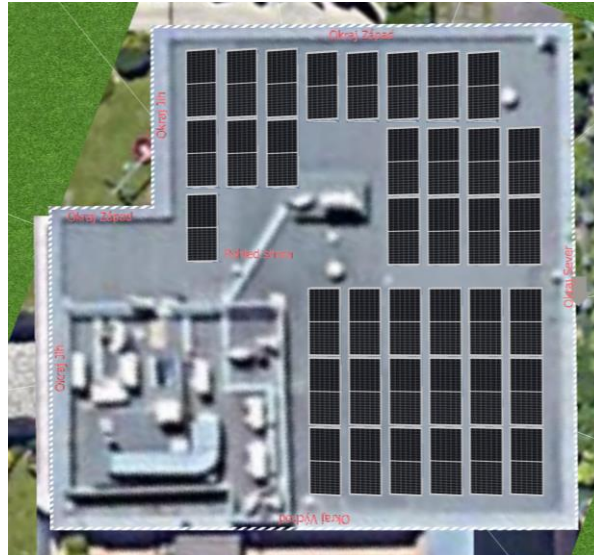


Obr. 16 – Umístění modulů, South facing

Celkový instalovaný výkon je 13,8 kWp. Roční energetický výnos s ohledem na snížení výnosu zastíněním (0,9 %), kabelovými trasy (0,32 %) a převodem DC/AC (2,63 %) je 13 817,75 kWh/rok.

2.3.1.2. South facing system (S-DOME) s výkonovými optimalizátory

Umístění výkonových optimalizátorů (tzv. optimalizéry) na každý modul umožňuje rozmístit moduly co nejbliž k sebe bez ohledu na stínění moduly předchozí řady.



Obr. 17 – Umístění modulů, South facing s optimizéry

Největší možný počet modulů tohoto systému je 38 o celkovém instalovaném výkonu 17,48 kWp (viz. Obr. 17). Za předpokladu snížení výnosu zastíněním (5,2 %), kabelovými trasy (0,31 %) a převodem DC/AC (2,73 %) celkový energetický výnos je 16 917,2 kWh/rok.

2.3.1.3. East/West orientation systém (D-DOME)

Tento konstrukční systém orientuje moduly směrem východ-západ. Nevyžaduje žádné odstupy řad mezi sebou z hlediska stínění, jelikož jednotlivé řady jsou tvořeny dvěma na sebe sklopenými moduly po delším okraji a tím je zajištěn minimální potřebný odstup modulů orientových na východ nebo západ. Celkem se dá umístit 40 modulů (viz. Obr.18).



Obr. 18 – Umístění modulů, East/West

Celkový instalovaný výkon je 18,4 kWp. Roční energetický výnos s ohledem na snížení výnosu zastíněním (0,7 %), kabelovými trasy (0,33 %) a převodem DC/AC (2,76 %) je 17 069,42 kWh/rok.

2.3.2. Vyhodnocení konstrukčních systémů

Simulace ukazuje že maximální možný energetický výnos dává systém East/West orientation 17 069,42 kWh/rok. Tento systém navíc ekonomicky a staticky vhodnější než ostatní zmíněné systémy – levnější montážní konstrukce na kWp a menší potřeba přetížení balastovou konstrukcí vzhledem k samo zavětrovacím schopnostem montážní konstrukce.

Další návrh FVE bude uvažován s konstrukčním systémem East/West orientation (D-DOME).

2.3.3. Konfigurace FVE

Konfigurací se rozumí zapojení modulů do stringů a následný výběr vhodného střídače, jehož úkolem je přeměna stejnosměrného napětí produkované FV moduly na střídavé napětí elektrické sítě a optimalizace výroby elektrické energie.

2.3.3.1. FV Moduly

Pro návrh FVE jsou navrženy moduly JAM72S20-460/MR od výrobce JA Solar Holdings Co., Ltd.

Parametry modulu JAM72S20-460/MR:

- $P = 460 \text{ Wp}$
- $U_{MPP} = 42,13 \text{ V}$
- $I_{MPP} = 10,92 \text{ A}$
- $U_{OC} = 50,01 \text{ V}$
- $I_{SC} = 11,45 \text{ A}$
- rozměry: 2112 x 1052 x 35 [mm]

2.3.3.2. Stringování

Z důvodu rozdílného slunečního záření stringování bude provedeno zvlášť pro moduly orientovány východním směrem a západním směrem (viz. obr. 11 a 12).

Globální záření na moduly je vypočítáno v softwaru PVSOL Premium. Ve východním směru intenzita globálního záření je 987,91 kWh/m², v západním směru je 1053,12 kWh/m².

Moduly jsou zapojeny mezi sebou do stringů, které jsou následně zapojeny do střídačů. Jsou navrženy 2 hybridní střídače Huawei SUN2000-8KTL-M1 s uvažováním faktoru dimenzování 115 %. Každý ze střídačů přeměňuje napětí ze 2 stringů: MPP1 – 10 modulů v sérii, MPP2 – 10 modulů v sérii (viz. Obr. 21).

Celkem navrženy 4 stringy po 10 modulech v sérii (viz. Obr. 19 a 20).

2.3.3.3. Střídač

Parametry střídače Huawei SUN2000-8KTL-M1:

- Maximální počet vstupů: 2
- $P_{(\cos\varphi = 1)} = 8800 \text{ W}$
- $U_{\text{INPUT}} = 380 \text{ až } 850 \text{ V}$
- $I_{\text{INPUT}} = 11 \text{ A}$
- $U_{\text{OUTPUT}} = 3\text{W} + (N) + \text{PE}, 400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$
- $I_{\text{OUTPUT}} = 13,5 \text{ A}$

10 modulů v sérii $\Rightarrow U_{\text{max}} = U_{\text{MPP}} \times 10 = 42,13 \times 10 = 421,3 \text{ V}$

Do jednoho střídače jsou zapojeny 2 stringy $\Rightarrow U_{\text{input}} = 421,3 \times 2 = 842,6 \text{ V}$

380 V < 842,6 V < 850 V **OK**

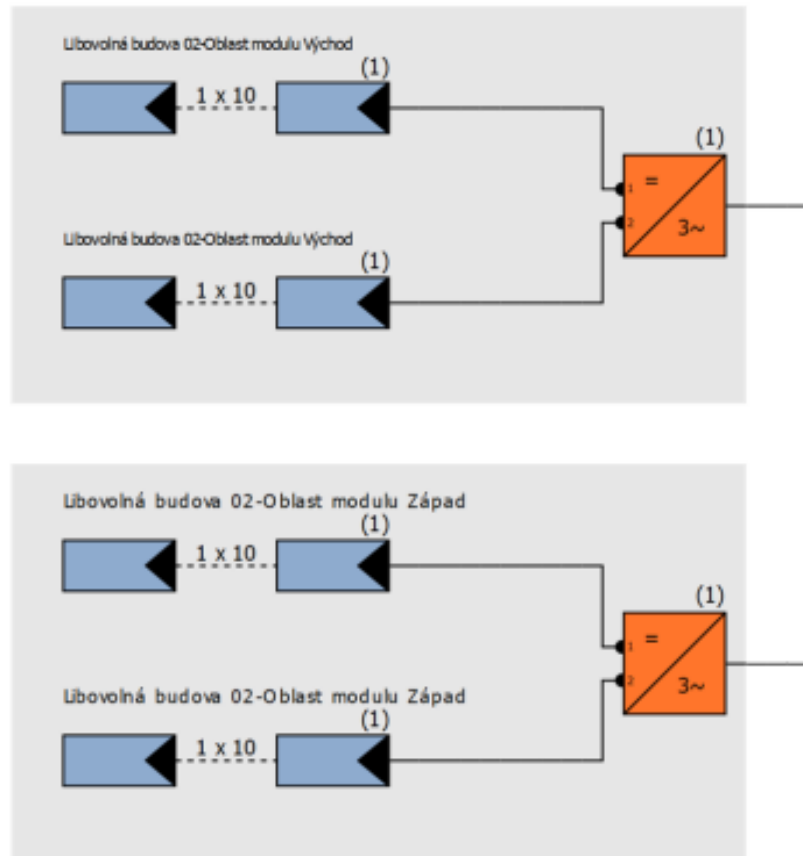
Poměr DC / AC = 18,4 / (2x8,8) = 1,05 **OK**



