ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh integrovaného ostrovního napájení spotřeby rodinného domu

Bc. Petr Švehla **2019**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: **2018/2019**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Petr ŠVEHLA**
Osobní číslo:	**E17N0066P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Technická ekologie**
Název tématu:	**Návrh integrovaného ostrovního napájení spotřeby rodinného domu**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte energetickou bilanci elektrické energie a tepla pro typizovaný rodinný dům.
2. Navrhněte způsoby možného zásobení domu potřebnou elektřinou a teplem nejdříve pomocí samostatné výroby elektřiny a tepla pomocí OZE a pomocí kombinované výroby.
3. Jednotlivé varianty ostrovního napájení porovnejte ekonomicky.
4. Nejvýhodnější variantu porovnejte ekonomicky s možností zajištění pokrytí spotřeby z centralizovaných systémů.

Rozsah grafických prací:	**podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce:	**40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Vytápění rodinných a bytových domů - Dušan Petráš a kol.**

Vedoucí diplomové práce:	**Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.** Katedra elektroenergetiky a ekologie
Datum zadání diplomové práce:	**5. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce:	**30. května 2019**

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh integrovaného ostrovního napájení spotřeby rodinného domu pomocí fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše objektu. Cílem této práce je provést energetickou bilanci elektrické energie a tepla pro konkrétní objekt. Navrhnout zásobování domu elektřinou a teplem, primárně pomocí samostatné výroby elektřiny a tepla tzv. ostrovním systémem. Následně pomocí FVE s připojením k distribuční síti. Dále pak porovnání navržených variant po ekonomické stránce. A nakonec porovnání nejvýhodnější varianty z předchozího bodu s pokrytím spotřeby z centralizovaných zdrojů.

Klíčová slova

Průkaz energetické náročnosti budovy, PENB, obnovitelné zdroje energie, OZE, ostrovní systém, distribuční síť, wattrouter, ohřev TUV, akumulace, baterie, virtuální baterie, střídač, distribuční síť, energie, životnost, návratnost, porovnání.

Abstract

This diploma thesis is focused on the design of integrated island power supply of a family house by means of a photovoltaic power plant located on the roof of the building. The aim of this thesis is to perform energy balance of electric energy and heat for a particular object. Propose to supply the house with electricity and heat, primarily through the separate production of electricity and heat by the island system. Subsequently, using a PV plant with a connection to the distribution network. Furthermore, comparing the proposed options in economic terms. Finally, compare the most advantageous option from the previous point with the consumption from centralized sources.

Key words

Energy performance certificate, EPC, renewable energy sources, RES, island system, distribution network, wattrouter, hot water heating, accumulation, battery, virtual battery, inverter, distribution network, energy, service life, return on investment, comparison.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 30.5.2019 Bc. Petr Švehla

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Emilu Dvorskému, Csc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **8**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **10**

ÚVOD **11**

1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY **12**

1.1 HISTORIE FOTOVOLTAIKY 12
1.2 PRINCIP FOTOVOLTAICKÉHO ČLÁNKU 12
1.3 PRVNÍ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ 13
1.4 MONOKRYSTALICKÉ ČLÁNKY 13
1.5 DRUHÁ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ 13
1.5.1 Polykrystalické křemíkové články *13*
1.5.2 Amorfní křemíkové články *14*
1.5.3 Mikrokrystalické křemíkové články *14*
1.5.4 Články CIS *14*
1.6 TŘETÍ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ 14
1.7 ČTVRTÁ GENERACE FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ 15

2 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY PRO RODINNÉ DOMY **16**

2.1 OSTROVNÍ SYSTÉMY (GRID-OFF) 16
2.1.1 Systém s přímým napájením *16*
2.1.2 Systém s akumulací elektrické energie *16*
2.1.3 Hybridní ostrovní systém *17*
2.2 SÍŤOVÉ SYSTÉMY (GRID-CONNECTED) 18
2.2.1 Systém s virtuální baterií (Net metering) *19*
2.3 POPIS KOMPONENTŮ FV SYSTÉMU 19
2.3.1 Fotovoltaické panely *19*
2.3.2 Přívodní kabely *20*
2.3.3 Střídač *21*
2.3.4 MPPT *21*
2.3.5 Akumulátory *21*
2.3.6 Akumulace do TUV *22*

3 PODMÍNKY PRO VYUŽITÍ FV SYSTÉMŮ V ČR **23**

3.1 PODPORA FOTOVOLTAICKÝCH ELEKTRÁREN 24
3.1.1 Přímý výkup elektřiny a zelený bonus *24*
3.1.2 Nová zelená úsporám – podpora pro rodinné domy *24*

4 ENERGETICKÁ BILANCE RODINNÉHO DOMU **29**

4.1 POPIS OBJEKTU 29
4.2 ENERGETICKÁ BILANCE, ZTRÁTY A ZISKY 31
4.3 TEPELNÉ ZTRÁTY 32
4.4 OBÁLKOVÁ METODA 32
4.5 PŘEHLED SPOTŘEBY ENERGIÍ 33
4.6 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY (PENB) 34
4.6.1 PENB pro rodinný dům *34*
4.6.2 Požadované množství tepla *37*
4.6.3 Denostupňová metoda *37*
4.6.4 Výpočet požadovaného tepla *41*
4.6.5 Výpočet požadované elektřiny *44*
4.6.6 Typový denní diagram elektřiny *44*

5 NÁVRH ZPŮSOBU ZÁSOBENÍ DOMU ELEKTŘINOU A TEPLEM POMOCÍ SAMOSTATNÉ VÝROBY Z OZE A KOMBINOVANÉ VÝROBY 47

5.1 POPIS HLAVNÍCH KOMPONENTŮ FVE 49
5.1.1 Fotovoltaické panely 49
5.1.2 Střídače DC/AC 50
5.1.3 Svodiče přepětí 50
5.1.4 Baterie LiFePO4 51
5.1.5 Regulátor 51
5.1.6 Ohřev TUV elektrickým bojlerem 52
5.1.7 Nosná konstrukce 52
5.1.8 Kabely 53
5.2 VARIANTA 1 – OSTROVNÍ SYSTÉM S AKUMULACÍ DO BATERIE A TUV 53
5.2.1 Úvod 53
5.2.2 Popis zvolené FVE 53
5.3 VARIANTA 2 – FVE PŘIPOJENÁ K DISTRIBUČNÍ SÍTI S AKUMULACÍ DO TUV 56
5.4 VARIANTA 3 – FVE S AKUMULACÍ DO FYZICKÉ BATERIE A OHŘEVEM TUV 58
5.5 VARIANTA 4 – FVE S VIRTUÁLNÍ BATERIÍ A AKUMULACÍ DO TUV 59
5.5.1 Virtuální baterie 60
5.5.2 Řešení pro rodinný dům 61
5.5.3 Simulace výnosů FVE 61
5.6 SHRNUTÍ VARIANT 62

6 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT NAPÁJENÍ 63

6.1 ÚVOD 63
6.2 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT 63
6.2.1 Cena FVE - Varianta 1 63
6.2.2 Návratnost investic - Varianta 1 64
6.2.3 Cena FVE - Varianta 2 67
6.2.4 Návratnost investic - Varianta 2 68
6.2.5 Cena FVE - Varianta 3 70
6.2.6 Návratnost investic - Varianta 3 71
6.2.7 Cena FVE - Varianta 4 73
6.2.8 Návratnost Investic - Varianta 4 74
6.3 ZÁVĚR FINANČNÍHO OHODNOCENÍ VARIANT 76

7 POROVNÁNÍ NEJVÝHODNĚJŠÍ VARIANTY FVE S VARIANTOU NAPÁJENÍ ZE SÍTĚ 77

ZÁVĚR 79

SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ 81

PŘÍLOHY 85

Seznam symbolů a zkratek

NP	Nadzemní podlaží
NT	Nízký tarif
PP	Podzemní podlaží
AC	Střídavý (napětí, proud)
ČSN	Česká státní norma
DC	Stejnosměrný (napětí, proud)
ERÚ	Energetický regulační úřad
EVA	Ethylen-vinyl acetát
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
FVS	Fotovoltaický systém
LiFePO4	Lithium-železo-fosfátový akumulátor
NZÚ	Nová zelená úsporám
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
PVC	PolyVinylChlorid
TDD	Typový denní diagram
TUV	Teplá užitková voda
VT	Vysoký tarif

Úvod

Náklady za energie na provoz domácnosti stojí nemalé peníze, není tedy divu, že mnozí lidé touží po energetické soběstačnosti nebo alespoň po značné úspoře. Takovou možnost jim nabízí obnovitelné zdroje energie, které využívají energii ze slunce, větru, vody atd.

To je důvod, proč jsem si vybral zadání této diplomové práce, abych mohl prozkoumal a zhodnotil různé varianty výroby, úspory elektřiny a tepla pomocí OZE.

Ve své diplomové práci se chci zaměřit na výrobu energie a tepla pomocí fotovoltaické elektrárny s různými režimy využívání a ukládání energie. Zaměřím se i na novinku na českém trhu, tzv. virtuální baterii, kterou porovnám s fyzickou baterií a objasním jak tato novinka funguje a zda se vyplatí. Dále chci porovnat jednotlivé varianty mezi sebou a určit, která se nejvíce hodí pro posuzovaný rodinný dům v Plzni.

1 Fotovoltaické články

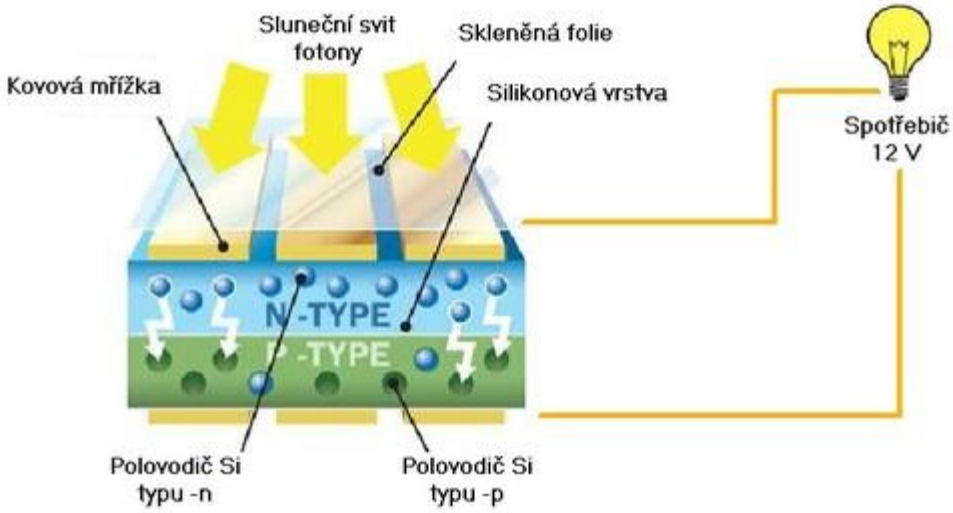
1.1 Historie fotovoltaiky

Jako první objevil fotovoltaický jev v roce 1839 francouzský fyzik Alexander Bequerel, při pokusu s elektrodami ponořenými do elektrolytu, u nichž si všiml, že při dopadu slunečního světla na jejich povrch, vzniká slabý elektrický proud.

Ve výzkumu fotovoltaického jevu pokračovali další výzkumníci, ale až v roce 1905 se Albertu Ensteinovi podařilo popsat fyzikální princip tohoto jevu. [1]

1.2 Princip fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek pracuje na principu polovodičové diody. Jeho základ tvoří křemíková destička vodivostí typu P, na této destičce se vytvoří tenká vrstva polovodiče typu N, čímž vznikne PN přechod. Při osvětlení článku se v polovodiči vytvoří vnitřní fotoelektrický jev a z jeho krystalové mřížky se začnou uvolňovat záporné elektrony. Díky tomu na PN přechodu vznikne elektrické napětí, která dosahuje u křemíkových FV článků hodnoty 0,6 – 0,7 V. Světlo dopadající na FV článek se tímto způsobem mění na elektrickou energii. Když k článku připojíme vodiče a na ně spotřebič, začnou se kladné a záporné náboje vyrovnávat a obvodem poteče proud viz Obr.1.1. V případě, že potřebujeme vyšší napětí nebo proud, zapojují se články sériově, či paralelně. Sérioparalelní kombinací článků vznikají FV panely. [1], [3]



Obr. 1.1 Princip funkce FV článku [3]

1.3 První generace fotovoltaických článků

Jsou to články vyráběné z destiček monokrystalického křemíku, jejichž základem je velkoplošný PN přechod. Tento druh článků má dobrou účinnost a stabilitu výkonu, proto jsou v současné době stále nejvíce používané, především pro velké instalace. Nevýhodou je vyšší cena a náročnost výroby. Jejich účinnost je 16 - 19 %, speciální články dosahují účinnosti až 24 %. [1], [5]

1.3.1 Monokrystalické články

Jsou tvořeny z jednoho krystalu, mají čtvercový tvar se zaoblenými rohy. Vyrábí se pomocí Czochralského metody, kdy se zárodek krystalu získává pomalým tažením z taveniny a následně se pomocí speciální pily řeže na tenké plátky o tloušťce 0,25 až 0,35 mm. Tyto destičky jsou již dotovány příměsí typu P a na ně se napařuje tenká vrstva, která je dotována difuzí fosforu s vodivostí N. Aby byl článek kompletní, musí se umístit zadní kontaktní vrstva, kontaktní palce a antireflexní vrstva, která pomáhá pohlcovat dopadající světlo. Tato metoda výroby je poměrně náročná a nákladná. [1]

1.4 Druhá generace fotovoltaických článků

Druhá generace se vyznačuje snahou snížit výrobní cenu článků tím, že se při výrobě spotřebuje méně křemíkového materiálu, tak vznikly tenkovrstvé FV články. Tyto články se vyznačují stokrát až tisíckrát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou. Nejběžnější zástupci jsou články z polykrystalického, mikrokrystalického, či amorfního křemíku. Jejich nevýhodou je nízká účinnost a menší stabilita, která postupem času ještě klesá. Hlavní výhodou tenkovrstvých článků je jejich pružnost a ohebnost, je možné je nalepit přímo na povrch objektu. Účinnost se pohybuje kolem 10,2 %. [5], [6]

1.4.1 Polykrystalické křemíkové články

Skládají se z více krystalů, mají modrou barvu s třpytící se krystalickou strukutrou. Zhotovují se ve čtvercovém provedení a jsou oproti monokrystalickým jednodušší a levnější na výrobu. Vyrábějí se metodou blokového lití, kdy se křemík ve vakuu zahřeje na teplotu 1 500 °C a následně se v grafitovém kelímku kontrolovaně ochlazuje, tím vzniknou polykrystalické bloky se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem. Z těchto bloků se řežou tyče a pak jednotlivé destičky. Tyto články mají o něco menší proud a účinnost, než monokrystalické, kvůli většímu odporu na styku jednotlivých krystalických zrn. Účinnost se pohybuje okolo 14,5 %. [1]

1.4.2 Amorfní křemíkové články

Velkou výhodou článků z amorfního křemíku je to, že oproti dvěma výše uvedeným typům se při výrobě spotřebuje mnohem méně materiálu, díky tomu jsou levnější. Výroba probíhá pomocí rozkladu sloučenin křemíku ve vodíkové atmosféře při teplotách 200 °C. Touto metodou lze vytvořit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, nerezové nebo plastové podložky. Amorfní křemík nemá pravidelnou krystalickou strukturu, ale neuspořádanou síť. Takto lze vyrábět velmi tenké a ohebné články a panely. Nevýhodou je, že podléhají rychlému procesu stárnutí vlivem světla. Účinnost bývá 10,2 %. [1]

1.4.3 Mikrokrystalické křemíkové články

Jedná se o kombinaci mikrokrystalického a amorfního křemíku v tandemových článcích. Postup výroby je obdobný jako u amorfních článků se silanem, kdy se v plazmě při teplotě 200 °C vytvoří na povrchu tenký film mykrokrystalické struktury o tloušťce cca 0,3 μm. Při změně odlučovacích parametrů plazmy (teplota tlak a mikrovlnná frekvence) následně vznikne na straně odvrácené od skla mikrokrystalická struktura o tloušťce 0,25 μm. [1]

1.4.4 Články CIS

Tyto články, jak už název napovídá, jsou vyrobeny z dvojselenidu medi-india (CuInSe). V současné době tato technika výroby dosahuje nejvyšších účinností v kategorii tenkovrstvých technologii. Pro výrobu se používá vakuová komora, v níž se při teplotě okolo 500 °C potahuje nosné sklo tenkou kontaktní vrstvou, na kterou se nanese absorbční vrstva CIS. Tyto články, na rozdíl od amorfních nepodléhají procesu stárnutí způsobené světlem, navíc mají dobrou stabilitu ve vlhku a při zvýšené teplotě. [1]

1.5 Třetí generace fotovoltaických článků

Jako třetí generace se ozančují systémy, které používají separaci nábojů jinými metodami, než pomocí PN přechodu a také jiných materiálů, než polovodiče. Jedná se například o fotogalvanické či polymerní články. Uplatňují se zde i nanostruktury v podobě uhlíkových nanotrubiček nebo nanotyčinek. Výhodou těchto struktur je možnost optimalizace optických a elektrických vlastností. Nevýhodou je nízká účinnost a malá stabilita vlastní účinnosti. [5], [6]

1.6 Čtvrtá generace fotovoltaických článků

Jedná se o články složené z více vrstev, které jsou schopné efektivně využít širokou část slunečního spektra. Princip funkce je takový, že každá vrstva dokáže využít světlo o určité vlnové délce a záření. Jednotlivé vrstvy jsou seřazeny tak, aby v případě, kdy jedna z nich nedokáže absorbované světlo využít, jej propustila hlouběji, kde se nachází vrstva, která ho využije. Cílem je maximalizovat počet absorbovaných fotonů a a využití energie. [5], [6]

2 Fotovoltaické systémy pro rodinné domy

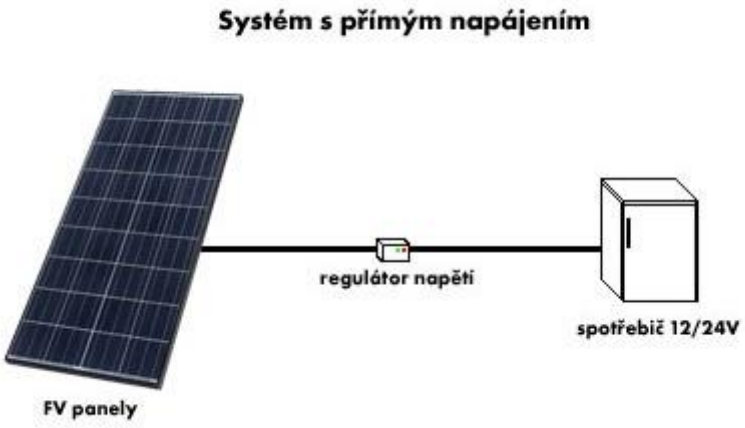
Fotovoltaické systémy představují pro rodinný dům možnou úsporu, částečnou energetickou nezávislost a ekologický zdroj elektřiny. U některých typů objektů, jako jsou zahradní domky, chaty a chalupy, jsou hlavním zdrojem energie. Jedná se o tzv. ostrovní systémy (grid-off) bez připojení k distribuční síti. Pro běžné rodinné domy se převážně používají systémy s připojením k síti (grid-connected).