Obr. 19 – Stringování, východní oblast



Obr. 20 – Stringování, západní oblast



Obr. 21 – Schematické zapojení stringů

2.3.3.4. Vodiče a přepětová ochrana

Výpočet průřezů vodičů a velikosti jističů:

- Propojení panelů (DC kabely):

$$P = P_{\max} = 10 \times 460 = 4600 \text{ W}$$

$$U = U_{\max} = 421,3 \text{ V}$$

$$I_{\max} = \frac{P}{U} = \frac{4600}{421,3} = 10,92 \text{ A}$$

Materiál vodiče: měď

Průřez vodiče: 2,5 mm²

Velikost jističe: 12 A

- Propojení stringů a střidačů (DC kabely):

$$P = P_{(\cos\varphi = 1)} = 8800 \text{ W}$$

$$U = U_{\text{input}} = 842,6 \text{ V}$$

$$I_{\max} = \frac{P}{U} = \frac{8800}{842,6} = 10,44 \text{ A}$$

Materiál vodiče: měď

Průřez vodiče: 2,5 mm²

- Propojení střídačů s domovním rozvaděčem (AC kabely):

$$P = P_{(\cos\varphi = 1)} = 8800 \text{ W}$$

$$U = U_{\text{OUTPUT}} = 400 \text{ V}$$

$$I_{\max} = \frac{P}{U} = \frac{8800}{400} = 22 \text{ A}$$

Materiál vodiče: měď

Průřez vodiče: 6,0 mm²

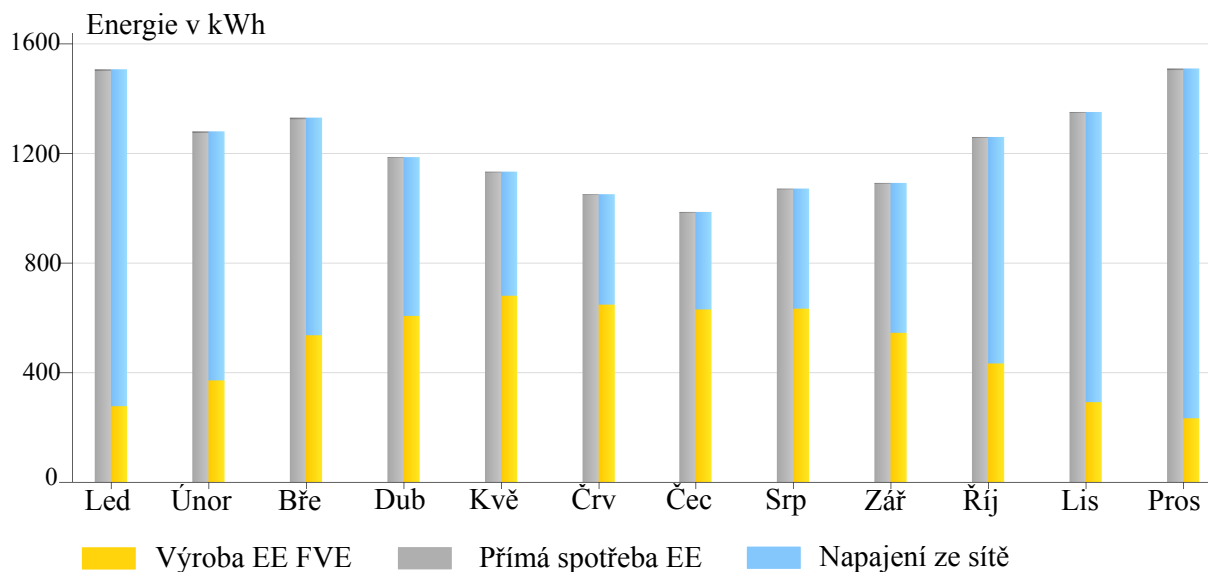
Velikost jističe: 25 A

2.3.3.5. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči

V prvním kroku byla provedena simulace FVE s ohledem na propojení AC kabelů do domovního rozvaděče za účelem krytí spotřeby EE v objektu.

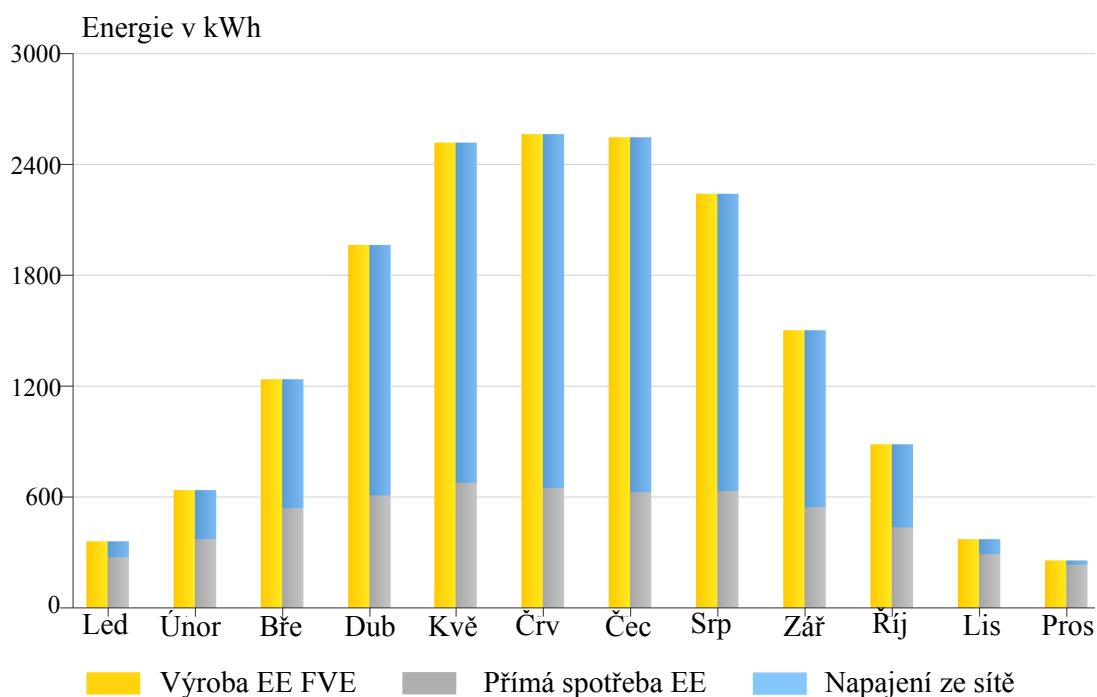
Roční energetický výnos je 17 069,42 kWh/rok.

Využití tohoto výnosu na pokrytí spotřeby EE činí 5 830,07 kWh/rok, což je 34,2 % od celkového energetického výnosu FVE. Podíl pokrytí spotřeby solární energií je 39,7 % (viz. Graf. 8).



Graf. 8 – Krytí FVE spotřeby EE

Vznikají celkové přebytky 11 239,35 kWh/rok (viz. Graf. 9).



Graf. 9 – Využití FVE

Tyto přebytky je potřeba buď prodávat do sítě distributora, akumulovat v bateriích a/nebo používat pro zásobníkový ohřev pro přípravu teplé vody.

Prodej do sítě by se nevyplatil vzhledem k nízké prodejní sazbě. Naším cílem je využití navržené FVE v maximální možné míře.

V dalším kroku bude provedená simulace FVE připojená k síti s elektrickými spotřebiči a zásobníkovým ohřevem vody.

Nejdřív je ale potřeba určit velikost zásobníku teplé vody (ZTV) a výkon potřebný pro přípravu teplé vody (TV).

2.4. Návrh ZTV

2.4.1. Výpočet přípravy TV – zásobníkový ohřev

1. Potřeba TV za časovou periodu V_{2p}

$$\text{bytové domy: } V_{2p} = 0,040 \text{ (m}^3\text{/osobu} \cdot \text{den)} = 0,040 \cdot 25 = 1,0 \text{ m}^3\text{/den}$$

2. Potřeba tepla odebraného z ohříváče E_{2p}

$$E_{2p} = E_{2t} + E_{2z} \quad [\text{Wh/den}]$$

$$E_{2p} = 52,335 + 15,701 = 68,036 \text{ kWh/den}$$

Teoretické teplo pro ohřátí množství V_{2p}

$$E_{2t} = V_{2p} * \rho * c * (t_2 - t_1) \quad [\text{Wh/den}]$$

kde: c – měrná tepelná kapacita vody $4182 \text{ J/kg} \cdot \text{K} = 1,163 \text{ Wh/kg} \cdot \text{K}$

t_1 – teplota studené vody (10°C)

t_2 – teplota teplé vody (55°C)

ρ – hustota vody (1000 kg/m^3)

$$E_{2t} = 1,0 * 1000 * 1,163 * (55 - 10) = 52,335 \text{ kWh/den}$$

Teplo ztracené při ohřevu a dopravě TV

$$E_{2z} = E_{2t} * z \quad [\text{Wh/den}]$$

kde: z – součinitel ztráty tepla při ohřevu (0,3)

$$E_{2z} = 52,335 * 0,3 = 15,701 \text{ kWh/den}$$

Pro aplikaci denní potřeby teplé vody je potřeba sestavit charakteristický odběrový profil teplé vody v průběhu dne v bytovém domě podle normy ČSN 06 0320 (viz. Obr. 16).

3. Sestrojení grafu

1) Křivka pro E_{2t}

0.00 – 5.00	0 % E_{2t}
5.00 – 17.00	35 % E_{2t}
17.00 – 20.00	50 % E_{2t}
20.00 – 0.00	15 % E_{2t}

2) Křivka E_{2z}

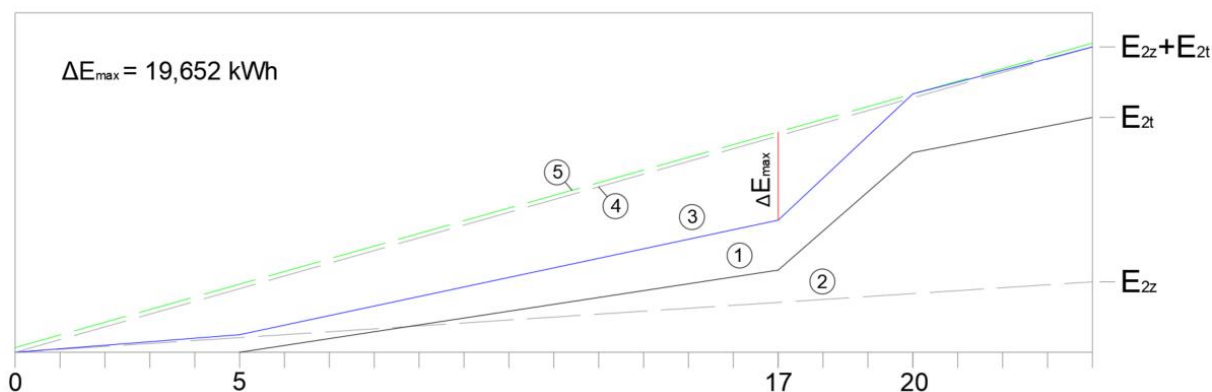
3) Součet $E_{2t} + E_{2z}$

4) Spojnice 0 a maxima křivky 3

5) Rovnoběžka s křivkou 4 v místě maxima křivky 3

$$\Delta E_{\max} = 19,652 \text{ kWh (viz. Graf.10)}$$

kde: ΔE_{\max} – špičkový výkon potřebný pro přípravu teplé vody (odečteno z grafu denní potřeby teplé vody) [Wh]