2.1 Ostrovní systémy (Grid-off)

2.1.1 Systém s přímým napájením

Jedná se o nejjednodušší systém, jak už název napovídá funguje tak, že vyrobená energie z FV panelů putuje přes vodiče a regulátor napětí přímo do spotřebiče, kde je tato energie okamžitě využita. Tento systém není připojen k elektrické síti, proto při nízké intenzitě světla nebo v noci nedodává energii. V takovémto provedení se používá většinou pro jednodušší zařízení například pro ohřev TUV, napájení vodních čerpadel, nabíjení baterií malých přístrojů, napájení pohonů slunečních clon a podobně. [7]

Hlavní komponenty systému: FV panely, regulátor napětí



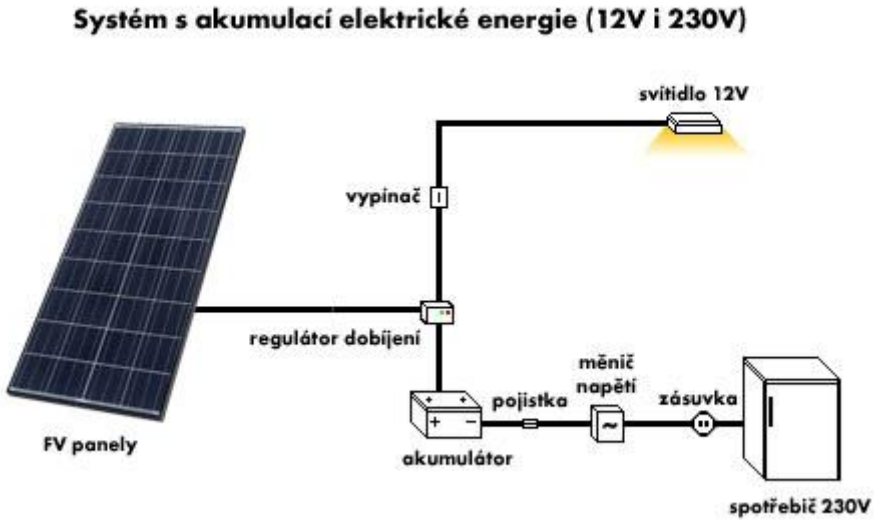
Obr. 1.2 Schéma FVS s přímým napájením [7]

2.1.2 Systém s akumulací elektrické energie

Jde o stejný typ systému jako výše uvedený, avšak tento je navíc vybaven akumulátorem, pro uchování energie, kterou spotřebič nestačil spotřebovat. Díky tomu je možné uloženou energii využít v době kdy je nízká intenzita světla nebo noc. Toto řešení

je vhodné pro odlehlé lokality bez elektrické přípojky (chaty a chalupy), napájení dopravní signalizace a podobně. Systém zvládne napájet spotřebiče na stejnosměrné napětí (obvykle 12 a 24 V) a po přidání střídače i běžné síťové spotřebiče na 230 V/~50 Hz. [7]

Hlavní komponenty systému: FV panely, regulátor dobíjení baterie, pojistka, měnič napětí

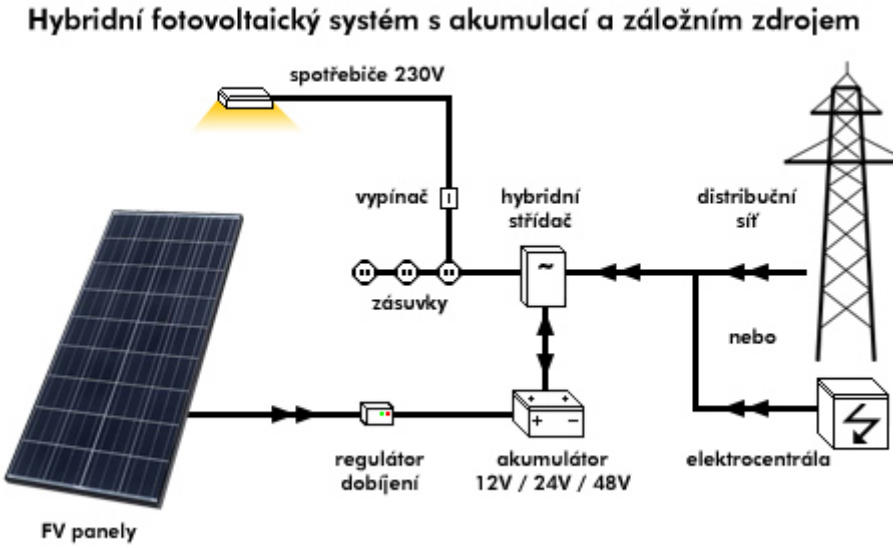


Obr. 1.3 Schéma FVS s akumulací elektrické energie [7]

2.1.3 Hybridní ostrovní systém

Tento systém se od předchozího liší jen tím, že je navíc připojen k elektrocentrále, nebo k distribuční síti a v případě nedostatku energie v akumulátoru, se nenergie odebírá ze zdroje pro který je FVE navržena. Toto řešení je vhodné pro objekty s celoročním provozem, v případě nedostatku energie v baterii, systém automaticky přepne na odběr ze záložního zdroje. Hlavní výhoda spočívá v tom, že vhodnou konfigurací systému, lze využít 100 % vyrobené energie z FV panelů pro vlastní spotřebu. Další výhodou je možnost kombinace systému s ohřevem teplé užitkové vody v bojleru. [8]

Hlavní komponenty systému: FV panely, střídač, regulátor dobíjení baterie, akumulátor



Obr. 1.4 Hybridní FVS s akumulací a záložním zdrojem [8]

2.2 Síťové systémy (Grid-connected)

Tyto systémy jsou podobné výše zmiňovaným stím rozdílem, že jsou připojeny k distribuční síti. Nejčastěji jsou uplatňovány v lokalitách s hustou sítí elektrických rozvodů a instalují se jak na rodinné domy, tak i na průmyslové objekty. To znamená že objekt využívá svou vyrobenou energii a při nedostatku ji odeírá z baterií (pokud je má) nebo přímo ze sítě.

Pro připojení FVE k distribuční síti je nutný souhlas provozovatele sítě. Energie, kterou FV panely vyrobí může být rovnou spotřebována, nebo ukládána do baterií, nebo jí lze ohřívat TUV. Přebytky energie, z letních měsíců, lze dodávat do distribuční sítě.

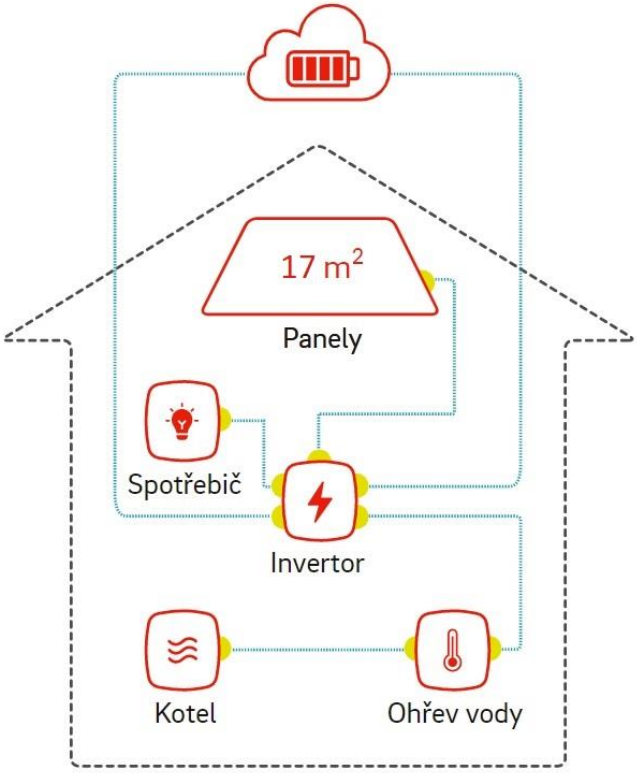
Systém grid-connected může být:

1) Bez akumulace energie - jde vlastně jen o FVE pro pokrytí vlastní spotřeby, která se skládá z FV panelů, střídače a elektroměru.

2) S akumulací do baterií nebo TUV – tento systém také slouží k pokrytí vlastní spotřeby, ale je navíc vybaven baterií nebo možností nadbytečnou energií ohřívat TUV. Skládá se z FV panelů, střídače, regulátoru nabíjení baterie, baterie nebo bojleru pro FV ohřev vody (lze i obojí), elektroměru. [6]

2.2.1 Systém s virtuální baterií (Net metering)

Jedná se o systém, kde se přebytky energií primárně neukládají do ohřevu vody nebo baterií, ale posílají se distributorovi do sítě, kde se energie „ukládá“, respektive distributor zaznamenává její množství a později v čase potřeby umožňuje majiteli FVE „uloženou“ energii zpětně odebrat. Avšak tato služba není zdarma, majitel FVE platí distributorovi měsíční poplatek za množství energie, které si u něj chce „ukládat“ a následně poplatky za distribuci, při zpětném odběru. Podrobné vysvětlení na jakém principu tato novinka funguje bude uvedeno v následujících kapitolách. [9]



Obr. 1.5 Schéma FVE s virtuální baterií [9]

2.3 Popis komponentů FV systému

2.3.1 Fotovoltaické panely

FV panely jsou tvořeny sério-paralelním zapojením jednotlivých FV článků, jejich spojením vznikne FV panel. Výkon panelů je udáván v jednotkách Watt peak (Wp), jedná se o maximální (špičkovou) hodnotu výkonu při ideálních podmínkách jaké jsou: kolmo dopadající sluneční záření, žádné stínění, ideální teplota a čistý povrch panelů. Během polojasného počasí klesá výkon zhruba na 35 % a při zatažené obloze dokonce až na 10 % udávaného maximálního výkonu. [1], [10]

Panely jsou vsazeny do ochranného hliníkového nebo duralového rámu a přední část je krytá speciálním tvrzeným sklem, které panel chrání před povětrnostními podmínkami. Dalším ochranným prvkem je světlopropustný gel Ethylen-vinyl acetát (EVA), ten chrání články proti mechanickému poškození a je umístěn mezi články a ochranným sklem. Zadní část je vystužena laminátovou deskou. Životnost panelů se udává okolo 30 let, avšak už po 25 letech dochází k poklesu účinnosti na 80 % z původní účinnosti. [10], [11]

Umístění panelů na sedlovou střechu rodinného domu je možné provést několika způsoby:

1) Nad střechou – Panely se umístí na mřížovou konstrukci z hliníkových lišt, která je nasazena na střešní háky namontované na trámech střechy. Tato metoda se používá nejčastěji, protože je levná a umožňuje dodatečné rozšiřování FVE. [1]

2) Ve střeše – Část střešní krytiny je odstraněna a nahrazena FV panely, aby panely byly zároveň s okolní střešní krytinou. Okolí panelů je třeba důkladně zaizolovat a utěsnit, aby střecha nadále plnila svojí funkci, proto je cena této metody vyšší. Výhodou je, že FV panely a konstrukční prvky jsou lépe chráněny proti větru a vlhkosti. Toto řešení je pro mnohé investory estetičtější, avšak nevýhodou je, že zadní stěny FV panelů jsou hůře odvětrávány při vyšších teplotách (v létě), což způsobí nižší energetické výnosy celé FVE. Další možná řešení integrované do střechy je: střecha tvořená z FV panelů, taškové střechy s integrovanými solárními deskami, solární tašky atd. [1]

2.3.2 Přívodní kabely

Elektrická připojovací vedení a vedení k připojovací skříni generátoru, či střídači se provádí odděleným uložením kladného a záporného vedení s dvojitou izolací, to zabraňuje případným zkratům mezi sebou či zemí. Používají se jednožilové kabely tzv. solární kabely, které se vyznačují odolností proti UV záření a povětrnostním vlivům v širokém teplotním rozsahu (např. -55 °C – 125 °C). Vedení se zpravidla umisťují na konstrukci a mají být pokud možno ve stínu. Dále je nutné vyvarovat se kontaktu s hranami, které můžou způsobit mechanické poškození.

Hlavní vedení stejnosměrného proudu propojuje připojovací skříň FVE se střídačem. Z finančních důvodů se často používají obyčejné kabely z PVC izolací s označením NYM nebo NYY. Délka vedení by měla být co nejkratší kvůli ztrátám, průřezy vodičů je nutné

dimenzovat tak, aby při jmenovitém provozním výkonu byla dodržena ztráta ve stejnosměrném vedení 1 %. U dlouhých, nebo široce rozvětvených vedení by ztráta neměla překročit 2 %. Obvykle se používá průřez 4 mm^2 , které je na Obr. 2.1.

Připojovací vedení střídavého proudu se propojuje přes elektroměr a ochranná zařízení s rozvodnou sítí. Připojení na nízkonapěťovou síť (230V) se u jednofázových střídačů provádí třípólovým vedením, u třífázových střídačů (400V) pětipólovým vedením (kabely typu NYM, NYY nebo NYCW) [1]

Obr. 2.1 Solární jednožilový kabel pro FV systémy průměr 4 mm^2 [12]

2.3.3 Střídač

Střídač (měnič či invertor) převádí stejnosměrné napětí z FV panelů na střídavé napětí, pro běžné síťové spotřebiče, na 230 V a 50 Hz, používané uvnitř objektu. Dnešní moderní střídače zpravidla obsahují MPP tracker. [13]

Hybridní střídače dokáží kombinovat energii z více zdrojů, například ze sítě a baterií, nebo z generátoru a z baterií. Také jsou vybaveny regulátory nabíjení baterií z FV panelů nebo ze sítě. [13]

2.3.4 MPPT

MPPT (Maximum Power Point Tracker) je sledovač bodu maximálního výkonu je v podstatě malý počítač obsahující potřebný software, který zvyšuje výnos energie z FV panelů tím, že zajišťuje jejich optimální chod v blízkosti bodu maxmálního výkonu. [14]

2.3.5 Akumulátory

Pro akumulaci energie je nutné zvolit správnou velikost a typ baterie, který je určen pro FV systémy. Cena baterie tvoří téměř polovinu hodnoty FVE, proto je potřeba brát zřetel na kvalitu provedení a délku životnosti. Doba životnost baterie se udává počtem nabíjecích

cyklů. Dalším velice důležitým údajem je hloubka vybití akumulátoru, je to hodnota v procentech, která udává, jak hluboko lze baterii vybít, aniž by došlo k jejímu poškození. Pro fotovoltaické systémy se běžně používají olověné, alkalické a lithium-iontové akumulátory. Volba vhodného akumulátoru závisí na typu a velikosti instalovaného výkonu FVE. [2]

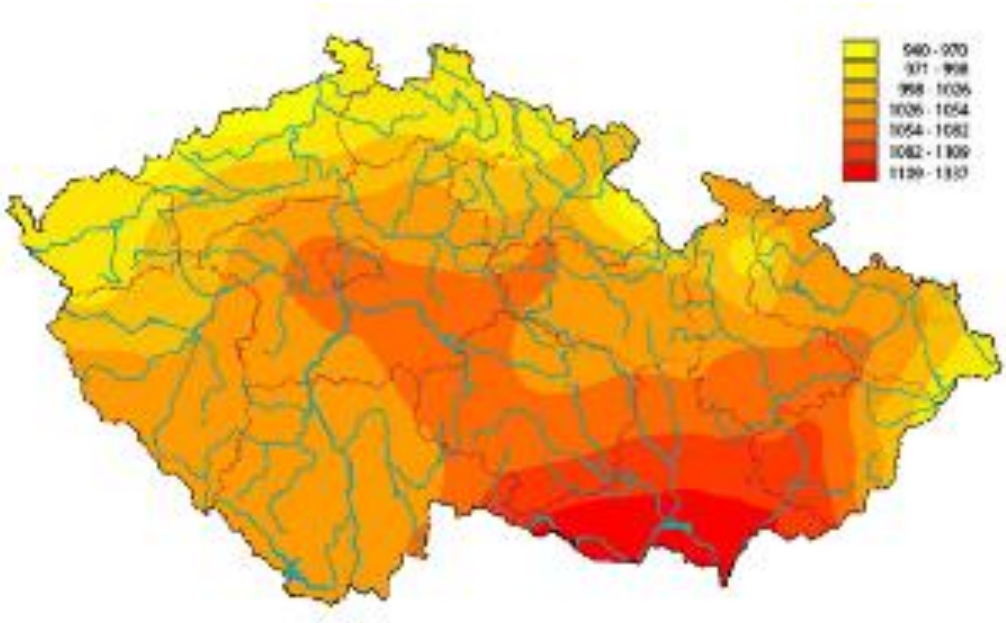
2.3.6 Akumulace do TUV

Jedná se o možnost, jak nepřímo uskladnit elektrickou energii. Přebytečná energie, která se nestačí spotřebovat v rámci primární spotřeby domácnosti, je automaticky přesměrována do tepelného zásobníku (bojleru). Zde se pomocí odporové spirály mění elektrická energie na tepelnou a je akumulována v podobě teplé užitkové vody (TUV). Výhodou tohoto řešení je maximální využití vyrobené energie, která tak nemusí skončit v distribuční síti. [15]

3 Podmínky pro využití FV systémů v ČR

Na celkové množství dopadající sluneční energie ovlivňuje především zeměpisná poloha, orientace a sklon fotovoltaického systému ke slunci, celková doba slunečního svitu, nadmořská výška a samozřejmě čistota ovzduší.

Podmínky pro využití slunečního záření jsou na území České republiky dobré, celková doba slunečního svitu, bez oblačnosti, je od 1 400 – 1 700 hodin ročně. Vhodné místo pro využití solární energie zobrazuje mapa globálního slunečního záření Obr. 3.1, jenž vychází z dlouhodobého meteorologického měření. Na území České republiky dopadá na $1m^2$ přibližně 950 – 1340 kWh sluneční energie, přičemž hlavní část (cca 75 %) v letním období. [17]



Obr. 3.1 Roční úhrn globálního slunečního záření v ČR [kWh/m2] [17]

Informace o ročním úhrnu globálního slunečního záření je velmi důležitý údaj, který slouží pro návrh FVE z něhož se počítají bilance výnosů energií a návratnost investic. [17]

Pro podmínky v České republice je ideální orientace FV panelů směrem na Jih se sklonem 35 °C.

3.1 Podpora fotovoltaických elektráren

3.1.1 Přímý výkup elektřiny a zelený bonus

Zelený bonus je jednou z forem státní podpory pro výrobu elektřiny z OZE. Tato podpora je určena výrobcům elektřiny z OZE, kteří jí využívají pro vlastní spotřebu například v rodinném domě a případné přebytky posílají do sítě. U této varianty si vlastník elektrárny musí svého odběratele zajistit sám a dohodnout se na prodejní ceně. V tomto případě není výše ceny stanovena Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Systém zelených bonusů je zakotven v zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Hodnota zeleného bonusu v Kč/MWh je pro každý druh OZE každým rokem upravována a uváděna v cenovém rozhodnutí ERÚ. [18], [19]

Další možností podpory je výkup vyrobené elektřiny z OZE za garantované výkupní ceny. V tomto případě má provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy povinnost veškerou vyrobenou elektřinu od majitele elektrárny odkoupit.

Výhodou podpory zelených bonusů je možnost přímo ovlivnit výši výnosů za vyrobenou elektřinu, a dosáhnout vyššího výnosu, než v případě režimu výkupních cen. Nevýhoda systému zelených bonusů je ta, že není zaručen stoprocentní odbyt vyrobené elektřiny na trhu.

Přecházet ze systému zelených bonusů do systému výkupních cen a naopak lze jednou ročně, termíny a podrobnosti výběru způsobu podpory elektřiny z OZE stanovuje vyhláška ERÚ. [18], [19]

3.1.2 Nová zelená úsporám – podpora pro rodinné domy

Nová zelená úsporám je program Ministerstva životního prostředí administrovaný státním fondem životního prostředí ČR., zaměřuje se na úspory energií v rodinných a bytových domech. Cílem tohoto programu je zelpšit stav životního prostředí snížením produkce emisí znečišťujících látek a skleníkových plynů (CO_2). [20]

„Oblasti podpory:

A. *Snižování energetické náročnosti rodinných domů (zateplování obálky budovy – výměnou oken a dveří, zateplením obvodových stěn, střechy, stropu, podlahy)*

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

C. *Efektivní využití zdrojů energie (výměna původního hlavního zdroje na tuhá fosilní paliva nedosahujících 3. emisní třídy za efektivní ekologicky šetrné zdroje; výměna elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem; výměna plynového vytápění za systém s plynovým tepelným čerpadlem nebo za jednotku kombinované výroby elektřiny a tepla využívající jako palivo zemní plyn; instalace solárních termických a fotovoltaických systémů; instalace nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu)“ [22]*

Podoblast podpory	***Typ systému***	***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	*FV systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem*	*35 000*
C.3.4	*FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 kWh·rok^{-1}*	*55 000*
C.3.5	*FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 kWh·rok^{-1}*	*70 000*
C.3.6	*FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 3 000 kWh·rok^{-1}*	*100 000*
C.3.7	*FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 4 000 kWh·rok^{-1}*	*150 000*
C.3.8	*FV systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem*	*150 000*

Tab. 3.1 Podporované typy solárních systémů [21]

V níže uvedených tabulkách jsou uvedeny konkrétní podmínky pro uznávání dotací. Převážně se jedná o omezení minimem vyrobené energie z FVE a dostatečně navržené velikosti akumulačního zařízení.

Sledovaný parametr	***Označení [Jednotky]***	***C.3.3***
Minimální pokrytí potřeby tepla na přípravu teplé vody	*[%]*	*50*
Minimální měrný objem akumulačního zásobníku tepla vztažený k instalovanému výkonu solárního systému	*[l·kWp^{-1}]*	*≥ 80*

Tab. 3.2 Požadavky na solární FV systémy v podoblasti C.3.3 [22]

Sledovaný parametr	***Označení [Jednotky]***	***C.3.4***	***C.3.5***	***C.3.6***	***C.3.7***	***C.3.8***
Celkový využitelný zisk	$Q_{FV.u}$ *[kWh.rok^{-1}]*	*≥ 1 700*	*≥ 1 700*	*≥ 3 000*	*≥ 4 000*	*≥ 3 000 (1f)* *≥ 4 000 (3f)*
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	*[%]*	*70*	*70*	*70*	*70*	*70*
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	*Povinná*	*Možná*	*Možná*	*Možná*	*Povinná*
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulační nádrže	*[l·kWp^{-1}]*	*80 1)*	-	-	-	*180 2)*
Akumulace přebytků energie do elektrických akumulátorů	-	*Možná*	*Povinná*	*Povinná*	*Povinná*	*Možná*
Minimální měrná kapacita akumulátorů	*[kWh·kWp^{-1}]*	-	*1,75/1,25*	*1,75/1,25*	*1,75/1,25*	-
Poznámka *1) popř. minimálně 120 litrů celkem, viz podmínka pro podoblast podpory C.3.4 v článku 2.4.2.3*						
2) viz detailní podmínky pro podoblast podpory C.3.8 v článku 2.4.2.3						

Tab.3.3 Požadavky na solární FV systémy v podoblasti C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 a C.3.8: [22]

„Podmínky podoblastí podpory C.3.4, C.3.5, C.3.6, C.3.7 a C.3.8 – FVS provozované s distribuční soustavou:

- *Maximální instalovaný výkon systému nesmí být vyšší než 10 kWp.*
- *Podpora se poskytuje pouze na nové systémy propojené s distribuční soustavou.*
- *Systém musí být umístěn na stavbě evidované v katastru nemovitostí, popř. jiné stávající stavbě umístěné na pozemku náležícím k řešenému rodinnému domu.*
- *Systém musí být vybaven měničem s minimální účinností 94 % (Euro účinnost) a technologií pro sledování bodu maximálního výkonu s minimální účinností přizpůsobení 98 %. U měničů určených k přeměně stejnosměrného napětí z elektrických akumulátorů na střídavé napětí používané ve vnitřních rozvodech – tzv. „hybridní měniče“, se připouští minimální účinnost 92 % (Euro účinnost).*
- *Minimální účinnost (vztažena k celkové ploše fotovoltaického modulu) při standardních testovacích podmínkách (STC 2)) je:*
  – 15 % pro panely a moduly složené z mono- a polykrystalických článků;
  – 10 % pro panely a moduly složené z tenkovrstvých amorfních článků;
  – Bez požadavku pro fotovoltaické střešní krytiny a fasádní systémy a jiné než plošné kolektory (např. trubicové.
- *Účinnosti fotovoltaických modulů, střídačů a technologie sledování bodu maximálního výkonu (MPPT) deklarované výrobci je možno pro účel srovnání s požadavky Programu matematicky zaokrouhlit na celá procenta. Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu NZÚ RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádostí*
- *Verze 1.3 RD / 3. výzva / aktualizace 13. 9. 2018 / účinné od 15. 10. 2018*
- *Pro účely porovnání s podmínkami Programu je uvažována jmenovitá kapacita baterií deklarovaná výrobcem (neuvažuje se snížení vlivem vybíjecích cyklů). V návrhu projektu musí být zohledněna výrobcem doporučovaná maximální hloubka vybíjení akumulátorů, aby byla zajištěna jejich dlouhodobá životnost a udržitelnost projektu.*
- *Není dovoleno použití olověných startovacích akumulátorů a Ni-Cd akumulátorů.*
- *Míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby musí být alespoň 70 % z celkového teoretického zisku systému. Celkový teoretický zisk ze systému zohledňuje klimatická data, parametry fotovoltaických modulů vč. orientace ke světovým stranám, ztráty v rozvodech, parametry měniče a dalších komponent systému a stanoví se přesným výpočtem nebo zjednodušeně ze špičkového instalovaného výkonu jako: $Q_{FV,celk}$ [kWh·rok-1] = P_{inst} [kWp]· 1000.*
- *Špičkový instalovaný výkon fotovoltaického systému se udává zaokrouhlený na setiny kWp směrem dolů.*
- *Systém musí zajistit automatické řízení systému v závislosti na aktuální výrobě a spotřebě elektrické energie s prioritním využitím pro krytí okamžité spotřeby elektrické energie (zařízení pro optimalizaci vlastní spotřeby vyrobené elektrické energie) a akumulaci přebytků energie.*
- *Systémy v podoblasti podpory C.3.4 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě tepelné energie. Minimální měrný objem instalovaného zásobníku teplé vody nebo akumulační nádrže je 80 l·kWp-1 instalovaného výkonu. Do objemu se nezapočítává objem zásobníku nebo akumulační nádrže, který je zároveň ohříván prostřednictvím termického solárního systému. Pokud je výpočtem potřeby teplé vody a objemu vody potřebného pro akumulaci přebytků elektrické energie doloženo,*

že pro splnění ostatních podmínek postačuje objem nižší, lze navrhnout objem nádrže vyhovující tomuto výpočtu, minimálně však 120 litrů.

- *Systémy v podoblastech podpory C.3.5, C.3.6 a C.3.7 musí umožnit akumulaci přebytků energie ve formě elektřiny. Minimální měrná kapacita akumulátoru je 1,75 kWh·kWp-1 instalovaného výkonu. Jsou-li v systému použity akumulátory využívající moderních technologií umožňující využít vysoký počet hlubokých vybíjecích cyklů bez výrazné ztráty kapacity, lze uvažovat se sníženým požadavkem na minimální měrnou kapacitu akumulátorů, nejméně však 1,25 kWh/kWp. Za tyto technologie jsou považovány zejména akumulátory na bázi lithia (Li-Ion, LiFePO4, LiFeYPO). Snížený požadavek nelze uplatnit pro akumulátory na bázi olova (vč. gelových, AGM a trakčních), Ni-MH, Ni-Fe. 16*

Poznámka:

1) a 2) Sluneční ozáření 1000 $W.m^{-2}$, teplota FV článků 25 °C, spektrum záření podle AM = 1,5. Bližší informace viz ČSN EN 61215, ČSN EN 50380, ČSN CLC/TS 61836.

Verze 1.3 RD / 3. výzva / aktualizace 13. 9. 2018 / účinné od 15. 10. 2018“ [22]

4 Energetická bilance rodinného domu

4.1 Popis objektu

Posuzovaným objektem je rodinný dům, nacházející se v Plzni 2 Slovany, nedaleko Koterova. Objekt byl postaven a zkolaudován jako dvojdomek v roce 1928 a přiléhá k sousednímu domu svojí severovýchodní stěnou (Obr. 4.2 a 4.3), avšak oba objekty jsou zcela odděleny, sdílejí pouze tuto společnou stěnu. V roce 1986 prošel dům úpravou, v podobě dostavění přístavku. Ten se skládá z 1.PP - Garáž a části 1.NP, ve kterém se nachází ložnice, koupelna a WC. Přístavek má plochou střechu se sklonem 5 % pokrytou plechem, která slouží jako balkón, dále je tepelně izolován pouze 100 mm přizdívkou. Hlavní část objektu není zateplena a má pouze starší plastová okna. V okolí domu se nevyskytují žádné vysoké objekty či stromy, které by jej převyšovaly a tím vrhaly stín na střechu s uvažovanými FV panely. Střecha je polovalbového typu podle výpočtu se strmostí 43 ° a orientací na jihovýchod, což představuje pro FV panely ideální kombinaci. Plocha jihovýchodní části střechy je S = 37,64 m^2 , avšak po odečtení plochy vikýře, zkosení vrcholku střechy a komínu, je využitelná plocha pro FV panely S = 34,45 m^2. Jelikož je potřeba dodržovat mezi panely rozestupy cca 0,2 m a vzhledem k překážkám na střeše (komín, vikýř) lze na střechu umístit maximálně třináct FV panelů.

Posuzovaný objekt má tři podlaží 1.PP - garáž, 1.NP - hlavní obytné prostory a 2.NP - podkrovní pokoj. Hlavní objekt je postaven z klasických plných pálených cihel, zatímco přístavek je z vápenco-pískových cihel (VF cihla).

V objektu se používá elektřina ke svícení a napájení elektrických spotřebičů, plyn je využíván k ohřevu TUV a vytápění. Vytápění je ústřední plynové včetně ohřevu TUV. Stávající kotel s průtokovým ohřevem značky DAKON DUA, je zhruba dvacet let starý a má výkon 22 kW a účinnost 93 %. Dům je obýván pouze dvěma osobami.

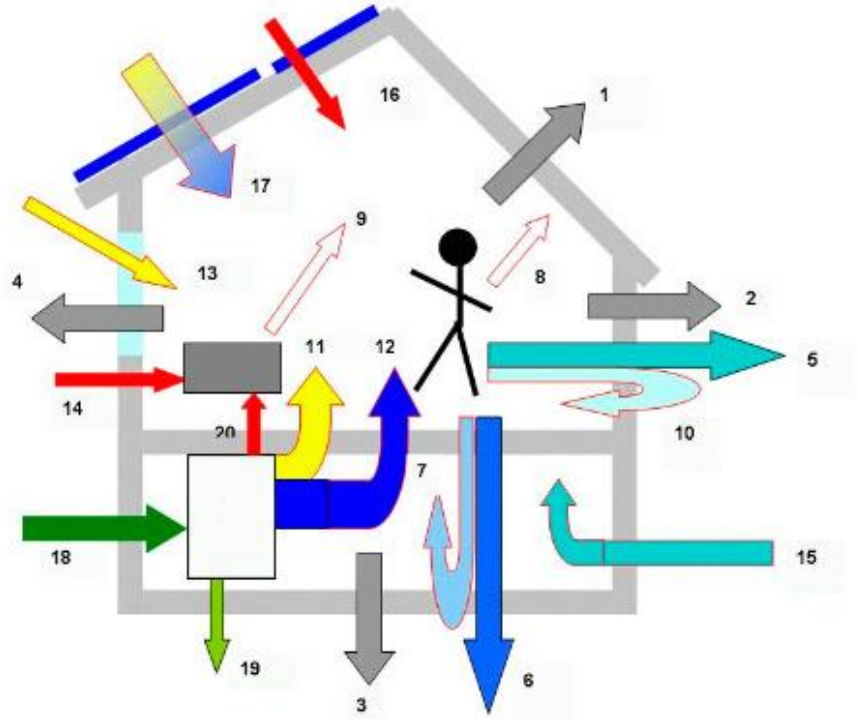
Obr. 4.1 Umístění objektu na katastrální mapě [39]

Obr. 4.2 Pohled z ulice (objekt vlevo), plocha střechy orientována na jihovýchod

Obr. 4.3 Pohled na dům ze zahrady (posuzovaný objekt je vpravo)

4.2 Energetická bilance, ztráty a zisky

Pro správné plánování energetické soběstačnosti je nutné vytvořit energetickou bilanci objektu. V první řadě je třeba sečíst všechny možné ztráty, dále je třeba uvážit, zda je možné konkrétní ztráty snížit a jestli taková opatření budou pro investora ekonomicky výhodná. Z toho důvodu se musí zjistit energetické zisky a míra jejich skutečného využití. Rozdíl mezi zisky a ztrátami je nutno pokrýt z vhodného zdroje. Při vybírání zdroje je důležité zvážit jeho technické parametry a omezení, způsob provozu a spolehlivost v průběhu roku. [23]



Obr.4.4 Grafické znázornění energetických zisků a ztrát [23]

zisky	
7	rekuperace tepla z odpadní vody
8	zisky od osob
9	zisky od spotřebičů
10	rekuperace tepla z odpadního vzduchu
11	dodávka tepla pro vytápění
12	dodávka tepla pro ohřev vody
13	pasivní solární zisky (okna, prosklení)
14	elektřina z vnějšího zdroje (vlastní elektrárna)
14 a	vodní energie
14 b	větrná energie
15	zisk zemního výměníku tepla
16	elektřina z fotovoltaických panelů
17	aktivní solární zisky (kolektory)
18	palivo
19	ztráty ve vlastním zdroji
20	dodávka elektřiny z kogenerace

ztráty	
1	ztráty prostupem střechou
2	ztráty prostupem stěnami
3	ztráty prostupem podlahou
4	ztráty okny a prosklením
5	ztráty větráním
6	teplo pro ohřev vody

ztráty	zisky
	ztráty související s konstrukcí domu
	ztráty související s větráním
	ztráty související s ohřevem vody
	zisky pro vytápění
	zisky pro ohřev vody
	zisky pro větrání
	vnitřní zisky (vytápění i větrání)
	dodávka elektřiny
	dodávka paliva

Obr. 4.5 Legenda grafického znázornění energetických zisků a ztrát [23]

4.3 Tepelné ztráty

Území ČR je rozděleno na čtyři klimatické oblasti, značí se jedna až čtyři, přičemž jedna je klimatická oblast s nejvyšší navrhovanou teplotou a čtyři naopak. Jde o zimní venkovní navrhované teploty, které jsou: -14, -15, -17, -19 °C.

Tepelná ztráta představuje množství tepla, které objekt ztratí za jednu hodinu při průměrné extrémní teplotě v dané lokalitě. Teplo z objektu uniká především okny, dveřmi, zdmi, střechou a větráním.

Metoda pro výpočet celkových tepelných ztrát objektu se nazývá obálková metoda, jde o součet jednotlivých tepelných ztrát konstrukcí, infiltrací a větráním. Velikost tepelných ztrát představuje důležitou informaci při volbě vhodného tepelného zdroje a zateplení. [24], [25]

4.4 Obálková metoda

„Obálkou budovy se rozumí soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu.“ [26]

„Postup výpočtu obálkovou metodou se provádí pomocí:

a) *Klimatických údajů – určení základních údajů:*
   - *Venkovní výpočtová teplota*
   - *Průměrná roční venkovní teplota*

b) *Určení pro každou místnost:*
   - *Stav každého prostoru a určení vnitřní výpočtové teploty pro každou místnost*

c) *Údaje o budově - určení:*
   - *Rozměrové charakteristiky*

- *Tepelné charakteristiky všech stavebních konstrukcí pro všechny vytápěné nebo nevytápěné prostory*

d) Výpočet projektované tepelné ztráty prostupem

e) Výpočet projektované tepelné ztráty větráním

f) Výpočet celkové projektové tepelné ztráty" [3]

4.5 Přehled spotřeby energií

Spotřeba energií v objektu je poměrně nízká, je to dáno tím, že dům je obýván pouze dvěma osobami, které často v objektu nebývají. To je důvod, proč jsou vypočtené hodnoty elektřiny a plynu mnohokrát vyšší, než je reálná spotřeba z faktur. Dalším faktorem je regulace spotřeby. Simulace počítají s průměrnými hodnotami, ale ve skutečnosti se v objektu ve všech místnostech nesvítí a netopí celý den. Z toho důvodu budou pozdější výpočty a simulace vycházet především z naměřených hodnot distributora energií. V opačném případě by bylo výsledkem předimenzované řešení, které by bylo finančně velice nákladné.

Situace s plynem je obdobná, vypočítané hodnoty jsou mnohem vyšší než reálné, avšak díky nim lze zhruba rozlišit spotřebu pro vytápění a ohřev TUV. Z výpočtů bylo určeno, že 89,5 % energie z plynu je spotřebováno pro vytápění objektu a 10,5 % slouží pro ohřev TUV. Tato procenta budou následně aplikována na reálnou spotřebu plynu z faktur. Za rok je spotřebováno 11 809,58 kWh/rok, z toho 89,5 % je 10 569,57 kWh/rok na vytápění objektu a 10,5 % je 1 240 kWh/rok pro ohřev TUV (pro rok 2017 – 2018).

Spotřeba energií z ročního vyúčtování				
	Období	**sazba DPH [%]**	**Celkem s DPH [Kč]**	**Spotřeba [kWh]**
Elektřina	2017 - 2018	21	9 344,01	1 759
Plyn	2017 - 2018	21	18 199,79	11 809,58

Tab. 4.1 Přehled spotřeby elektřiny a plynu v průběhu let 2017 až 2018

4.6 Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB)

PENB lidově nazývaný energetický štítek byl zaveden v roce 2009 zákonem 406/2000 Sb., novela zákona z roku 2012 pak rozšiřuje používání průkazů. Od 1.1. 2013 se předkládá průkaz při prodeji či pronájmu budovy. [27]

Průkaz je několika stránkový hodnotící dokument, jehož forma je definována vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu. Průkaz potvrzuje autorizovaná osoba, tzv. energetický specialista, který je přezkoušen Ministerstvem průmyslu a obchodu, a má pověření pro vystavování těchto průkazů.