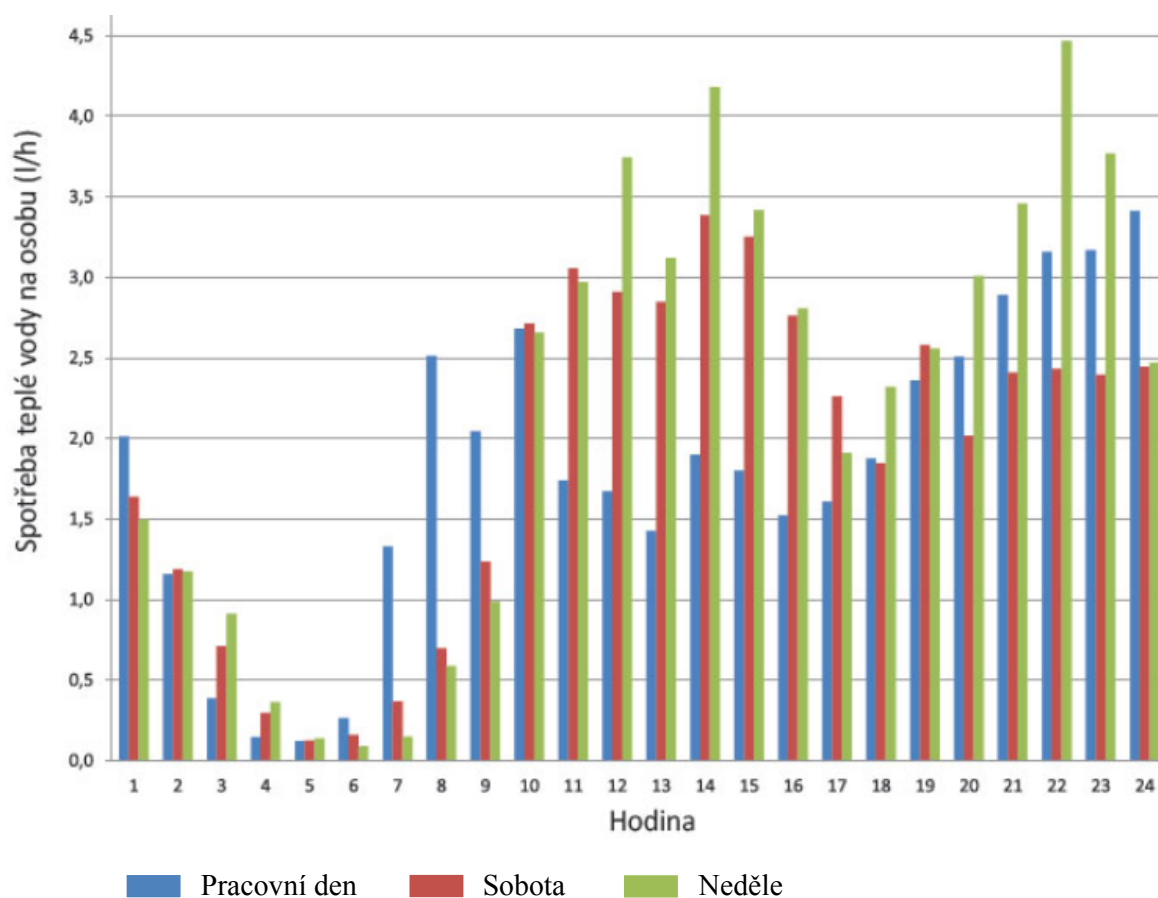


Graf. 10 – Odběrový profil teplé vody podle normy ČSN

Pro porovnání výsledků spočítáme hodnotu špičkového výkonu podle statistického odběrového profilu teplé vody v bytovém domě v ČR.

Tento profil znázorňuje špičkový odběr teplé vody v průběhu pracovního dne, soboty a neděle (viz. Graf. 11).

Špičkový odběr nastává v 22 h v neděli a činí cca 4,45 l/h na osobu. Ve řešeném bytovém komplexu je 25 osob, které špičkově spotřebují v průměru 111,25 l/h.



Graf. 11 – Statistický odběrový profil teplé vody [25]

Teoretické teplo pro ohřátí tohoto množství vody V'_{2p}

$$E'_{\max} = V'_{2p} * \rho * c * (t_2 - t_1) \quad [\text{Wh/den}]$$

$$E'_{\max} = 111,25 * 10^{-3} * 1000 * 1,163 * (55 - 10) = 5,822 \text{ kWh}$$

$E'_{\max} = 5,822 \text{ kWh} < \Delta E_{\max} = 19,652 \text{ kWh} \Rightarrow$ návrh zásobníku bude proveden podle uvedené normy ČSN 06 0320.

4. Minimální velikost zásobníku

$$V_z = \Delta E_{\max} / (\rho * c * (t_2 - t_1)) \quad [\text{m}^3]$$

$$V_z = 19652 / (1000 * 1,163 * (55 - 10)) = 0,3755 \text{ m}^3 = 375,5 \text{ l}$$

Minimální velikost zásobníku musí být 380 litrů.

5. Výkon potřebný pro přípravu TV (kontinuální ohřev)

$$Q_{\text{TV,h}} = E_{2p} / 24 \quad [\text{Wh}]$$

$$Q_{\text{TV,h}} = 68,036 / 24 = 2,835 \text{ kWh}$$

6. Tepelná roční bilance

Roční potřeba tepla na přípravu TV

$$Q_{\text{TV,r}} = Q_{\text{TV,d}} * d + 0,8 * Q_{\text{TV,d}} * (55 - t_{\text{svl}}) * (N - d) / (55 - t_{\text{svz}}) \quad [\text{Wh/rok}]$$

- kde:
- $Q_{\text{TV,d}}$ – denní potřeba na přípravu TV = E_{2p}
 - d – počet dnů za rok s teplotou $< 13^\circ \text{C}$ (Praha: 225 dní)
 - 0,8 – součinitel zohledňující snížení potřeby TV v létě
 - t_{svl} – teplota studené vody v létě (15°C)
 - t_{svz} – teplota studené vody v zimě (5 až 10°C)
 - N – počet pracovních dní soustavy v roce (350 – 365)

$$Q_{\text{TV,r}} = 68,036 * 225 + 0,8 * 68,036 * (55 - 15) * (365 - 225) / (55 - 10) = \\ = 22,081 \text{ MWh/rok}$$

2.5. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči a ZTV

V simulaci jsou uvažovány dva výměníky tepla napojené na ZTV.

Jeden slouží primárně k nucenému ohřevu TV plynovým kotlem (VT1) a druhý k využití přebytků vyrobené FVE elektrické energie (VT2).

Pro vyhodnocení návrhu optimální velikosti ZTV s ohledem na využití přebytků generované EE provedeme několik simulací s objemem ZTV 420, 513 a 763 litrů (viz. Tab. 1).

ZTV	Užitečný obsah [l]	Cena [Kč]	Využití přebytků EE [kWh/rok]
Regulus R0BC 400	420	36 200	6 780
Regulus R0BC 500	513	43 200	6 789
Regulus R0BC 750	763	71 600	6 815

Tab. 1 – Porovnání ZTV

Možné využití přebytků vyrobené EE na zásobníkový ohřev je téměř stejné v případě ZTV o objemu 420, 513 a 763 litrů. Proto navrhneme zásobník Regulus R0BC 400 o objemu 420 litrů.

Pro pochopení konceptu využití přebytků vyrobené EE je důležité vědět, kdy nastává špičková generace FVE EE a kdy dochází ke špičkovému odběru EE v průběhu roku:

- Špičková generace elektrické energie FVE je 15,312 kW, a to 12.07. v 11 h. Spotřeba v tomto čase činí 2,752 kW a výkon potřebný pro kontinuální ohřev TV je 1,893 kWh.

V uvedeném čase VT2 je nečinný a VT1 funguje na plný výkon. Hodinu před tím ale VT2 dodával většinu potřebné energie do ZTV (viz. Tab.2).

Při tom maximální hodnota přebytků vyrobené EE je 12,56 kWh.

Příklad poptávky po TV a odběru přebytků vyrobené EE pro přípravu TV je znázorněn v Tab. 2.