Průkaz hodnotí úroveň stávajícího energetického hospodářství objektu a na základě toho zařazuje objekt do třídy na stupnici od A po G, přičemž A je „Mimořádně úsporná“ a G je „Mimořádně nehospodárná“ třída energetické náročnosti. Hodnocení je prováděno s ohledem na potřeby všech energií tzn. vytápění, ohřev TUV, vzduchotechnika, klimatizace, umělé osvětlení a další. [24], [25]

4.6.1 PENB pro rodinný dům

Pomocí profesionálního programu „Energetika“ s licencí na čtrnáct dní zdarma, od společnosti Deksoft, dostupného na www.deksoft.eu, byl vytvořen model daného rodinného domu, podle dat z projektové dokumentace od investora.

Nejprve bylo nutné rozdělit objekt na zóny, podle způsobu užívání viz Tab. 2.2. Dům byl rozdělen na Zónu 1, což je 1.PP - garáž, nacházející se částečně pod úrovní terénu a Zónu 2, to je 1.NP a 2.NP, která představuje obytné části domu. Předpokladem je, že v Zóně 1 se topí jen minimálně, jelikož zde není trvalá přítomnost osob. Poté bylo nutné změřit plochy a objemy jednotlivých Zón, podle projektové dokumentace. Takto naměřené údaje byly dosazeny do programu, včetně dalších parametrů objektu, jako jsou materiály konstrukce, způsob vytápění, osvětlovací soustava, orientace oken, dveře a zdi a mnoho dalšího, což je vidět v Tab. 2.3. Průkaz byl vyhotoven v souladu s platnými normami a projektovou dokumentací.

Po dosazení všech atributů, provedl program porovnání zadaných údajů s tzv. referenční budovou, to je budova stejných rozměrů, jako zadávaná, avšak s vyhovujícími parametry, součinitele prostupu tepla konstrukcí a dalších, dle norem ČSN.

Zóna	Podlaží	Podlahová plocha		Objem	
		Z vnějších rozměrů	Čistá podlahová plocha	Z vnějších rozměrů	Objem vzduchu
Jednotka	[-]	[m^2]	[m^2]	[m^3]	[m^3]
Zóna 1	1.PP-Garáž	30,45	23,5	79,87	51,68
Zóna 2	1.NP+2.NP	145,28	97,46	524,2	259,21

Tab.4.2 Naměřené plochy a objemy rodinného domu

Konstrukce	Orientace	Plocha (A)	Součinitel prostupu tepla (U)	Součinitel prostupu tepla zasklení (U_{gl})	Činitel prostupnosti slunečního záření (g_{gl})	Emisivita povrchu zasklení (ε_{gl})	Podíl plochy rámu (f_F)
Jednotka	[-]	[m^2]	[W/(m^2.K)]	[W/(m^2.K)]	[-]	[-]	[-]
Zóna 1 - nevytápěné místnosti (1.PP - Garáž)							
Obvodová stěna	x	54	1,7	0	0	0	0
Podlaha	x	26,6	3	0	0	0	0
Strop	x	26,6	0,92	0	0	0	0
Střecha	x	26,6	0,24	0	0	0	0
Vrata	JV	4,86	1,7	0	0	0	0
Okna	SZ	1,77	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Okna	JZ	4,88	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Zóna 2 - obytné místnosti (1.NP + 2.NP)							
Obvodová stěna	x	132,16	0,86	0	0	0	0
Podlaha	x	66,31	3	0	0	0	0
Strop	x	59,59	3,17	0	0	0	0
Střecha	x	74,6	0,24	0	0	0	0
Dveře	JZ	2,1	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Okna	SZ	3,13	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Okna	JZ	3,12	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Okna	JV	2,35	1,2	1,1	0,67	0,05	0,3
Okna	SZ střešní	0,78	1,4	1,2	0,67	0,05	0,3
Okna	JV střešní	0,78	1,4	1,2	0,67	0,05	0,3

Tab.4.3 Parametry jednotlivých zón

Z výše uvedených dat a správnou volbou konstrukčních materiálů, z výběru v programu a norem, byl vytvořen výsledný PENB objektu. Program zařadil rodinný dům do kategorie D „Méně úsporná“ více informací v Příloze 1. Tento údaj byl vyhodnocen průměrem z ostatních posuzovaných parametrů, kterými jsou: obálka budovy, vytápění, TUV a osvětlení.

Objekt spadá do této kategorie, protože jeho převážná část je postavena ze stavebních materiálů používaných před druhou světovou válkou (plné pálené cihly).

Pokud by se podobný dům stavěl dnes, byly by použity kvalitnější materiály a tím by objekt spadal do vyšší kategorie. Dalším problémem je, že dům není zateplen a jsou zde použita plastová okna staršího typu. Investor uvažuje o zateplení pláště, střechy a výměně oken, čímž by se dosáhlo menší tepelných ztrát objektu a tím i lepší kategorie v PENB.

Pomocí programu Energetika byly zjištěny tepelné ztráty Zóny 1 a Zóny 2, jejich součtem se určí celková tepelná ztráta objektu rovnice níže:

$$Qc = \phi Hnd_1 + \phi Hnd_2 = 2{,}21 + 16 = 18{,}21\ kW$$

Qc – Tepelná ztráta objektu

ϕHnd – Tepelná ztráta zóny

Pomocí programu byly určeny další ztráty, které jsou vzhledem ke svému rozsahu k dispozici v sekci Příloha 1 na konci diplomové práce. Příloha obsahuje výstupy z programu, kterými jsou přehledné grafy a tabulky tepelných ztrát a zisků posuzovaného objektu. Výsledné teplené ztráty jsou velmi vysoké, jak již bylo výše uvedeno, je to způsobeno nevyhovujícím konstrukčním materiálem a absencí zateplení. Největší vliv na úniky tepla konstrukcí, mají nezateplené střechy obou zón, a také konstrukce přiléhající k zemině.

4.6.2 Požadované množství tepla

Aby bylo možné sestavit diagram zatížení, je nutné znát požadovanou potřebu práce od všech domácích spotřebičů. Následně lze sestavit diagram zatížení pro konkrétní období, například rok.

1) Uvažované zatížení spotřebičů

2) Sestrojení diagramu zatížení podle odběratele se stejnými spotřebiči

3) Informace o hodnotách diagramu z předchozích období

4.6.3 Denostupňová metoda

Denostupňová metoda slouží pro tvorbu diagramu zatížení podle předpokládaného denního zatížení objektu. Vzhledem k tomu že na území ČR panují na různých místech, podle klimatických oblastí, různě nízké teploty v průběhu zimního období, je potřeba vypočítat spotřebu tepla pro konkrétní lokalitu, aby byly výsledky relevantní. Spotřeba tepla se dělí na dvě části, první je pro ohřev teplé vody (TUV) a druhá je pro vytápění objektu.

Jelikož je teplo pro ohřev vody, $Q_{TUV,}$ využíváno po celý rok provozu objektu, lze jeho hodnotu považovat za konstantní po celé období. Tato hodnota se dá určit podle počtu osob obývající objekt. Spotřeba tepla pro TUV je odvozena z naměřených dat a její průměrná hodnota za jeden den je přibližně Q_D = 3kWh/osobu a den. [28]

Celkovou spotřebu lze přibližně stanovit podle rovnice:

$$Q_{TUV} = Q_D \,.\, n.\, T\ [kWh]$$

Q_{TUV} – *Celková spotřeba tepla pro ohřev vody [kWh]*

Q_D – *Potřeba tepla pro osobu na jeden den [kWh]*

n – *Počet osob v objektu [-]*

T – *Počet dnů v období [dny]*

Naproti tomu potřeba tepla, na vytápění objektu, není konstantní. Mění se v jednotlivých dnech v závislosti na tepelném rozdílu mezi vnitřní t_i (Teplota vnitřní) a vnější teplotou t_e (Teplota vnější), při kterém odchází teplo do okolí, v důsledku tepelných ztrát obálky

objektu To je způsobeno nedokonalou izolací či použitým stavebním materiálem. Hodnota maximálních tepelných ztrát vzniká při maximální uvažované roční venkovní teplotě $t_{e\,max}$, která je pro různé lokality jiná. To znamená, že tepelný výkon bude dodáván pouze během otopného období.

Počet denostupňů charakterizovaných příslušnou vnitřní teplotou je dán součinem počtu topných dnů a rozdílu průměrné vnitřní a venkovní teploty. Výpočet se provádí pro každý den ze zadaného období zvlášť.

$$D° = d\,.\,(t_i - t_e)$$

D° - Denostupně

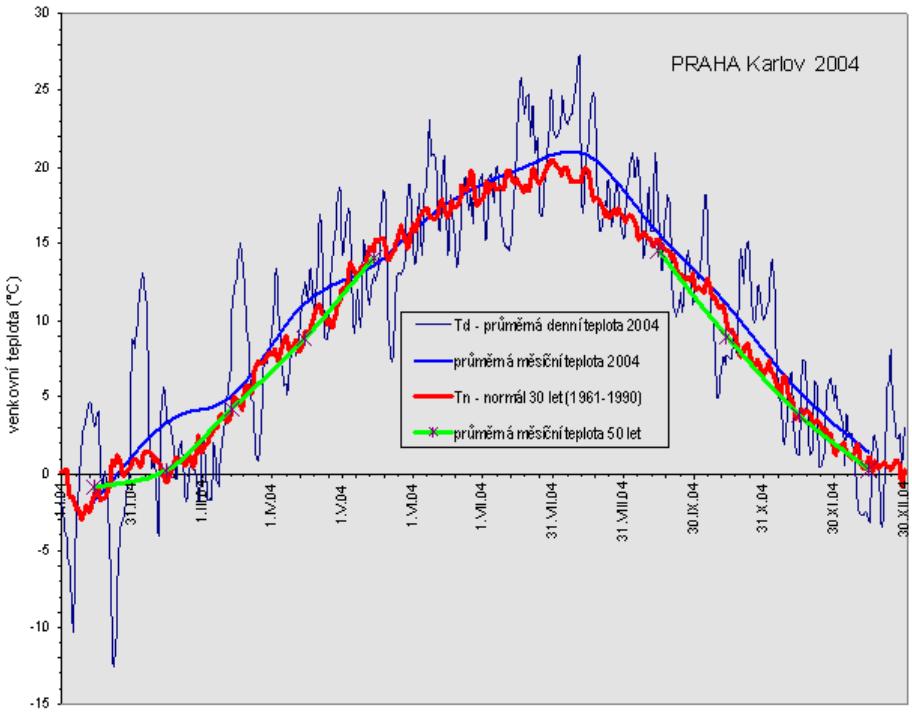
d – Počet topných dnů

t_i *– Teplota vnitřní*

t_e *– Teplota vnější*

„Otopné období je čas, kdy jsou zdroje tepla uvedeny do stavu pohotovosti k dodávce tepla spotřebitelům, začíná 1. září a končí 31. května. Dodávka tepla se zahájí v otopném období, když průměrná denní teplota venkovního vzduchu v místě poklesne pod +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat zvýšení této teploty nad +13 °C pro následující den. Průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu je čtvrtina součtu venkovních teplot v 7, 14 a ve 21 hodin, přičemž teplota měřená ve 21 hodin se počítá dvakrát. Vytápění se omezí nebo přeruší v otopném období tehdy, jestliže průměrná denní teplota venkovního vzduchu v příslušném místě nebo lokalitě vystoupí nad +13 °C ve dvou dnech po sobě následujících a podle vývoje počasí nelze očekávat pokles této teploty pro následující den. Při následném poklesu průměrné denní teploty venkovního vzduchu pod +13 °C se vytápění obnoví. (vyhláška č. 152/2001 Sb., § 3)“ [28]

Na obrázku je v grafu vidět tzv. čára trvání výkonu, která znázorňuje dobu trvání jednotlivých venkovních teplot v průběhu roku. Tato čára je sestavena za pomoci statistických dat průměrných denních teplot v České republice. [28]



Obr. 4.6 Grafické znázornění průběhu čáry trvání výkonu [28]

„Průběh teplot se dá nahradit regresní křivkou ze které se dá vypočítat délka trvání příslušné venkovní teploty během roku. Lze ale rovněž vyjádřit bezrozměrnou křivku trvání teploty, pokud vztáhneme dobu trvání teploty na počet dnů období. Lze pak délku trvaní venkovní teploty stanovit pomocí bezrozměrné hodnoty trvání teploty vůči topnému období:

$$\nu = \frac{\mathbf{M_{te,i}}}{\mathbf{M_{top}}} [-]$$

ν – trvání teploty vůči topnému období [-]

$M_{te,i}$ – počet dnů na rozdíl teploty [dny]

M_{top} – počet topných dnů [dny]

Přičemž odpovídající teplotní rozdíl pro příslušný počet dnů $M_{te,i}$, mezi vnitřní a venkovní teplotou je:

$$\upsilon = (1-\nu)^{0,985\nu^{-0,626}} [-]$$

υ - venkovní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou [-]

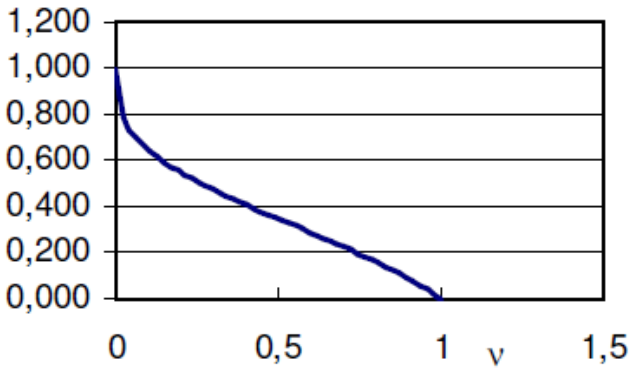
Přičemž, tento teplotní rozdíl je dán poměrem skutečného teplotního rozdílu vnitří a vnější teploty k uvažovanému (základnímu, výpočtovému):

$$\upsilon = \frac{t_{e,min} - t_e}{t_{e,min} - t_{e,max}} [-]$$

$t_{e,min}$ *– minimální venkovní teplota (- 15°C) [°C]*

$t_{e,max}$ *– maximální venkovní teplota (15°C) [°C]*

Bezrozměrná křivka trvání teplot pak znázorněna v grafu na Obr. 4.7:“ [28]



Obr. 4.7 Graf průběhu bezrozměrné křivky [28]

Diagram trvání vytápění se přičte k diagramu pro ohřev TUV a tím vznikne výsledný diagram. [28]

4.6.4 Výpočet požadovaného tepla

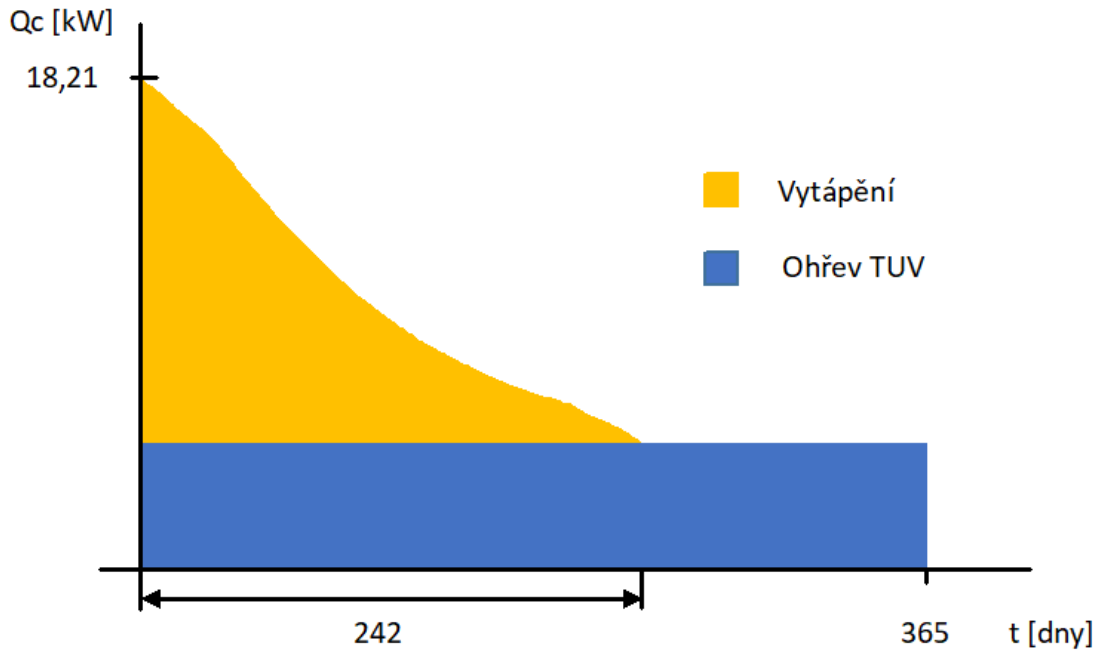
Pomocí programu Energetika byly určeny celkové tepelné ztráty objektu Qc = 18,21 kW za rok, díky tomu je možné, s online kalkulačkou ze serveru www.tzb.info.cz a metody denostupňů, určit potřebnou energii pro vytápění a ohřev vody v objektu během roku.

Pro tento objekt byla zvolena teplota studené vody 10 °C a teplota ohřáté vody 55 °C, celková spotřeba vody na den pro jednu osobu je 0,082 m^3. Tento objekt je obýván dvěma osobami tzn. spotřeba na den bude 0,164 m^3 na den. Průměrná délka topného období pro Plzeň je 242 dní.