Doba	Spotřeba	Přímá vlastní spotřeba	Generace	Topné těleso	Poptávka po teplé vodě	Přebytky
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
12.07. 00:00	0,988	0,000	0,000	0,000	0,473	0,000
12.07. 01:00	0,712	0,000	0,000	0,000	0,473	0,000
12.07. 02:00	0,614	0,000	0,000	0,000	0,473	0,000
12.07. 03:00	0,586	0,000	0,000	0,000	0,946	0,000
12.07. 04:00	0,564	0,008	0,008	0,000	0,946	0,000
12.07. 05:00	0,541	0,541	0,844	0,303	1,893	0,000
12.07. 06:00	0,551	0,551	4,599	4,048	2,839	0,000
12.07. 07:00	0,611	0,611	7,943	7,331	4,732	0,000
12.07. 08:00	0,925	0,925	6,260	5,335	4,732	0,000
12.07. 09:00	1,571	1,571	7,722	0,000	3,785	6,151
12.07. 10:00	1,903	1,903	14,399	12,496	2,366	0,000
12.07. 11:00	2,752	2,752	15,312	0,000	1,893	12,560
12.07. 12:00	2,521	2,521	2,735	0,000	2,839	0,215
12.07. 13:00	1,792	1,792	1,867	0,000	3,785	0,074
12.07. 14:00	1,868	1,868	3,877	2,009	2,366	0,000
12.07. 15:00	1,485	1,485	5,469	3,984	1,420	0,000
12.07. 16:00	1,390	0,441	0,441	0,000	1,420	0,000
12.07. 17:00	1,305	0,344	0,344	0,000	2,366	0,000
12.07. 18:00	1,542	0,300	1,951	0,409	2,839	1,242
12.07. 19:00	1,609	0,000	0,002	0,000	2,839	0,002
12.07. 20:00	1,558	0,000	0,000	0,000	2,366	0,000
12.07. 21:00	1,628	0,000	0,000	0,000	1,893	0,000
12.07. 22:00	1,555	0,000	0,000	0,000	0,946	0,000
12.07. 23:00	1,096	0,000	0,000	0,000	0,946	0,000

Tab. 2 – Využití FVE 12.7.

- Špičkové zatížení nastává 6.12. v 11 h a je 3,85 kW (viz. Kapitola 2.2.). Maximální generace energie v uvedeném čase je 1,168 kW.

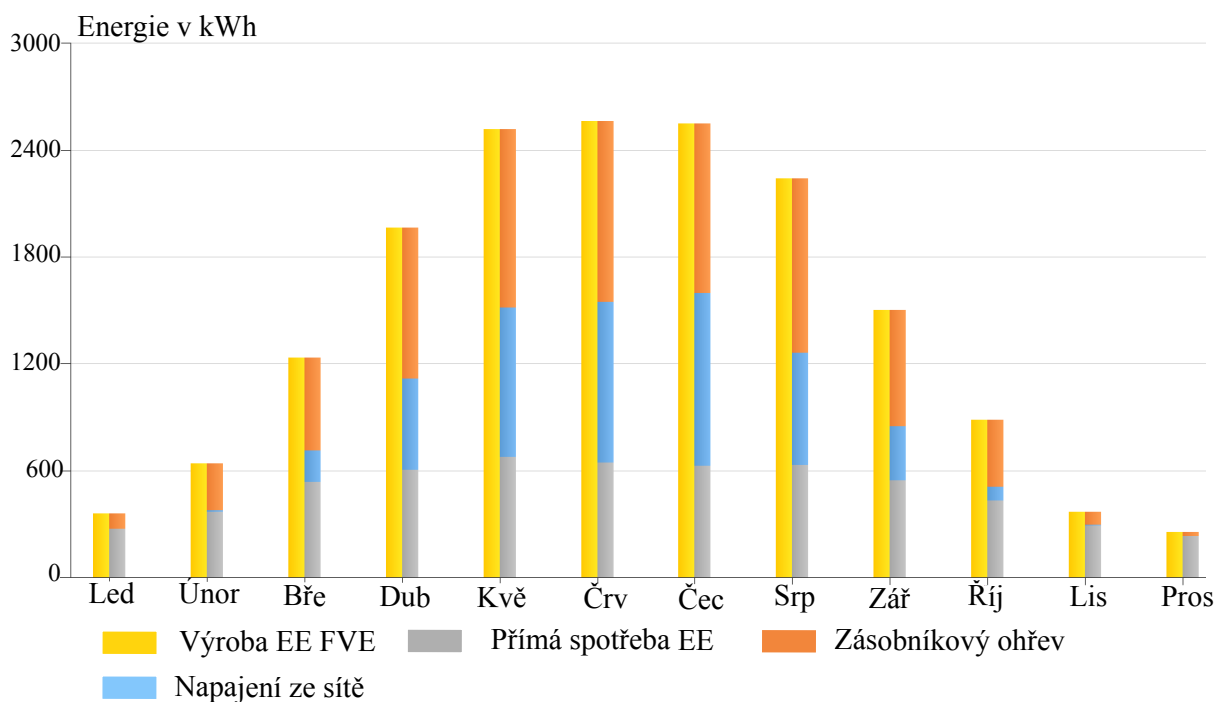
V tento okamžik nevznikají žádné přebytky vyrobené FVE EE. Tzn. že dojde k nucenému ohřevu vody. Sepne VT1 na plný výkon a nezávisle na FVE odebírá potřebnou energii z plynového kotle. VT2 zůstává nečinný.

2.5.1. Výsledek simulace

Využití energetického výnosu FVE na pokrytí spotřeby EE činí 5 830,07 kWh/rok (pokrytí roční spotřeby je 39,7 %) a na pokrytí zásobníkového ohřevu - 6 780,44 kWh/rok (pokrytí roční spotřeby je 30,7 %) (viz. Graf. 12).

Celkem tedy 12 610,51 kWh/rok, což je 73,7 % od celkového energetického výnosu FVE.

Přebytky činí 4 458,91 kWh/rok.



Graf. 12 – Využití FVE se ZTV

Dalším krokem bude návrh akumulaci těchto přebytků do bateriového systému za účelem pokrytí spotřeby EE bytového komplexu v době, kdy FVE negeneruje žádnou energii (večerní/ranní hodiny).

2.6. Návrh baterie

Cílem je akumulovat 4 458,91 kWh/rok.

Baterie se bude navrhovat tak, aby měla dostatečnou kapacitu na pokrytí spotřeby EE ve večerních a ranních hodinách v období kdy vznikají největší přebytky vyrobené FVE elektrické energie.

Maximálnější hodnota přebytků vyrobené EE v průběhu roku vzniká 22.7. ve 12 h a rovná se 13,196 kWh (viz. Tab.3).

Doba	Generace	Spotřeba	Přímá vlastní spotřeba	Topné těleso	Přebytky
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
22.07. 00:00	0,000	0,722	0,000	0,000	0,000
22.07. 01:00	0,000	0,624	0,000	0,000	0,000
22.07. 02:00	0,000	0,614	0,000	0,000	0,000
22.07. 03:00	0,000	0,605	0,000	0,000	0,000
22.07. 04:00	0,008	0,605	0,008	0,000	0,000
22.07. 05:00	1,531	0,722	0,722	0,809	0,000
22.07. 06:00	5,018	1,061	1,061	3,957	0,000
22.07. 07:00	8,082	1,308	1,308	6,774	0,000
22.07. 08:00	10,398	1,653	1,653	8,746	0,000
22.07. 09:00	9,858	1,606	1,606	0,000	8,252
22.07. 10:00	8,165	1,555	1,555	0,000	6,611
22.07. 11:00	12,105	1,802	1,802	10,303	0,000
22.07. 12:00	15,197	2,001	2,001	0,000	13,196
22.07. 13:00	14,544	1,634	1,634	0,000	12,910
22.07. 14:00	13,273	1,476	1,476	11,797	0,000
22.07. 15:00	11,264	1,355	1,355	0,000	9,909
22.07. 16:00	8,713	1,387	1,387	0,000	7,326
22.07. 17:00	5,801	1,495	1,495	0,000	4,306
22.07. 18:00	2,839	1,672	1,672	0,000	1,167
22.07. 19:00	0,592	1,723	0,592	0,000	0,000
22.07. 20:00	0,000	1,653	0,000	0,000	0,000
22.07. 21:00	0,000	1,663	0,000	0,000	0,000
22.07. 22:00	0,000	1,606	0,000	0,000	0,000
22.07. 23:00	0,000	1,127	0,000	0,000	0,000
				Σ	63,677

Tab. 3 – Využití FVE 22.7.