Základní údaje:
Lokalita: Plzeň
Venkovní výpočtová teplota t_e = -15 °C
Průměrná denní teplota venkovního vzduchu t_{em} = 13 °C
Délka topného období d = 242 dnů
Průměrná teplota během otopného období t_{es} = 3,6 °C
Vytápění objektu:
Tepelná ztráta objektu (Vypočtena programem Energetika) Q_c = 18,21 kW
Průměrná vnitřní výpočtová teplota t_{is} 20 °C
Vytápěcí denostupně $D = d$. (t_{is} – t_{es}) = 3348 K.dny
Opravné součinitele a účinnost systému e_i = 0,85 e_t = 0,9 e_d = 1 η_o = 0,95 η_r = 0,95
Opravný součinitel: $\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d$ = 0,765
Celková roční spotřeba pro vytápění:
$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot Q_c \cdot D \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-3}}{\eta_0 \cdot \eta_r \cdot (t_{is} - t_e)}$
$Q_{VYT,r}$ = 127,6 GJ/rok (35,4 MWh/rok)

Ohřev vody:
Teplota studené vody t_1 = 10 °C
Teplota ohřáté vody t_2 = 55 °C
Spotřeba vody na den V_{2p} = 0,164 m^3/den
Měrná hustota vody ρ = 1000 kg/m^3
Měrná tepelná kapacita vody c = 4186 J/kgK
Koeficient energetických ztrát systému z = 0,5
Denní potřeba pro ohřev teplé vody:
$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 12{,}9\ kWh$
Teplota studené vody v létě t_{svl} = 15 °C
Teplota studené vody v zimě t_{svz} = 5 °C
Počet pracovních dní soustavy v roce N = 365 dnů
$Q_{TUV,s} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0{,}8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svl}} \cdot (N - d)$
$Q_{TUV,s} = 14{,}9\ GJ/rok\ (4{,}1\ MWh/rok)$
Celková roční spotřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody:
$Q_r = Q_{VYT,s} + Q_{TUV,r} = 142{,}4\ GJ/rok\ \ (39{,}6\ MWh/rok)$

Tab. 4.4 Výpočet potřeby tepelné energie pro ohřev vody a vytápění [29]



Obr. 4.8 Diagram zatížení tepla v průběhu roku

Program Energetika i online kalkulačka stanovily potřebu tepla pro rodinný dům mnohem vyšší, než je reálná spotřeba za loňský rok. Důvodem může být to, že oba programy neberou v potaz regulaci spotřeby tepla samotnými obyvateli domu. Z toho důvodu, budou brány tyto výsledky jako orientační a pro další výpočty bude vycházeno z hodnot spotřebované energie z minulého roku.

4.6.5 Výpočet požadované elektřiny

Momentálně je objekt jištěn jističem 3 x 25A a má tarif D02d se sazbou TDD č.4. Celkový předpokládaný příkon je uveden v Tab. 4.5. Odhadovaná spotřeba elektrické energie je 1 759,26 kWh/rok.

Spotřebič	Příkon [kW]	Doba využití [h]	Denní příkon [kWh/den]	Roční příkon [kWh/rok]
Trouba	3,4	0,33	1,12	409,53
Mikrovlnka	0,8	0,155	0,12	45,26
Konvice	1,63	0,15	0,24	89,24
Lednice	0,0275	24	0,66	240,90
Mixér	0,75	0,05	0,04	13,69
Osvětlení	0,384	4	1,54	560,64
TV	0,1	3	0,30	109,50
Rádio	0,03	0,5	0,02	5,48
Pračka	0,5	0,5	0,25	91,25
Fén	2,3	0,083	0,19	69,68
Žehlička	1	0,21	0,21	76,65
Vysavač	0,65	0,2	0,13	47,45
Celkem	**11,57**	**33,18**	**4,82**	**1 759,26**

Tab.4.5 Přehled využití elektrických spotřebičů v objektu

4.6.6 Typový denní diagram elektřiny

„Metoda typových diagramů dodávek elektřiny (TDD) je náhradní postup pro stanovení velikosti hodinového odběru skupiny oprávněných zákazníků s měřením typu C, tj. nahrazuje průběhové měření u této skupiny zákazníků. Pro řešení je použita náhradní metoda zátěžových profilů, kterou reprezentují typové diagramy dodávek elektřiny pro jednotlivé vybrané skupiny zákazníků se srovnatelným charakterem odběru elektřiny. Využívá se při zúčtování odchylek subjektů, zúčtování za odběr skupiny konečných zákazníků náležících k příslušnému tvaru typového diagramu dodávek. Na základě statistických dat z měření vzorků těchto typů odběratelů bylo zvoleno 8 charakteristických odběrů skupin zákazníků C a D, užívající elektřinu pro elektrické spotřebiče nebo pro její transformaci na teplo:

Podnikatel - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 1

Podnikatel - odběr s akumulačním spotřebičem - TDD č. 2

Podnikatel - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 2

Podnikatel - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 3

Podnikatel - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 3

Domácnost - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č. 4

Domácnost - odběr s akumulačním spotřebičem - TDD č. 5

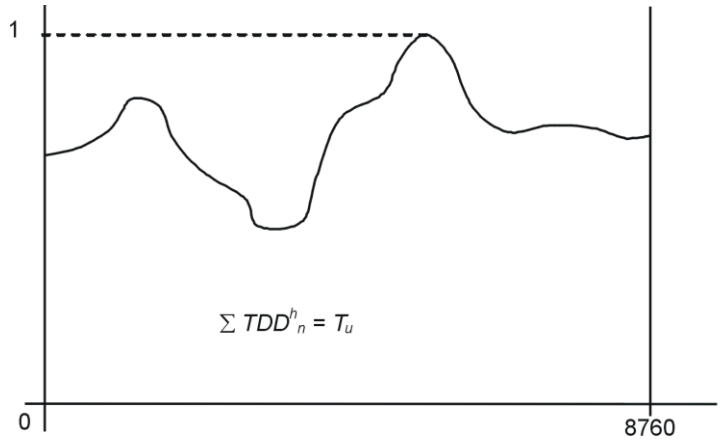
Domácnost - odběr s hybridním vytápěním - TDD č. 6

Domácnost - odběr s přímotopným systémem vytápění - TDD č. 7

Domácnost - odběr s tepelným čerpadlem - TDD č. 7

Podnikatel - odběr pro veřejné osvětlení - TDD č. 8

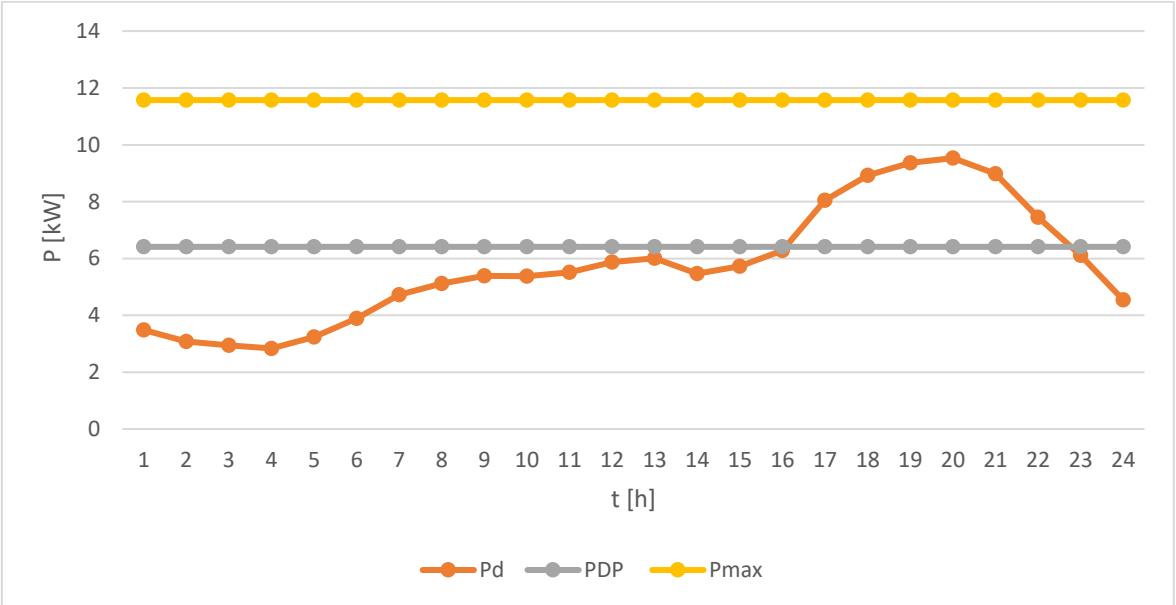
Normalizovaný typový diagram dodávky (TDDn) je součet průměrných hodinových odběrů v roce vztažených k hodnotě ročního maxima průměrných hodinových odběrů, určeného z měření vzorků TDD. Hodnoty TDDn se pohybují v rozmezí 0 až 1 a definují tvar diagramu zatížení dané skupiny konečných zákazníků za normálních klimatických podmínek. Celkový součet relativních hodnot průměrných hodinových odběrů TDDn pak vyjadřuje dobu využití maxima. Jako hodnota maxima se používá ampérová hodnota jističe odběrného přípojného místa“ [28]



Obr. 4.9 Normalizovaný TDD [28]

Rodinný dům je v současné době připojen na distribuční sazbu D02d, Domácnost - odběr bez tepelného využití elektřiny - TDD č.4. Tuto sazbu bude v pozdějších navrzích potřeba změnit, na D25d s Domácnost – odběr s akumulačním spotřebičem TDD č.5, protože bude do objektu instalován elektrický bojler.

Na Obr. 4.10 je zobrazen typový denní diagram, který byl vytvořen pro jeden z nejchladnějších dnů v roce a to sice 15. ledna. V grafu je vyznačena křivka P_{max} = 11,57 kW , která představuje hodnotu maximálního příkonu všech spotřebičů v objektu. Průměrný denní výkon je P_{DP} = 5,74 kW/h. Z průběhu grafu je vidět hodnota denního maxima ve dvacáté hodině večerní 9,53 kW.



Obr. 4.10 Typový denní diagram pro 15.1. 2018 [30]

5 Návrh způsobu zásobení domu elektřinou a teplem pomocí samostatné výroby z OZE a kombinované výroby

Tato kapitola je zaměřena na návrh systému výroby elektřiny a tepla pro rodinný dům pomocí OZE. Obsahuje několik variant FVE, které se liší použitými komponenty, způsobem zapojení a akumulací vyrobené energie. Cílem bylo navrhnout jeden univerzální systém, který by byl schopen vyrábět elektřinu i teplo současně, to je důvod, proč zde nejsou použity například solární kolektory a tepelné čerpadlo. Dalším důvodem je omezení prostoru, konkrétně střecha a v neposlední řadě finanční stránka celého projektu.

Pro simulace produkce a spotřeby energií z FVE byl použit volně dostupný software PVGIS a profesionální software PV*SOL premium, od firmy Valentin Software, s licencí na měsíc zdarma. Program je dostupný na www.valentin-software.com. Pro všechny simulace se vycházeno z hodnot spotřeby z faktur, za období 2017 – 2018, avšak ceny jsou aktuální pro rok 2019. Oproti současnému stavu je potřeba změnit sazbu za elektřinu z D02d na sazbu pro akumulaci s nízkým tarifem D25d, díky tomu může elektrický bojler odebírat levnější elektřinu pro ohřev TUV. To znamená, že v čase nízkého tarifu platí zvýhodněná sazba i pro zbylé spotřebiče v objektu. Časy nízkého tarifu udává distributor sítě, v Plzni je to společnost ČEZ Distribuce. Tyto časy jsou různé pro všední dny a víkendy. Čas nízkého tarifu bývá minimáně osm hodin denně, přičemž jeho převážná část je spouštěna v noci. Veškerá spotřeba energie v objektu, včetně spotřeby nového bojleru, je 3 949 kWh/rok. Z toho připadá na spotřebiče 1 759 kWh/rok a na ohřev TUV 2 190 kWh. Vytápění objektu je řešeno samostatně, plynovým kotlem.

Parametry objektu	
Typ objektu	Dvoupatrový rodinný dům
Lokalita	Plzeň - Bručná
Počet obyvatel	2
PENB	D
Typ střechy	Polovalbová (tašková)
Plocha střechy pro FV panely	34 m^2
Orientace	Jihovýchod
Sklon	43 °
Roční spotřeba elektřiny domácích spotřebičů	1 759 kWh/rok
Roční spotřeba elektřiny pro ohřev TUV (bojler)	2 190 kWh/rok

Tab. 5.1 Základní parametry pro výpočet simulací

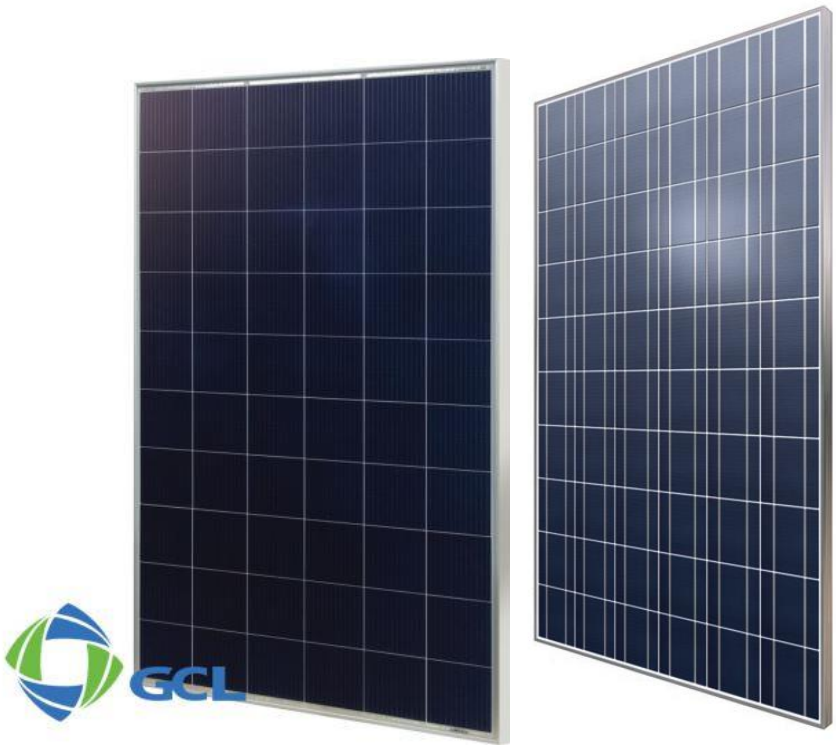
Pro všechny simulace byla použita stejná celková spotřeba energie za rok v běžném ročním režimu spotřeby. Dále se pak vycházelo ze stejné polohy, sklonu i orientace objektu. Jelikož databáze programu neobsahuje klimatická data pro město Plzeň, byl vybrán nejbližší bod z databáze, což je obec Kocelovice, vzdálená vzdušnou čarou čtyřicet kilometrů. Dále platí, že všechny varianty jsou jednofázové FVE s napětím na 230 V (AC). U prvních třech variant byly použity stejné FV panely. U čtvrté varianty jsou FV panely jiného typu a výkonu, jelikož se vycházelo z hotové nabídky na klíč od společnosti E.ON.

Zadáním všech dat a konkrétních komponentů níže uvedených variant do programu, byly vytvořeny simulace produkce a spotřeby energií v průběhu roku. Do výpočtů byly zahrnuty ztráty ve střídačích, bateriích i na vedení. Výsledkem jsou diagramy toku energií během roku. Avšak rozdělení využité energie z FV panelů bylo potřeba separovat v poměru, který stanovuje Wattrouter. Tento poměr byl určen z online kalkulačky dostupné na www.solarcontrols.cz, kterou poskytuje výrobce Wattrouteru. Následně byly toky energií v diagramech upraveny podle stavu s instalovaným Wattrouterem. [36]

5.1 Popis hlavních komponentů FVE

5.1.1 Fotovoltaické panely

Pro první tři varianty byly použity FV panely GCL-M6/60 300 Wp. Tyto panely byly vybrány kvůli dobrému poměru cena a výkon tak, aby co nejvíce pokryly spotřebu objektu při omezené ploše střechy. Výrobce poskytuje záruku 25 let na to, že výkon panelů neklesne o 20 %. Naproti tomu ve variantě čtyři byly použity FV panely Axitec AC 280P, které ke své nabídce FVE na klíč dodává společnost E.ON. V Tab. 5.2 je porovnání parametrů obou typů panelů. Oba FV panely jsou zobrazeny na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 FV panel od firmy GCL (vlevo) a panel od firmy Axitec (vpravo) [31], [32]

Název	GCL-M6/60 300 Wp	Axitec Ac-280P/156-60S
Typ	Monokrystalický	Polykrystalický
Jmenovitý výkon	300 Wp	280 Wp
Jmenovité napětí	32,4 V	31,48 V
Jmenovitý proud	9,26 A	8,9 A
Proud nakrátko	9,78 A	9,37 A
Napětí naprázdno	39,5 V	38,61 V
Účinnost panelu	18,40%	17,21%
Váha	18,1 kg	18 kg

Tab. 5.2 Parametry použitých FV panelů [31], [32]

5.1.2 Střídače DC/AC

Pro všechny navržené varianty je společné, že u nich budou použity jednofázové střídače. Typ střídače se odvíjí od výkonu FVE. Tyto střídače mají účinnost vyhovující NZÚ.

Pro první variantu byl použit střídač Victron energy MultiPlus, který má zároveň funkci nabíječky baterie (Obr. 5.2). Technické parametry střídače napětí 48 V (DC), 230 V (AC), trvalý výkon 2,5 kW a špičkový až 6 kW a s účinností 95 %. Střídač má čistý sinus a programovatelný druhý vstup, vhodný pro využití přebytků k ohřevu TUV. [31]

Pro druhou a čtvrtou variantu byl zvolen střídač od firmy SMA Sunny boy 2.5. Jedná se o jednofázový střídač s maximální účinností 97,2 % a 96,1 % (Euro účinnost), pro max. výkon panelů 2,65 kWp s jedním MPP trackerem . [33]

Pro třetí variantu bude kvůli vyššímu instalovanému výkonu zapotřebí střídač SMA Sunny boy 3.0, který je také jednofázový s maximální účinností 97 % a 96,4 % (Euro účinnost), pro max. výkon panelů 5,5 kWp s jedním MPP trackerem. [33]

Obr. 5.2 Zleva, střídač Victron energy MultiPlus,Sunny boy 2.5 a 3.0 [31] [33]

5.1.3 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí chrání FVE a přístroje na ní připojené, před přímým a nepřímým úderem blesku, obvykle se zapojují se na DC i AC straně FVE.

5.1.4 Baterie LiFePO4

Pro akumulaci energie budou navrženy baterie US2000B od firmy Pylontech. Jedná se o baterii určenou pro malé a střední hybridní systémy. Baterie se skládá z LiFePO4 článků s nominálním napětím 48V a kapacitou 2,4 kWh. Baterie je možné spojovat do větších celků, limit je osm kusů (19 kWh). Sestavy baterií jsou umístěny v racku, nebo spojeny pomocí rámečků s klipsnami. Obsahuje BMS s komunikací s měničem CAN sběrnic. Váha jednoho kusu je 24 kg. Výrobce udává životnost 6000 cyklů při 80 % DoD (hloubka vybití).

Podle údajů z datasheetu vydrží baterie více jak 6000 cyklů nabití a vybití, to znamená deset a více let v provozu. Při 250 – 300 cyklech za rok by baterie měla mít životnost až 20 let. [31], [34]

Obr.5.3 Dvě baterie Pylontech spojené v rámečku [31]

5.1.5 Regulátor

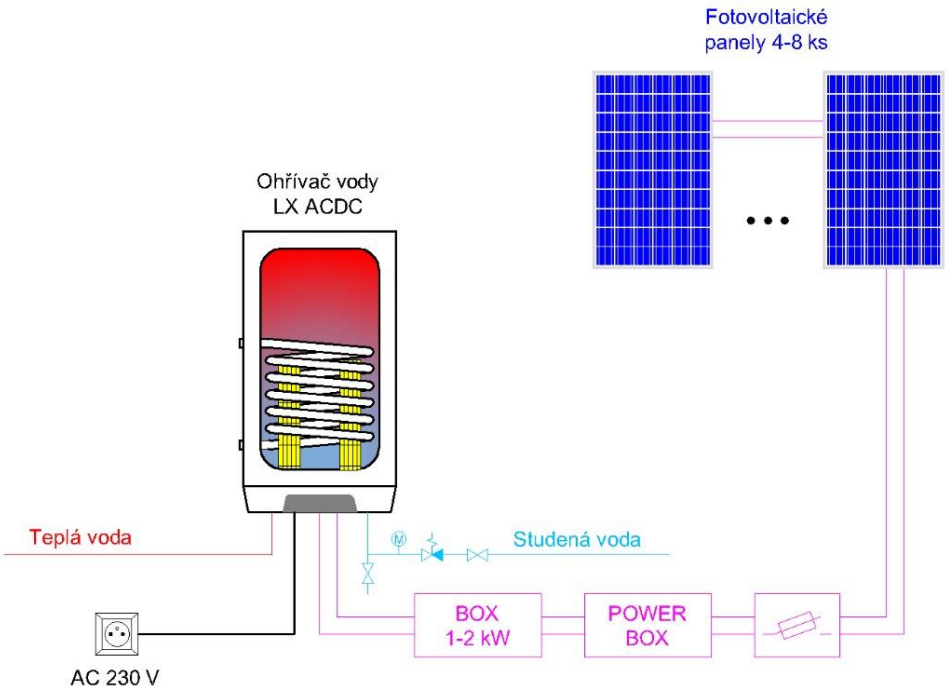
Regulátor, Wattrouter Mx od firmy Solarcontrols s.r.o., slouží k maximalizaci využití vyrobené elektrické energie z FVE v místě spotřeby. Díky tomuto zařízení lze efektivně využívat elektřinu v době, kdy FVE elektřinu vyrábí a šetří jí v čase, kdy elektřinu nevyrábí (akumulace). Toto řešení je výhodné, protože výkupní ceny elektřiny dodané do sítě jsou velmi nízké. Na tento regulátor se obvykle připojují bojlery, akumulační nádoby, topná tělesa pro přitápění, klimatizace a další. V navržených variantách bude Wattrouter Mx posílat přebytky energie na ohřev TUV do elektrického bojleru Dražice 125 l. [36]

„Měřicí modul v reálném čase měří proud ve všech fázích. Regulátor vyhodnocuje měřené proudy a napětí a je-li zjištěna výroba FVE, spíná připojené spotřebiče dle nastavitelných priorit, přičemž se neustále snaží udržet nulový tok energie měřicím modulem, tzv. "virtuální nulu" (součet činných výkonů ve všech třech fázích = 0).“ [37]

5.1.6 Ohřev TUV elektrickým bojlerem

Pro všechny varianty FVE bude společné, že ohřev TUV bude probíhat pomocí ohřívače vody LX ACDC/M+K ABC s objemem 125 l a výkonem spirály 2 kW s možností ohřevu pomocí elektřiny z FV panelů a z distribuční sítě. Ohřívač obsahuje dva elektrické okruhy. První je napojený na elektrickou energii ze sítě (AC 230 V) a druhý je napojený na energii dodanou z FV panelů. Oba okruhy mohou pracovat současně nebo každý samostatně.

Během špatného počasí a v noci odebírá ohřívač energii ze sítě. Termostatem se nastavuje požadovaná teplota (např 45 °C). Pokud je dosaženo přednastavené teploty na termostatu, automaticky se vypne přívod energie ze sítě a začne odebírat energii z FV panelů a ohřeje vodu až na maximální teplotu 75 °C. [38]



Obr. 5.4 Schéma ohřívače vody LX ACDC/M+K [38]

5.1.7 Nosná konstrukce

Jedná se o konstrukci z hliníkových profilů, na kterou se upevňují FV panely. Konstrukce samotná se upevňuje přímo ke střešním trámům. Velikost konstrukce se odvíjí od množství FV panelů.

5.1.8 Kabely

Pro všechny varianty budou použity solární bezhalogenové měděné kabely o průměru 6 mm^2 pro vnější (DC) a 4 mm^2 pro vnitřní instalace (AC). Tyto kabely jsou odolné proti UV záření a jsou určeny pro vnitřní i venkovní instalace. Pomocí 3D simulace v PV*SOL premium byla určena požadovaná délka pro venkovní kabely, od FV panelů, včetně rezervy na 30 m a pro vnitřní rozvody na 15 m. Následující simulace budou počítat s těmito délkami a do výpočtů zahrnou i ztráty v kabelech. [31]

5.2 Varianta 1 – Ostrovní systém s akumulací do baterie a TUV

5.2.1 Úvod

Jako první varianta byla zvolena ostrovní FVE, bez připojení na síť, dle zadání diplomové práce. Aby měla tato varianta smysl, je potřeba vyrobenou energii akumulovat do baterie a z přebytků ohřívat TUV. V opačném případě by byla domácnost bez energie, ve dnech s nedostatkem slunečního svitu a v noci. Pro toto řešení bude uvažováno pořízení bojleru s jednou topnou spirálou.

Čistě ostrovní FVE bývá používána spíše pro rekreační objekty (chaty a chalupy), kde je spotřeba elektřiny a tepla menší než u rodinného domu. Ostrovní řešení pro rodinný dům bývá zhruba třikrát dražší, kvůli nutnosti většího množství FV panelů a dostatečně velké baterii, pro uchování energie po několik dní. V objektu s celoročním provozem je nutné chybějící energii nějakým způsobem kompenzovat, například dieselagregátem.

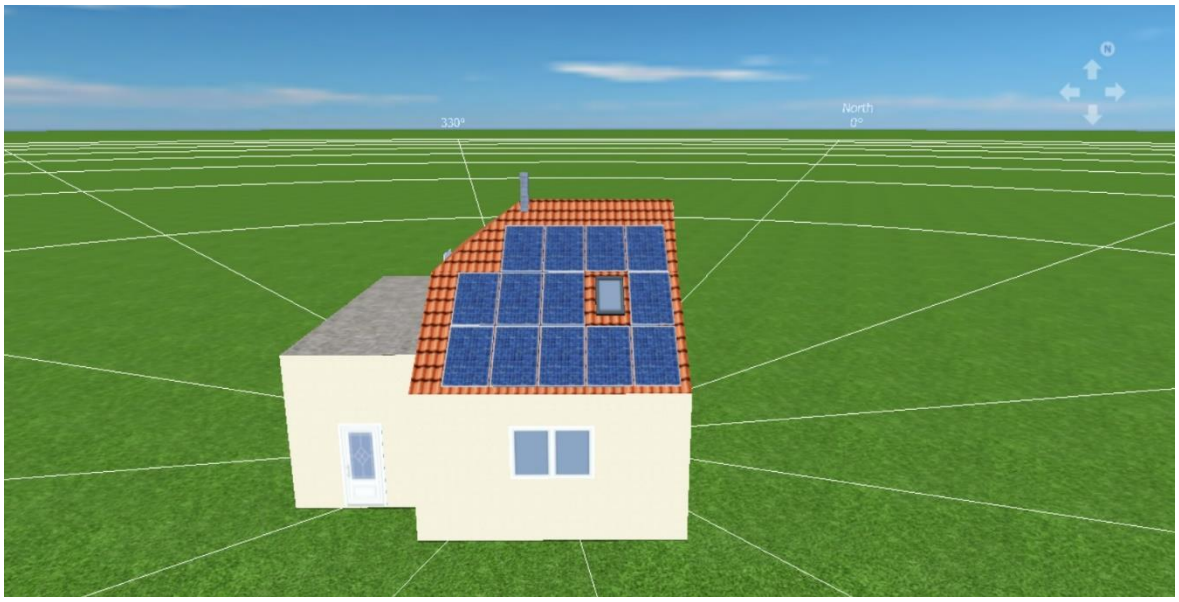
5.2.2 Popis zvolené FVE

Pro první variantu byla navržena jednofázová FVE s dvanácti panely GCL každý o výkonu 300 Wp, kvůli jejich dobrému poměru cena a výkon. Dále byl zvolen střídač-nabíječ baterie od firmy Victron energy MultiPlus 3000. Vyrobená elektřina z FVE bude ukládána do baterie o kapacitě 9,6 kWh. Jedná se o čtyři baterie typu LiFePO4 od firmy Pylontech, US 2000 B, spojené v rámečku. Rámeček slouží pro spojení jednotlivých baterií k sobě. Baterie jsou v rámečku mezi sebou propojeny kabelovými sety, tím lze sestavit bateriový set s požadovanou kapacitou. Dále je potřeba nosná konstrukce z hliníkových profilů pro FV panely na střechu a AC kabely o průměru 4 mm^2, pro rozvod elektřiny uvnitř objektu.

Varianta 1		
Hlavní komponenty FVE	**Množství**	**Typ**
FV panel	12 ks	GCL M6/60 300 Wp
Střídač-nabíječ baterie	1 ks	Victron energy MultiPlus 3000
MPPT solární regulátor	1 ks	Victron energy 60A 150V Tr
Baterie	4 ks	Pylontech US2000B (LiFePO4)

Tab. 5.3 Hlavní komponenty FVE Varianty 1

Aby bylo dosaženo co nejvyššího výkonu, je třeba využít plný potenciál střechy domu. Přestože byla plocha jihovýchodní střechy vypočtena na 34 m^2, je třeba brát v úvahu překážky (střešní okno, komín), typ střechy (polovalbová) a odstupy panelů od okrajů střechy, jak znázorňuje Obr. 5.5 z 3D simulace. Tím se využitelná plocha značně zredukuje. Z toho důvodu lze na střechu umístit maximálně třináct panelů. Avšak při třinácti panelech o výkonu 3,9 kWp je nutno použít střídač o řád vyšší, který je dražší. Aby systém pracoval optimálně, bude instalováno pouze dvanáct FV panelů o výkonu 3,6 kWp.



Obr. 5.5 Zobrazení maximálního možného osazení střechy FV panely

5.2.2.1 Výsledek simulace

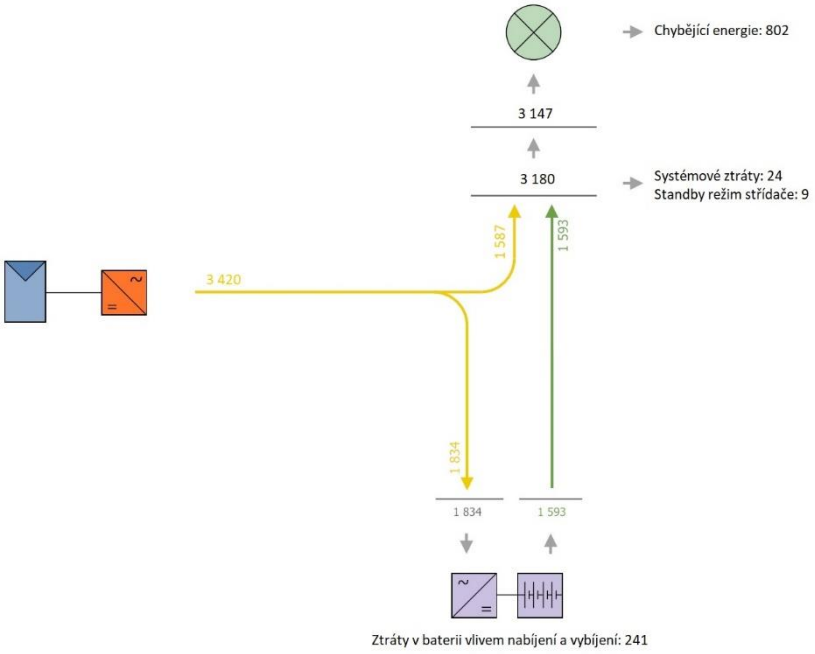
Jak je vidět z Tab. 5.4 vyrobená energie z FV panelů nedokáže plně pokrýt celkovou roční spotřebu objektu a ohřevu TUV. To je částečně zapříčiněno kvůli ztrátám v měniči a vlivem nabíjení a vybíjení baterie. Nabízí se řešení pokrýt chybějící energii záložním zdrojem, například dieselagregátem. Avšak v městské zástavbě se snadnou dostupností připojení k distribuční síti, je toto řešení nepraktické. Vezmeme-li v úvahu nadměrný hluku, cenu paliva a nutnost údržby dieselagregátu, při provozu v průběhu roku.

Na tuto variantu FVE se nevztahují dotace z NZÚ. Pokud by o ně majitel FVE stál, musel by změnit FVE z ostrovního režimu na hybridní. To znamená připojit ji k distribuční síti, nebo by panely musely sloužit k přímému ohřevu TUV v bojleru.

Při plně nabitých bateriích o kapacitě 9,6 kWh a při průměrné denní spotřebě objektu, která činí 4,82 kWh, bez ohřevu TUV, by byl objekt schopen fungovat po dva dny. S ohřevem TUV, který činí 6 kWh by byl objekt schopen fungovat, bez dodávky energie z FV panelů, necelý den.

Varianta 1	**FVE 3,6 kWp**
Typ energie	**[kWh/rok]**
Celková spotřeba objektu (včetně ohřevu TUV)	3 949
Produkovaná z FV panelů	3 420
Přímo spotřebovaná	1 587
Chybějící energie	802
Uložená do baterie	1 834
Odebraná z baterie	1 593
Ztráty v baterii	241

Tab. 5.4 Produkce a spotřeba energií Varianty 1



Obr. 5.6 Přehled toků energií ve FVE varianty 1 (vše v kWh)

5.3 Varianta 2 – FVE připojená k distribuční síti s akumulací do TUV

Ve druhé variantě byla navržena FVE s deseti panely o výkonu 3 kWp, připojením na distribuční síť a akumulací přebytků energie do TUV. Za běžných okolností by docházelo k tomu, že dvě třetiny vyrobené energie by nebyly spotřebovány a přetekly by do sítě. Tuto nevýhodu lze kompenzovat instalací Wattrouteru, který dokáže většinu přebytků přesměrovat k ohřevu TUV. Správnou konfigurací, lze dosáhnout až nulových přetoků do distribuční sítě.

Varianta 2		
Hlavní komponenty FVE	**Množství**	**Typ**
FV panel	10 ks	GCL M6/60 300 Wp
Střídač	1 ks	SMA Sunny boy 2.5
Regulace přebytků	1 ks	Wattrouter Mx

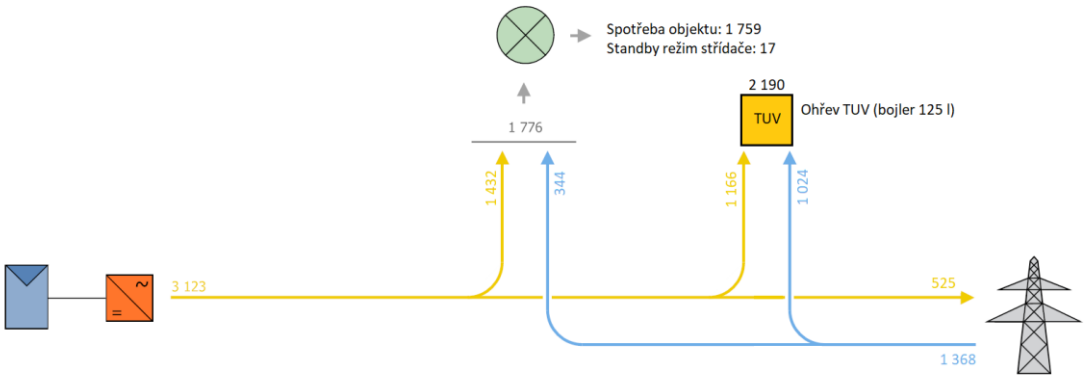
Tab.5.5 Hlavní komponenty FVE varianty 2

Po získání výsledků toků energií ze simulace bylo nutné určit, v jakém poměru dokáže Wattrouter rozdělit energii. Jinými slovy, kolik kWh případně na spotřebu objektu a kolik na ohřev TUV. Podle online kalkulačky od výrobce na webové stránce www.solarcontrols.cz, byla stanovena energie pro spotřebu objektu, při použití Wattrouteru,

na 1 432 kWh/rok a energie na ohřev TUV 1 166 kWh/rok, přičemž přetok do sítě činí 525 kWh/rok. Přehled toků energií je vidět v Tab. 5.6.

Varianta 2	**FVE 3 kWp**
Typ energie	**[kWh/rok]**
Spotřeba objektu včetně standby spotřeby střídače	1 776
Spotřeba na ohřev TUV	2 190
Produkovaná z FV panelů	3 123
Přímo spotřebovaná	1 432
Akumulovaná do TUV	1 166
Dodaná do sítě	525
Odebraná ze sítě	1 368

Tab. 5.6 Produkce a spotřeba energií varianty 2



Obr. 5.7 Přehled toků energií ve FVE varianty 2 (vše v kWh)

Výhodou této varianty je, že díky bojleru může majitel FVE využívat tarif D25d pro ohřev vody, který má dvě sazby za elektřinu, vysoký tarif a nízký tarif. Nízký tarif se spouští na osm hodin denně a v té době platí zvýhodněná sazba elektřiny nejen pro bojler, ale i pro všechny spotřebiče v domácnosti, tím dochází k finanční úspoře. Další výhodou je nižší cena, protože není třeba kupovat baterii za desítky tisíc korun, která má omezenou životnost a zabírá určité místo. Na druhou stranu je absence baterie velkou nevýhodou, protože při nedostatku světla nebo během noci, je potřeba odebírat energii z distribuční sítě a také to, že FVE nezvládá pracovat v ostrovním režimu.

Tato varianta splňuje podmínky dotace v podoblasti C.3.4.

5.4 Varianta 3 – FVE s akumulací do fyzické baterie a ohřevem TUV

Nedostatek předchozí varianty, tedy absenci baterie, napravuje návrh hybridní FVE s dvanácti panely o výkou 3,6 kWp ve snaze dosáhnout větší soběstačnosti. Tato varianta je kompromis mezi ostrovním systémem a klasickým připojením k distribuční síti. Oproti ostrovnímu systému disponuje pouze dvěma bateriemi Pylontech US 2000 B, ale má připojení k distribuční síti a možnost ukládání přebytků energie do TUV pomocí Wattrouteru.

Varianta 3		
Hlavní komponenty FVE	**Množství**	**Typ**
FV panel	12 ks	GCL M6/60 300 Wp
Střídač	1 ks	SMA Sunny boy 3.0
Regulace přebytků	1 ks	Wattrouter Mx
Baterie	2 ks	Pylontech US2000B (LiFePO4)

Tab.5.7 Hlavní komponenty FVE varianty 3

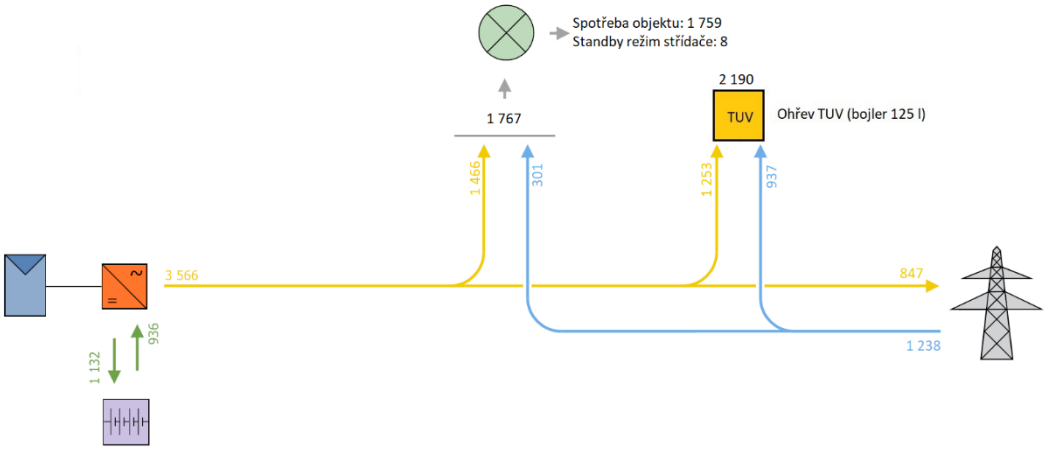
Přestože má třetí varianta o 600 Wp instalovaného výkonu více, než předchozí, výroba a využití energie je jen o málo větší, než ve druhé variantě. Navíc dochází k větším přetokům do sítě.