Z tabulky 3 je vidět, že přebytky EE začínají vznikat v 9:00. V tento okamžik a až do 18:00 spotřeba EE je pokrytá na 100 % vyrobenou FVE EE. Dále od 19:00 na pokrytí přímé vlastní spotřeby nestačí generované FVE EE. Tzn. že tyto přebytky v období od 9:00 do 18:00 je potřeba akumulovat do baterií za účelem použití pro přímou spotřebu od 19:00.

Celkové přebytky generované EE v tento den jsou 63,677 kWh/den (viz. Tab. 3). Za účelem pokrytí přímé vlastní spotřeby elektrické energie ve večerních hodinách od 19:00 do 23:00 by bylo potřeba akumulovat 7,179 kWh. S ohledem na energetické ztráty nabíjením/vybíjením bateriového uložení (cca 11 %) a ztráty v baterii (cca 1,5 %) na akumulaci by bylo použito 8,076 kWh vyrobené FVE EE.

Dále dne 23.7. v čase od 0:00 do 5:00 pro přímou vlastní spotřebu by bylo použito dalších 3,239 kWh akumulované EE (viz. Tab. 4). V tomto případě celková hodnota dostupné akumulované EE v baterii by měla být 10,418 kWh.

Doba	Generace	Spotřeba	Přímá vlastní spotřeba	Topné těleso	Přebytky
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
23.07. 00:00	0,000	0,722	0,000	0,000	0,000
23.07. 01:00	0,000	0,624	0,000	0,000	0,000
23.07. 02:00	0,000	0,614	0,000	0,000	0,000
23.07. 03:00	0,000	0,605	0,000	0,000	0,000
23.07. 04:00	0,000	0,605	0,000	0,000	0,000
23.07. 05:00	0,653	0,722	0,653	0,000	0,000
23.07. 06:00	2,124	1,061	1,061	1,063	0,000
23.07. 07:00	3,625	1,308	1,308	2,317	0,000
23.07. 08:00	4,922	1,653	1,653	3,269	0,000
23.07. 09:00	6,816	1,606	1,606	5,210	0,000
23.07. 10:00	7,979	1,555	1,555	6,424	0,000
23.07. 11:00	7,270	1,802	1,802	0,000	5,468
23.07. 12:00	8,282	2,001	2,001	0,000	6,281
23.07. 13:00	7,009	1,634	1,634	5,375	0,000
23.07. 14:00	6,963	1,476	1,476	5,487	0,000
23.07. 15:00	6,229	1,355	1,355	0,000	4,873
23.07. 16:00	4,482	1,387	1,387	0,000	3,095
23.07. 17:00	2,845	1,495	1,495	1,351	0,000
23.07. 18:00	1,414	1,672	1,414	0,000	0,000
23.07. 19:00	0,008	1,723	0,008	0,000	0,000
23.07. 20:00	0,000	1,653	0,000	0,000	0,000
23.07. 21:00	0,000	1,663	0,000	0,000	0,000
23.07. 22:00	0,000	1,606	0,000	0,000	0,000
23.07. 23:00	0,000	1,127	0,000	0,000	0,000

Tab. 4 – Využití FVE 23.7.

2.7. Simulace FVE připojené k síti s el. spotřebiči, ZTV a baterií

Provedeme několik simulací s akumulací vyrobené EE do bateriového uložení o různé kapacity, minimální kapacita ovšem je 10 kWh, jak bylo zmíněno výše (viz. Tab. 5).

Z ekonomického hlediska je vybrán bateriový systém ME3000SP od výrobce Sofar Solar Co., Ltd. s následujícími parametry:

Typ: Lithium-železo-fosfát (LiFePo)

Typ připojení: AC připojení

Jmenovitý výkon: 3 kW

Jmenovité napětí: 48 V

Počet baterií: 4

Napětí baterie: 48 V

Kapacita baterie: 204Ah / 7,8 kW

Bateriový systém	Kapacita [kW]	Cena [Kč]	Akumulace [kWh/rok]	Ztráty [kWh/rok]	Pokrytí spotřeby EE [kWh/rok]
2x ME3000SP	6	43 300	2 292,446	286,556	2 005,890
3x ME3000SP	9	64 950	3 000,840	375,105	2 625,735
4x ME3000SP	12	86 600	3 208,957	401,120	2 807,837

Tab. 5 – Porovnání baterií

Simulace ukazuje, že rozdíl v dodatečné pokrytí přímé vlastní spotřeby EE v případě 2x a 3x bateriového systému činí cca 620 kWh/rok.

Při jednotkové ceně bateriového uložení ME3000SP 21 650 Kč a sazbě od distributora elektrické energie v 5,5 Kč/kWh návratnost 3. baterie by činila přibližně 4,5 let s uvažováním koeficientu změny ceny elektřiny 2 %.

V případě větší bateriové sestavy rozdíl v akumulaci by činil cca 182 kWh/rok, což by znamenalo 15,1-letou návratnost pro čtrtý bateriový systém.

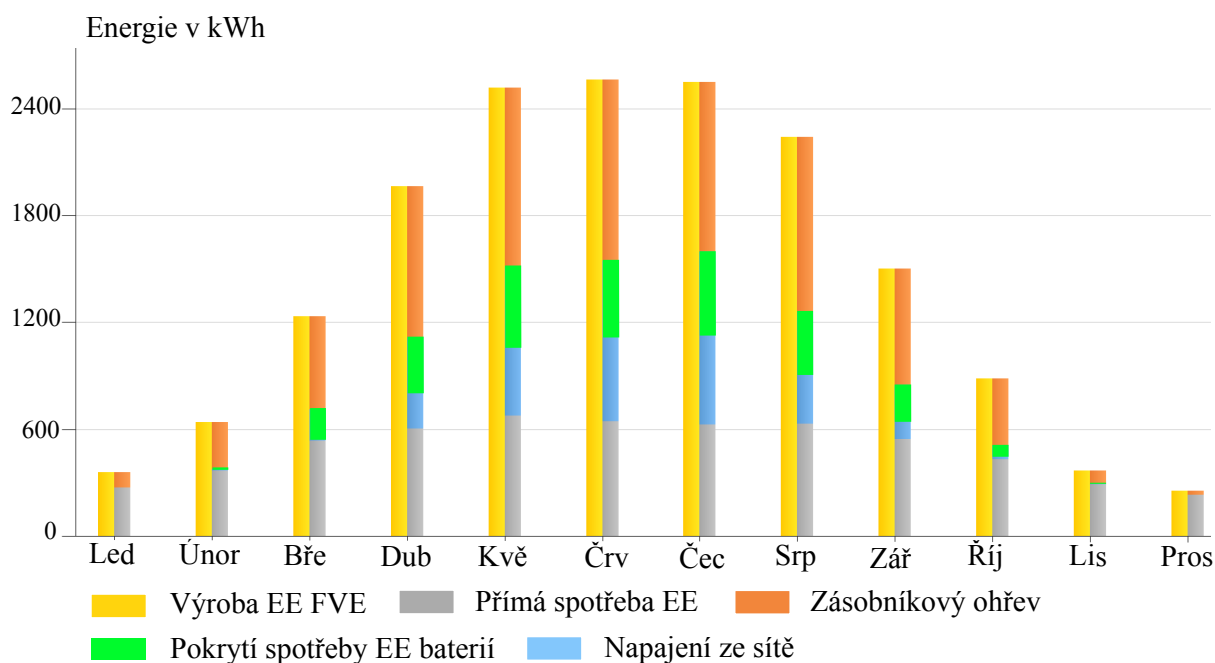
S ohledem na životnost baterie kolem 10 let bateriový systém skládající se ze tří bateriových uložení je optimální z ekonomického hlediska.