Výhodou této varianty je, že při selhání dodávky energie ze sítě, může objekt přejít do ostrovního režimu. Při plně nabitých bateriích se 4,4 kWh a spotřebou domácích spotřebičů 4,82 kWh/den by byl objekt schopen provozu, v ostrovním režimu, téměř jeden den, pokud do výpočtu nebude započítávána spotřeba ohřevu TUV, která činí 6 kWh/den.

Tato varianta splňuje podmínky dotace v podoblasti C.3.5.

Varianta 3	**FVE 3,6 kWp**
Typ energie	**[kWh/rok]**
Spotřeba objektu včetně standby spotřeby střídače	1 762
Spotřeba na ohřev TUV	2 190
Produkovaná z FV panelů	3 566
Přímo spotřebovaná	1 466
Akumulovaná do TUV	1 253
Dodaná do sítě	847
Odebraná ze sítě	1 238
Uložená do baterie	1 132
Odebraná z baterie	936
Ztráty v baterii	196

Tab. 5.8 Produkce a spotřeba energií Varianty 3



Obr. 5.8 Přehled toků energií ve FVE varianty 3 (vše v kWh)

5.5 Varianta 4 – FVE s virtuální baterií a akumulací do TUV

Jako poslední varianta FVE byla zvolena nabídka na klíč od společnosti E.ON pro napájení domácích spotřebičů s akumulací do TUV a ukládání přebytků elektřiny do tzv. virtuální baterie. V současnosti tuto novinku v ČR nabízí jen několik firem, kromě společnosti E.ON i ČEZ Distribuce s.r.o. a S-power, avšak každá společnost za jiných podmínek. [9]

5.5.1 Virtuální baterie

Virtuální baterie (cloudová baterie) představuje alternativu k fyzickým bateriím. Toto řešení pracuje na principu posílání přebytků elektřiny vyrobených FV panely do sítě, k pozdějšímu využití v čase potřeby (v noci, v zimě). Díky tomu odpadá potřeba investovat desetitisíce korun do fyzické baterie, která má omezenou životnost a je třeba jí v průběhu užívání FVE nahradit. V další kapitole bude uvedeno finanční srovnání virtuální a fyzické baterie.

Podmínky získání virtuální baterie:

- Lze ji získat pouze jako součást instalace FVE od společnosti E.ON do 10 kWp a musí splňovat podmínky dotace programu NZÚ.
- Zákazník musí mít platnou smlouvu o dodávkách elektrické energie od E.ON.
- Je potřeba mít v domě spolehlivé internetové připojení, pro zobrazení stavu nabití virtuální baterie v tzv. Klientské zóně.

Provoz virtuální baterie:

- Měsíčně lze do baterie uložit předem stanovené množství energie, při překročení limitu se velikost kapacity automaticky navýší a s ní i měsíční tarif.
- Využívání služby je zpoplatněno, cena závisí na kapacitě baterie (od 1 MWh/rok za 49 Kč/měsíc až po 4+ MWh/rok za 499 Kč/měsíc).
- E.ON poskytuje internetovou aplikaci, Klientskou zónu s aktuálními informacemi o množství uložené a odebrané energie.
- Zákazník si musí dopředu vybrat období, kdy chce z virtuální baterie čerpat svou uloženou elektřinu.
- Zákazník může využít takové množství elektřiny v kWh, jaké si do virtuální baterie uložil. [9]

5.5.2 Řešení pro rodinný dům

V posuzovaném rodinném domě je malá spotřeba elektřiny a mnohem větší spotřeba plynu k ohřevu vody. Aby FVE splnila podmínky dotace NZÚ, je třeba zajistit minimálně 70 % vlastní spotřeby energie a akumulaci, v tomto případě se jedná o akumulaci do TUV. Společnost E.ON vytvořila nabídku pro posuzovaný objekt a její parametry jsou v Tab. 5.9.

5.5.3 Simulace výnosů FVE

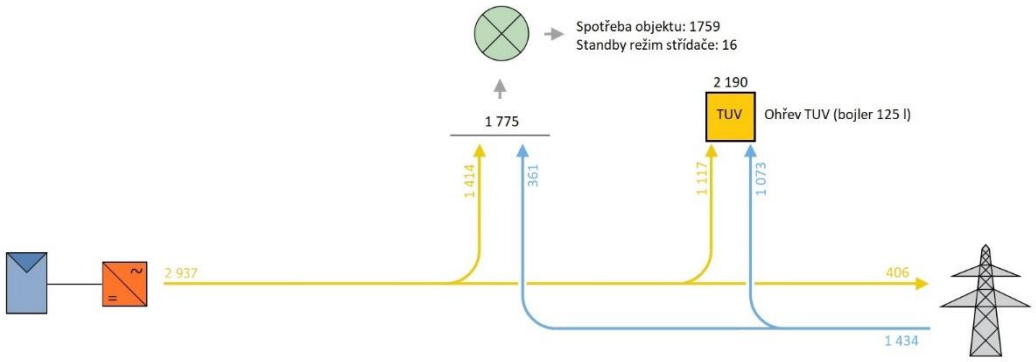
Simulace byla provedena podle parametrů z níže uvedených komponentů pro FVE s virtuální baterií v Tab. 5.9. Výsledkem je přehled produkce a spotřeby energií v kWh/rok v Tab. 5.10. Jak je patrné z grafického znázornění Obr. 5.9 FV panely po odečtení ztrát na střídači, vyrobí 2 937 kWh/rok elektrické energie, přičemž celková spotřeba všech spotřebičů, včetně elektrického bojleru a střídače je 3 965 kWh/rok. Z toho FVE pokryje 2 531 kWh a 406 kWh odteče do virtuální baterie, kde je tato energie připravena na pozdější využití. Aby byla spotřeba elektřiny pokryta úplně, je třeba odebrat ze sítě 1 434 kWh, přičemž 1 028 kWh je ze sítě a 406 kWh z virtuální baterie. Díky tomu lze konstatovat že navržená FVE dokáže využít 86,17 % energie pro přímé napájení a 100 % své vyrobené energie, díky odběru z virtuální baterie. Tato varianta splňuje podmínky dotace v podoblasti C.3.4.

Varianta 4		
Hlavní komponenty FVE	**Množství**	**Typ**
FV panel	10 ks	Axitec AC 280P
Střídač	1 ks	SMA Sunny boy 2.5
Regulace přebytků	1 ks	Wattrouter Mx

Tab.5.9 Hlavní komponenty FVE Varianty 4

Varianta 4	**FVE 3 kWp**
Typ energie	**[kWh/rok]**
Spotřeba objektu včetně standby spotřeby střídače	1 775
Spotřeba na ohřev TUV	2 190
Produkovaná z FV panelů	2 937
Přímo spotřebovaná	1 414
Akumulovaná do TUV	1117
Dodaná do sítě	406
Odebraná ze sítě	1 434

Tab. 5.10 Produkce a spotřeba energií Varianty 4



Obr. 5.9 Přehled toků energií ve FVE varianty 4 (vše v kWh)

5.6 Shrnutí variant

Z výše uvedených variant se po energetické stránce jeví jako nejlepší varianta čtyři, u které je nejmenší potřeba odběru energie z distribuční sítě a nejvíce se přibližuje energeticky soběstačné domácnosti.

Pomocí správného nastavení Wattrouteru by bylo teoreticky možné, veškerou energii spotřebovat na ohřev TUV, pokud by byl bojler v provozu například o několik hodin déle, než je jeho průměrná doba provozu za den. S akumulací do TUV je ten problém, že vlétě, kdy je vyrobené energie nadbytek, není potřeba ohřevu TUV tak velká. Možným řešením by bylo energii využít například na ohřev bazénu nebo pro klimatizaci. V opačném případě se uloží do virtuální baterie.

Pokud by bylo možné u všech variant s Wattrouterem využít veškerou energii a omezit přetoky do sítě na nulu, neměla by čtvrtá varianata smysl, protože by uložená energie byla nulová, ale přesto by se platil měsíční poplatek za využití volné kapacity 1 MWh/rok.

Aby bylo možné spolehlivě určit, která varianta je pro investora skutečně nejlepší, je třeba posoudit i ekonomickou stránku a návratnost investic jednotlivých variant v průběhu let. Tomuto tématu se bude věnovat následující kapitola.

6 Ekonomické porovnání jednotlivých variant napájení

6.1 Úvod

Tato kapitola je zaměřena na ekonomické porovnání a dobu návratnosti investic jednotlivých variant navržených FVE. U každého návrhu byl sestaven výpis komponentů a jejich souhrnná cena, od níž byla odečtena výše příslušných dotací NZÚ. První tři varianty jsou sestaveny z běžně dostupných komponentů na českém trhu, proto jsou ceny komponentů vyšší o cenu, kterou si za ně účtuje obchodník. U těchto variant se předpokládá, že budou instalovány svépomocí, čímž se výrazně ušetří. Oproti tomu čtvrtá varianta je zakázka na klíč, která zahrnuje i cenu za práci dělníků, dopravu atd. To vše je zahrnuto ve finální ceně. Na rozdíl od předchozích variant, nelze tuto FVE nainstalovat svépomocí, může tak provést pouze společnost E.ON. Je to jedna z podmínek získání FVE od této společnosti.

Pro výpočty návratnosti inevestic byl použit tarif D25d pro akumulaci a ohřev TUV, ceny tarifu jsou vidět v Tab 6.1. Návratnost byla počítána včetně ceny bojleru, protože bez něj by nebylo možné na většinu variant získat dotaci z NZÚ. Nevýhodou je, že tím se návratnost prodlužuje.

Jistič	3 x 25 A
Sazba	D25d
Cena za 1 kWh ve VT	4,82 Kč
Cena za 1 kWh v NT	1,96 Kč
Stálá měsíční platba	289 Kč
Pozn. Ceny včetně DPH platné pro 2019	

Tab. 6.1 Ceny tarif D25d [35]

6.2 Ekonomické porovnání jednotlivých variant

6.2.1 Cena FVE - Varianta 1

V Tab. 6.2 je vidět, že nejnákladnějšími položkami FVE jsou FV panely, střídač, regulátor a baterie. Celkově se jedná o drahé řešení a cenově zhruba odpovídá podobným komerčně prodávaným řešením, tzv. stavebnicím, kdy si investor tuto FVE nainstaluje sám. Velkou nevýhodou je, že u této varianty není možné čerpat dotace, jak bylo v předchozí

kapitole popsáno. Proto je cena této varianty, velmi vysoká. Nemluvě o potřebě záložního zdroje energie (dieselagregát).

Varianta 1				
Komponenty FVE	**Typ**	**Množství [ks]**	**Cena za kus [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**
FV panel	GCL M6/60 300 Wp	12	4198	50376
Střídač-nabíječ	Victron energy MultiPlus 3000	1	31501	31501
DC kabel	6 mm^2	32	44	1408
AC kabel	4 mm^2	15	26	390
Zemnící kabel	16 mm^2	20	47	940
MPPT solární regulátor	Victron energy 60A 150V Tr	1	12865	12865
Monitorovací a komunikační centrum baterie	Victron energy Venus GX	1	8024	8024
Baterie	Pylontech US2000B	4	29000	116000
Sledovač stavu baterie	Victron BMV 700	1	3829	3829
Rámeček pro baterie	Pylontech	2	1430	2860
Kabelový set k bateriím	Pylontech	4	1416	5664
Hliníková nosná konstrukce včetně upevňovacích součástek	Krajiczech	1	13500	13500
Pojistkové odpínače	OVPV	2	200	400
Pojistky	PV10	2	35	70
Spojka konektoru	MC4	12	139	1668
Konektor	MC4	4	64	256
Svodič přepětí DC strana	Hakel PIIIM PV	1	3787	3787
Svodič přepětí AC strana	PIV 12,5	1	2798	2798
Jistič		2	889	1778
Bojler	Dražice LX ACDC/M+K	1	18000	18000
Cena bez bojleru				258 114,00 Kč
Cena s bojlerem				276 114,00 Kč
Dotace				0,00 Kč
Dotace na posudek PENB				0,00 Kč
Cena (bez bojleru) po odečtení dotace				258 114,00 Kč
Finální cena po odečtení dotace				276 114,00 Kč

Tab.6.2 Finální cena Varianty 1

6.2.2 Návratnost investic - Varianta 1

V grafu 6.1 je zobrazena doba návratnosti v průběhu let. Modrý sloupec představuje investice pro pořízení FVE, proto jeho hodnota začíná v záporných číslech. K této hodnotě jsou každým rokem přičítány úspory za energii, kterou vyrobí FV panely a stačí se

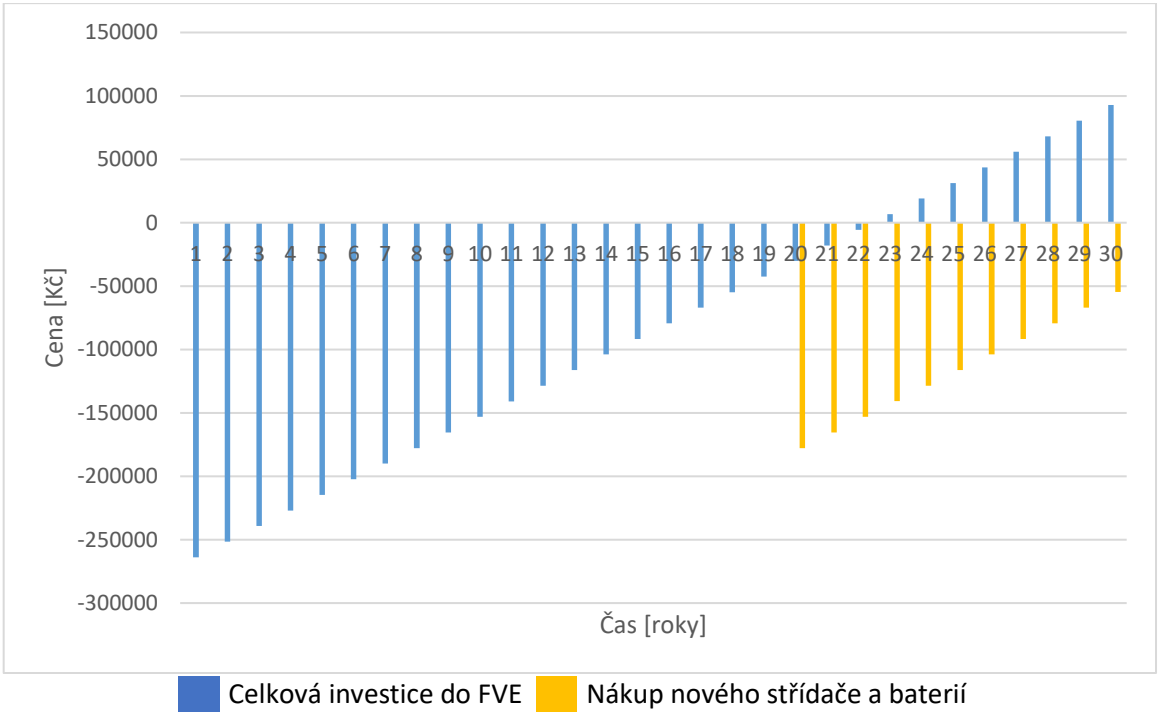
spotřebovat nebo akumulovat. Je vidět, že až za dvacet tři let se stane FVE výdělečnou investicí. V ideálním případě by FVE dále jen vydělávala, bohužel kolem dvacátého roku musí dojít k výměně střídače a baterií a tím se doba návratnosti prodlouží, až za dobu životnosti FV panelů. Tato skutečnost je v grafu reprezentována oranžovým sloupcem.

V ideálním případě, by mohla být životnost baterií cca dvacet let. U střídače to není tak snadné určit, výrobce v datasheetu uvádí pouze záruku na produkt maximálně deset let. Podle znalců v oboru, velmi závisí na způsobu používání střídače, ale předpokládá se, že po desátém roce bude nutno vyměnit degradované vnitní součástky střídače. Odhaduje se, že taková výměna může stát až 70 % původní ceny střídače.

Pro účely této práce byla uvažována koupě úplně nového střídače za současnou cenu. Lze předpokládat, že vlivem pokroku technologí a rozšiřováním instalací na rodinné domy, bude cena všech komponentů FVE do budoucna nadále klesat.

Varianta 1		
FVE vyrobí a spotřebuje se	3 180	kWh/rok
Přetok do sítě	0	kWh/rok
Cena za přetok	**0**	**Kč**
Ušetřená energie v NT	2 077,6	Kč
Ušetřená energie v VT	10 218,4	Kč
Ušetřená celkem	**12 296**	**Kč**
Odběr ze sítě	0	kWh/rok
Spotřeba NT	0	Kč
Spotřeba VT	0	Kč
Spotřeba celkem (Součet NT a VT)	**0**	**Kč**
Úspora za rok	**12296**	**Kč**

Tab. 6.3 Výpočet roční úspory FVE varianty 1



Graf 6.1 Doba návratnosti varianty 1

6.2.3 Cena FVE - Varianta 2

Jak je vidět ze soupisu materiálu, je toto řešení výrazně levnější, než výše uvedená varianta. Je to dáno především tím, že neobsahuje drahé baterie a lze na ni čerpat dotace z NZÚ v podoblasti C.3.4.