Navrhujeme 3x bateriový systém ME3000SP o celkové kapacitě 23,4 kW (3x 7,8 kW).

2.7.1. Výsledek simulace

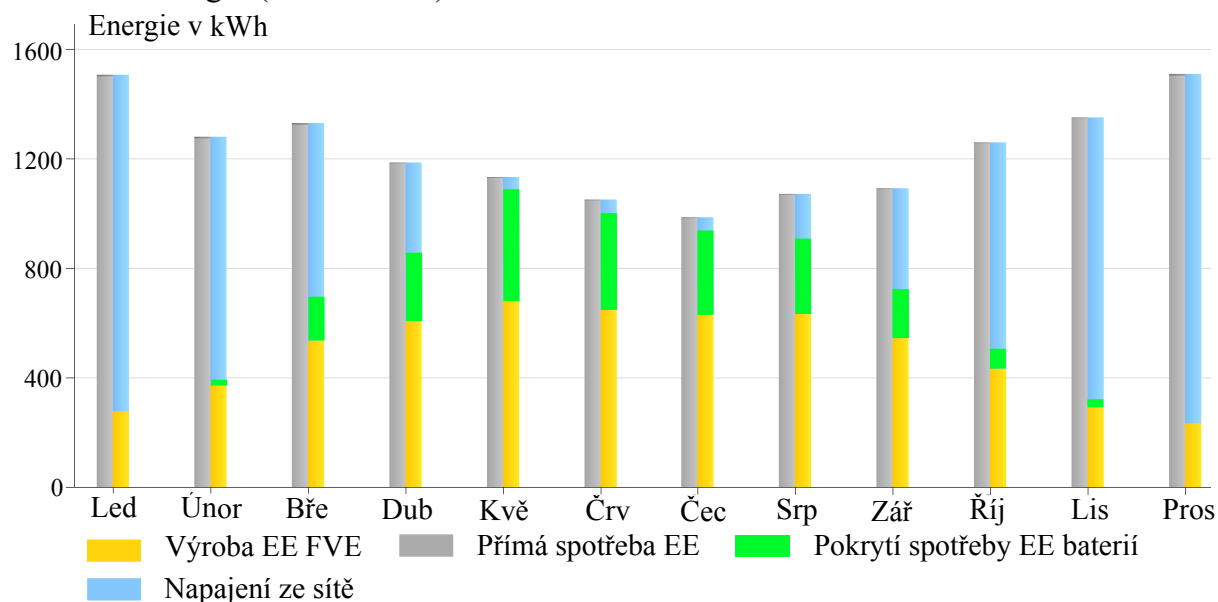
Využití energetického výnosu FVE na pokrytí spotřeby EE činí 8 455,805 kWh/rok (pokrytí roční spotřeby je 57,5 %) a na pokrytí zásobníkového ohřevu - 6 780,44 kWh/rok (pokrytí roční spotřeby je 30,7 %) (viz. Graf. 13).

Celkem tedy 15 236,245 kWh/rok, což je 89,26 % od celkového energetického výnosu FVE.



Graf. 13 – Využití hybridní FVE

Přebytky o celkové hodnotě 1 833,175 kWh/rok by se prodávali do sítě distributora elektrické energie (viz. Graf 14).



Graf. 14 – Krytí FVE spotřeby el. Energie

2.8. Analýza ziskovosti

Data zařízení

Síťové napájení v prvním roce (včetně degradace modulů)	5 830,07 kWh/rok
Instalovaný výkon	18,4 kWp
Sledované období	20 let
Úroky kapitálu	1 %

Hospodářské ukazatele

Kumulovaný finanční tok	1 756 891	Kč
Doba amortizace	2,5	let
Vlastní výrobní náklady elektrické energie	0,6294	Kč/kWh

Přehled plateb

specifické investiční náklady	23 695,65	Kč/kWp
Investiční náklady	436 000,00	Kč
FV moduly	134 000,00	Kč
Střídače	84 600,00	Kč
D-DOME montážní konstrukce	32 450,00	Kč
Propojovací kabeláž DC	15 000,00	Kč
Instalace a nastavení	15 000,00	Kč
Propojení se současným systémem	10 000,00	Kč
Projekt a revize	80 000,00	Kč
Baterie 2x ME3000SP	64 950,00	Kč
Podpory/Dotace	235 000,00	Kč

Odměna za úspory

Celkové odměny v prvním roce	1 833	Kč/rok
Úspory v prvním roce		
Úspory v prvním roce (Energie ze sítě)	46 607	Kč/rok
Úspory v prvním roce (Tepelný systém)	30 612	Kč/rok

Tarif elektrické energie (ČR)

Cena elektřiny	5,5	Kč/kWh
Základní cena	100	Kč/měs
Koeficient změny cen elektřiny	2	%/rok

Výnosy z prodané elektřiny

Cena za přímo prodaný proud	1,00	Kč/kWh
Koeficient změny cen	2,00	%/rok

Tarif plynu (ČR)

Cena plynu	4,5	Kč/kWh
Základní cena	100	Kč/měs
Koeficient změny cen elektřiny	2	%/rok

Cash flow

Cash flow

	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5
Investice	-436 000 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	235 000 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupní tarif	1 833 Kč	1 870 Kč	1 907 Kč	1 945 Kč	1 984 Kč
Úspora nákladů za energii	46 607 Kč	47 637 Kč	48 686 Kč	49 754 Kč	50 841 Kč
Úspora nákladů za plyn	30 612 Kč	31 322 Kč	32 045 Kč	32 780 Kč	33 527 Kč
Roční finanční tok	79 052 Kč	80 829 Kč	82 638 Kč	84 479 Kč	86 352 Kč
Kumulovaný finanční tok	-121 948 Kč	-41 119 Kč	41 519 Kč	125 998 Kč	212 350 Kč

Cash flow

	Rok 6	Rok 7	Rok 8	Rok 9	Rok 10
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupní tarif	2 024 Kč	2 064 Kč	2 105 Kč	2 147 Kč	2 190 Kč
Úspora nákladů za energii	51 947 Kč	53 074 Kč	54 222 Kč	55 390 Kč	56 580 Kč
Úspora nákladů za plyn	34 288 Kč	35 061 Kč	35 849 Kč	36 650 Kč	37 465 Kč
Roční finanční tok	88 259 Kč	90 199 Kč	92 176 Kč	94 187 Kč	96 235 Kč
Kumulovaný finanční tok	300 609 Kč	390 808 Kč	482 984 Kč	577 171 Kč	673 406 Kč

Cash flow

	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
Investice	-138 200 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupní tarif	2 234 Kč	2 279 Kč	2 324 Kč	2 371 Kč	2 418 Kč
Úspora nákladů za energii	57 792 Kč	59 026 Kč	60 282 Kč	61 562 Kč	62 865 Kč
Úspora nákladů za plyn	38 294 Kč	39 138 Kč	39 997 Kč	40 870 Kč	41 760 Kč
Roční finanční tok	98 320 Kč	100 443 Kč	102 603 Kč	104 803 Kč	107 043 Kč
Kumulovaný finanční tok	771 726 Kč	872 169 Kč	974 774 Kč	1 079 575 Kč	1 186 618 Kč

Cash flow

	Rok 16	Rok 17	Rok 18	Rok 19	Rok 20
Investice	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Podpory/Dotace	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč	0,00 Kč
Výkupní tarif	2 467 Kč	2 516 Kč	2 566 Kč	2 618 Kč	2 670 Kč
Úspora nákladů za energii	64 192 Kč	65 544 Kč	66 921 Kč	68 323 Kč	69 752 Kč
Úspora nákladů za plyn	42 665 Kč	43 586 Kč	44 524 Kč	45 479 Kč	46 450 Kč
Roční finanční tok	109 324 Kč	111 646 Kč	114 011 Kč	116 420 Kč	118 872 Kč
Kumulovaný finanční tok	1 295 942 Kč	1 407 588 Kč	1 521 599 Kč	1 638 019 Kč	1 756 891 Kč

2.9. Závěr

Navržený fotovoltaický systém s bateriovým uložištěm, který je napojený do domovního rozváděče za účelem pokrytí spotřeby elektrické energie a dále je propojený pomocí výměníku tepla se zásobníkem teplé vody je optimální z hlediska ekonomického návrhu.

Pokrytí FVE roční spotřeby elektrické energie je 57,5 % a zásobníkového ohřevu - 30,7 %.

Orientační doba návratnosti je 2,5 let.

Kumulovaný finanční tok za 20 let je 1 756 891 Kč.

Použitá literatura

Internetové zdroje

- [1] cez.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelné-zdroje/slunce>
- [3] wikipedia.org In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotovoltaika>
- [4] tzb-energ.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html>
- [5] b2b.tcs-company.cz In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://b2b.tcs-company.cz/knowledge-base/article/co-znamena-system-grid-on-sitova-elektrarna>
- [7] solarniexperti.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovni-off-grid-fotovoltaicky-system>
- [9] srovnejto.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/hybridni-fotovoltaicka-elektrarna-jak-funguje/>
- [10] solarpanely.sk. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarpanely.sk/fotovoltaika/system-hybrid>
- [11] enkidoo.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.enkidoo.cz/v2/clanky/jak-funguje-fotovoltaicky-clanek-jaka-je-jeho-struktura-vse-vam-vysvetlime-jednoduse-a-srozumitelne>
- [12] efve.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://efve.cz/druhy-fotovoltaicky-clanku/>
- [13] conrad.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/cs/p/phaesun-monokrystalicky-solarni-panel-200-w-24-v-1900367.html>
- [16] estav.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/9418.rozumna-navratnost-domaci-fotovoltaiky-pozor-na-spravny-stridac>
- [18] fotovoltaicky.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.fotovoltaicky.cz/stridace-pro-fve/>
- [19] vyrobaenergie.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://vyrobaenergie.cz/co-je-bateriove-uloziste/>
- [21] wikipedia.org. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99ep%C4%9B%C5%A5ov%C3%A1_ochrana
- [22] sunwave.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.sunwave.cz/prepetove-ochrany-na-fve>

[23] energosolar.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.energosolar.cz/stavebni-pripravenost-jak-pripravit-dum-na-instalaci-fve-elektrarny-s-akumulaci-do-vody-nebo-tepelnym-cerpadlem-ohrevem-vody>

[24] fotovoltaika-ie.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.fotovoltaika-ie.cz/vyhody-a-nevyhody-fve/>

Obrazky

[2] fotovoltaickepanely.eu. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaickepanely.eu/fotovoltaika/solarni-elektrarny-v-cr/>

[6] solarpanely.sk. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarpanely.sk/fotovoltaika/system-on-grid>

[8] solarpanely.sk. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarpanely.sk/fotovoltaika/system-off-grid>

[10] solarpanely.sk. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.solarpanely.sk/fotovoltaika/system-hybrid>

[13] conrad.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/cs/p/phaesun-monokrystalicky-solarni-panel-200-w-24-v-1900367.html>

[14] elektro-hofman.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.elektro-hofman.cz/fotovoltaicky-solarni-polykrystalicky-panel-victron-energy-30wp-1-6a-mppt-18v-rozmary-665x350x25mm/>

[15] yodobashi.com. In: [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.yodobashi.com/product/100000001001694951/>

[16] estav.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/9418.rozumna-navratnost-domaci-fotovoltaiky-pozor-na-spravny-stridac>

[17] eshop.sapro.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.eshop.sapro.cz/fve-solarni-stridac-menic-sofar-hyd-3000-es-hybrid-mppt-grid-off_d627286.html

[20] kvelektro.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/bateriove-uloziste-bmz-ess-z-li-ion-8-87kwh-162ah-p1771004>

[22] sunwave.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.sunwave.cz/prepetove-ochrany-na-fve>

[23] energosolar.cz. In: [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.energosolar.cz/stavebni-pripravenost-jak-pripravit-dum-na-instalaci-fve-elektrarny-s-akumulaci-do-vody-nebo-tepelnym-cerpadlem-ohrevem-vody>

[25] asb-portal.cz. In: [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapeni/prubeh-spotreby-teple-vody-v-bytovych-domech>

Seznam příloh a výkresů projektové dokumentace

Příloha č. 1 – Technická zpráva

Příloha č. 2 – Technický list JAM72S20-460/MR

Příloha č. 3 – Technický list Huawei SUN2000-8KTL-M1

Příloha č. 4 – Technický list Regulus R0BC 400

Příloha č. 5 – Technický list SofarSolar ME3000SP

Výkres č. 1 – Rozmístění FV modulů

Výkres č. 2 – Návrh vodovodu. Půdorys 1.PP

Výkres č. 3 – Návrh vodovodu. Půdorys 1.NP

Výkres č. 4 – Návrh vodovodu. Půdorys 2.NP

Výkres č. 5 – Návrh vodovodu. Půdorys 3.NP

Výkres č. 6 – Návrh vodovodu. Půdorys 4.NP

Výkres č. 7 – Návrh vodovodu. Svislý rozvinutý řez

Výkres č. 8 – Funkční schéma zapojení v kotelně

Výkres č. 9 – Schéma zapojení FVE