Varianta 2				
Komponenty FVE	**Typ**	**Množství [ks]**	**Cena za kus [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**
FV panel	GCL M6/60 300 Wp	10	4198	41980
Střídač	SMA Sunny boy 2.5	1	20555	20555
DC kabel	6 mm^2	32	44	1408
AC kabel	4 mm^2	15	26	390
Zemnící kabel	16 mm^2	20	47	940
Regulátor	Wattrouter Mx	1	8390	8390
Hliníková nosná konstrukce včetně upevňovacích součástek	Krajiczech	1	8207	8207
Svodič přepětí DC strana	Hakel PIIIM PV	1	3787	3787
Svodič přepětí AC strana	PIV 12,5	1	2798	2798
Jistič		2	889	1778
Elektroměr výroby FVE jednofázový	Maneller 9901D Digitální	1	534	534
Konektor	MC4	4	64	256
Spojka konektoru	MC4	12	139	1668
Pojistky	PV10	2	35	70
Pojistkové odpínače	OVPV	2	200	400
Bojler	Dražice LX ACDC/M+K	1	18000	18000
Cena bez bojleru				93 161,00 Kč
Cena s bojlerem				111 161,00 Kč
Dotace C.3.4				55 000,00 Kč
Dotace na posudek PENB				5 000,00 Kč
Cena (bez bojleru) po odečtení dotace				33 161,00 Kč
Finální cena po odečtení dotace				51 161,00 Kč

Tab. 6.4 Finální cena Varianty 2

6.2.4 Návratnost investic - Varianta 2

Díky absenci drahých baterií a finanční dotaci, se toto řešení zúročí již během jedenácti let. Dobré je, že i přes nutnost pořízení nového střídače, po dvaceti letech zůstávají hodnoty návratnosti FVE v kladných číslech. Po domluvě s distributorem sítě, lze sepsat individuální smlouvu o výkupu přebytků z FVE, ale cena se pohybuje okolo dvaceti haléřů za kWh. Proto je výhodnější veškerou energii spotřebovat.

Pozn.: Pro stanovení zjednodušeného výpočtu ušetřené a spotřebované energie v VT a NT bylo uvažováno, že NT je minimálně osm hodin denně, tzn 1/3 dne a VT zbývající 2/3 dne.

Příklad výpočtu:

$$Ušetřená\ energie\ v\ NT\ = \frac{2598}{3} \cdot 1{,}96 = 1\,697{,}36\ Kč \quad (1)$$

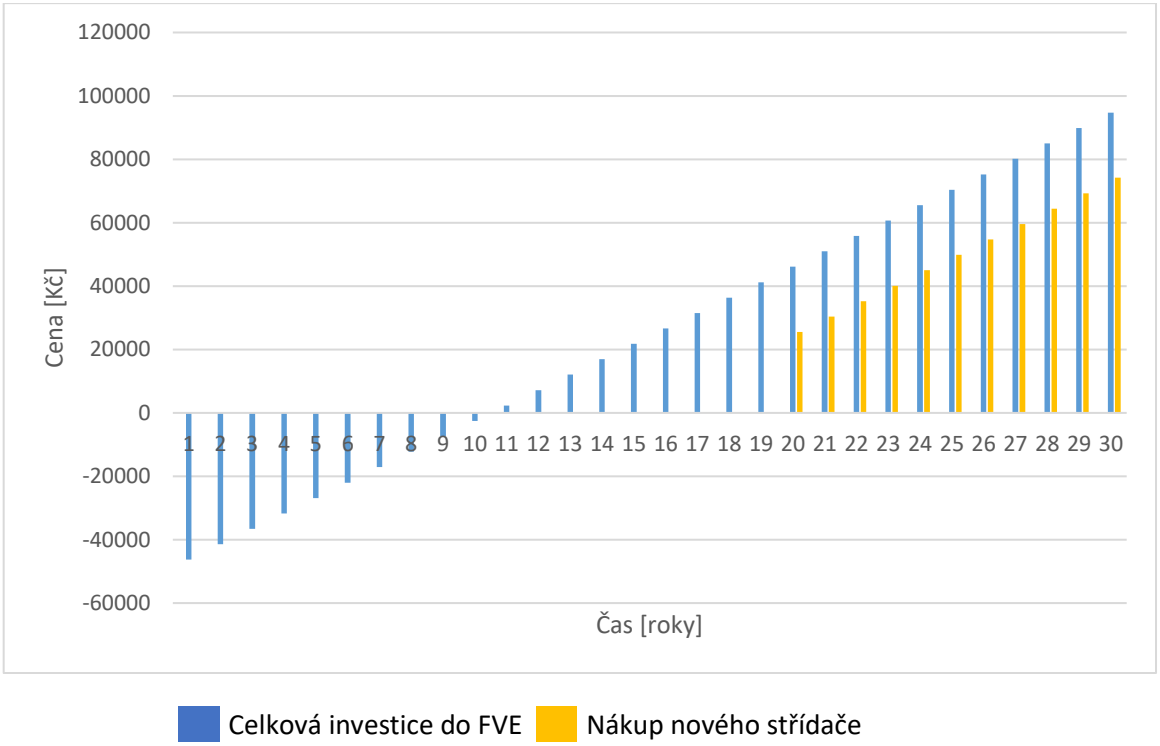
$$Ušetřená\ energie\ v\ VT\ = \left(2598 \cdot \frac{2}{3}\right) \cdot 4{,}82 = 8348{,}24\ Kč \quad (2)$$

$$Spotřebovaná\ energie\ v\ NT\ = \frac{1368}{3} \cdot 1{,}96 = 893{,}76\ Kč \quad (3)$$

$$Spotřebovaná\ energie\ v\ VT\ = \left(1368 \cdot \frac{2}{3}\right) \cdot 4{,}82 = 4\,395{,}84\ Kč \quad (4)$$

Varianta 2		
FVE vyrobí a spotřebuje se	2 598,00	kWh/rok
Přetok do sítě	525,00	kWh/rok
Cena za přetok	**106,40**	**Kč**
Ušetřená energie v NT	1 697,36	Kč
Ušetřená energie v VT	8348,24	Kč
Ušetřená celkem	**10 045,60**	**Kč**
Odběr ze sítě	1 368,00	kWh/rok
Spotřeba v NT	893,76	Kč
Spotřeba VT	4 395,84	Kč
Spotřeba celkem (Součet NT a VT)	**5 289,60**	**Kč**
Úspora za rok	**4 862,40**	**Kč**

Tab. 6.5 Výpočet roční úspory FVE varianty 2



Graf 6.2 Doba návratnosti varianty 2

6.2.5 Cena FVE - Varianta 3

Třetí varianta se nejvíce blíží ostrovnímu řešení. Je levnější, než první varianta, díky dotaci z NZÚ v podoblasti C.3.5.

Varianta 3				
Komponenty FVE	**Typ**	**Množství [ks]**	**Cena za kus [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**
FV panel	GCL M6/60 300 Wp	12	4198	50376
Střídač	SMA Sunny boy 3.0	1	30523	30523
DC kabel	6 mm^2	32	44	1408
AC kabel	4 mm^2	15	26	390
Zemnící kabel	16 mm^2	20	47	940
Regulátor	Wattrouter Mx	1	8390	8390
Hliníková nosná konstrukce včetně upevňovacích součástek	Krajiczech	1	13500	13500
Baterie	Pylontech US2000B	2	29000	58000
Sledovač stavu baterie	Victron BMV 700	1	3829	3829
Rámeček pro baterie	Pylontech	1	1430	1430
Kabelový set k bateriím	Pylontech	2	1416	2832
Svodič přepětí DC strana	Hakel PIIIM PV	1	3787	3787
Svodič přepětí AC strana	Hakel PIV 12,5	1	2798	2798
Jistič		2	889	1778
Elektroměr výroby FVE jednofázový	Maneller 9901D Digitální	1	534	534
Konektor	MC4	4	64	256
Spojka konektoru	MC4	12	139	1668
Pojistky	PV10	2	35	70
Pojistkové odpínače	OVPV	2	200	400
Bojler	Dražice LX ACDC/M+K	1	18000	18000
Cena bez bojleru				182 909,00 Kč
Cena s bojlerem				200 909,00 Kč
Dotace C.3.5				70 000,00 Kč
Dotace na posudek PENB				5 000,00 Kč
Cena (bez bojleru) po odečtení dotace				107 909,00 Kč
Finální cena po odečtení dotace				125 909,00 Kč

Tab. 6.6 Finální cena Varianty 3

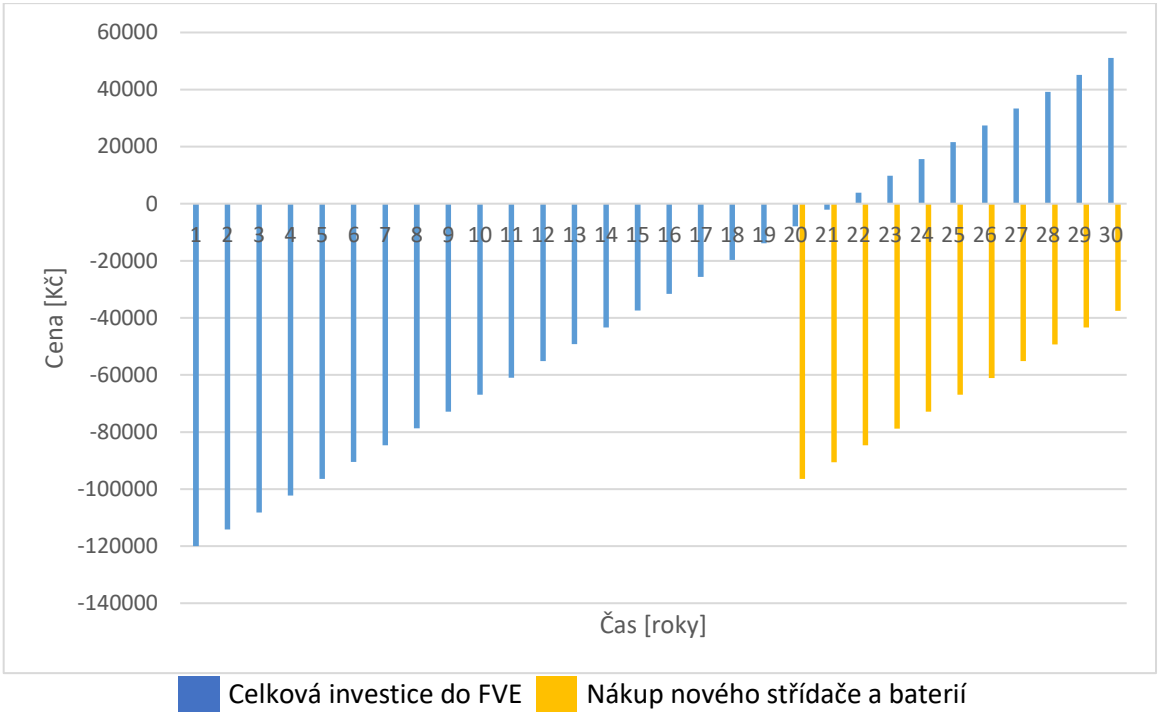
6.2.6 Návratnost investic - Varianta 3

Vlivem drahých komponentů se návratnost posouvá až na dvacátý druhý rok. Vysoké přetoky do sítě mají za následek, že tato varianta dosáhne pouze na dotaci C.3.5 tedy 70 000 Kč. Pokud by bylo možné pomocí Wattrouteru spotřebovat všechnu vyrobenou energii, mohl by investor pro tuto variantu žádat o dotaci z podoblasti C.3.6, tzn. 100 000 Kč.

Jak je vidět z grafu 6.3, bude během dvacátého roku třeba zainvestovat velmi vysokou sumu, aby FVE mohla fungovat dál. Jestli tato částka nebude podpořena nějakou dotací, nebo pokud v té době nebudou na trhu střídče a baterie znatelně levnější, nemá toto řešení z pohledu návratnosti investic, po dvacátém roku smysl.

Varianta 3		
FVE vyrobí a spotřebuje se	2 719,00	kWh/rok
Přetok do sítě	847,00	kWh/rok
Cena za přetok	**171,65**	**Kč**
Ušetřená energie NT	1 776,41	Kč
Ušetřená energie VT	8 737,05	Kč
Ušetřená celkem	**10 513,47**	**Kč**
Odběr ze sítě	1 238,00	kWh/rok
Spotřeba NT	808,83	Kč
Spotřeba VT	3 978,11	Kč
Spotřeba celkem (Součet NT a VT)	**4 786,93**	**Kč**
Úspora za rok	**5 898,19**	**Kč**

Tab. 6.7 Výpočet roční úspory FVE varianty 3



Graf 6.3 Doba návratnosti varianty 3

6.2.7 Cena FVE - Varianta 4

Díky tomu, že poslední varianta nemá fyzickou baterii, ale virtuální, odpadá nutnost pořizovat novou po dvaceti letech. Nevýhodou je vysoká počáteční cena za instalaci FVE.

Varianta 4				
Komponenty FVE	**Typ**	**Množství [ks]**	**Cena za kus [Kč]**	**Cena celkem [Kč]**
FV panel	Axitec AC 280P	10	3697	36970
Střídač	SMA Sunny boy 2.5	1	20555	20555
DC kabel	6 mm^2	32	44	1408
AC kabel	4 mm^2	15	26	390
Zemnící kabel	16 mm^2	20	47	940
Regulátor	Wattrouter Mx	1	8390	8390
Hliníková nosná konstrukce včetně upevňovacích součástek	Krajiczech	1	8207	8207
Svodič přepětí DC strana	Hakel PIIIM PV	1	3787	3787
Svodič přepětí AC strana	PIV 12,5	1	2798	2798
Jistič		2	889	1778
Elektroměr výroby FVE jednofázový	Maneller 9901D Digitální	1	534	534
Konektor	MC4	4	64	256
Spojka konektoru	MC4	12	139	1668
Pojistky	PV10	2	35	70
Pojistkové odpínače	OVPV	2	200	400
Měřící zařízení a řídící jednotka (Gateway)	E.ON	1	8500	8500
Montáž, rozvaděč FVE, doprava	E.ON	1	47249	83249
Bojler	Dražice LX ACDC/M+K	1	18000	18000
Cena bez bojleru				179 900,00 Kč
Cena s bojlerem				197 900,00 Kč
Dotace C.3.4				55 000,00 Kč
Dotace na posudek PENB				5 000,00 Kč
Cena od E.ON (bez bojleru) po odečtení dotace				119 900,00 Kč
Finální cena po odečtení dotace				137 900,00 Kč

Tab. 6.8 Finální cena Varianty 4

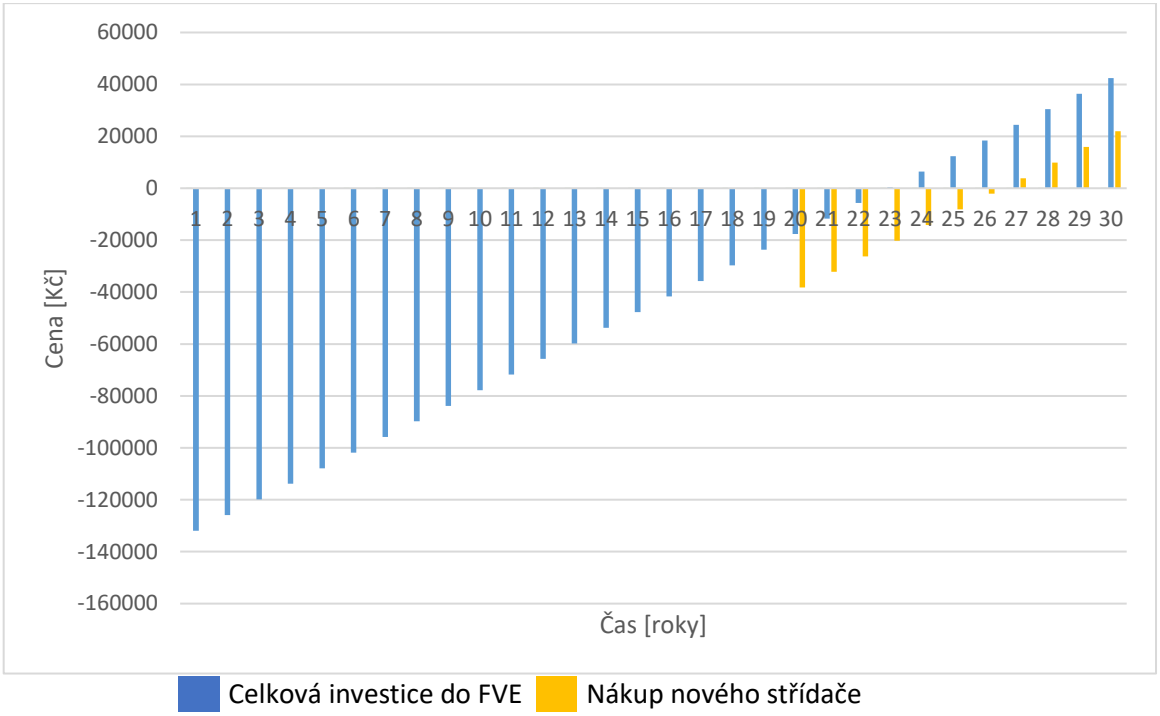
6.2.8 Návratnost Investic - Varianta 4

Vzhledem k tomu že poslední varianta nepotřebuje fyzické baterie, je třeba po dvaceti letech dokoupit pouze střídač. Bohužel počáteční cena je natolik vysoká, že návratnost investice nastane, až po dvaceti čtyřech letech. S výměnou střídače se opět návratnost prodlouží, tentokrát na dvacátý sedmý rok.

Do výpočtů návratnosti byly započítány finance potřebné k provozování virtuální baterie.

Varianta 4		
FVE vyrobí a spotřebuje se	2 531,00	kWh/rok
Přetok do sítě	406,00	kWh/rok
Cena za přetok	0,00	Kč
Ušetřená energie NT	1 653,59	Kč
Ušetřená energie VT	8 132,95	Kč
Ušetřená celkem	**9 786,53**	**Kč**
Čistý odběr ze sítě	1 028,00	kWh/rok
Spotřeba NT	671,63	Kč
Spotřeba VT	3 303,31	Kč
Spotřeba celkem (Součet NT a VT)	**3 974,93**	**Kč**
Uloženo ve virtuální baterii	406,00	kWh/rok
Spotřeba NT	265,25	Kč
Spotřeba VT	1 304,61	Kč
Celkem NT a VT	**1 569,87**	**Kč**
Tarif za rok	**588,00**	**Kč**
Distribuční poplatky VT za odběr z virt bat	696,66	Kč
Distribuční poplatky NT za odběr z virt bat	185,08	Kč
Distribuční celkem za odběr z virt bat	**881,75**	**Kč**
Vrit bat úspora	**100,12**	**Kč**
Úspora s FVE a virt bat za rok	**6 011,84**	**Kč**

Tab. 6.9 Výpočet roční úspory FVE varianty 4



Graf 6.4 Doba návratnosti varianty 4

6.3 Závěr finančního ohodnocení variant

Nejlépe ze všech vychází varianta dvě, která je nejlevnější a investice se u ní nejrychleji vrátí. Nevýhodou je, že nezvládne fungovat v ostrovním režimu. Pokud by šlo o reálnou zakázku na tento konkrétní rodinný dům, představovala by varianta dvě, pro investora nejlepší řešení z výše uvedených. Jak výhodné je toto řešení pro investora, bude uvedeno v následující kapitole.

Při srovnání fyzické a virtuální baterie vyšlo, že pořizovací cena fyzické baterie u třetí varianty je 58 000 Kč, s nutností výměny za dvě nové po dvaceti letech. Tím se celkové náklady za baterie, vyšplhají na 116 000 Kč. Naopak u FVE s virtuální baterií činí poplatky jen 1 470 Kč za rok, tzn. za dvacet let, při stejných cenách, by virtuální baterie vyšla na 29 400 Kč, což je aktuální cena jedné baterie Pylontech US 2000 B. Za třicet let by při současných cenách virtuální baterie stála 44 100 Kč. Roční úspory obou variant jsou zhruba stejné. Díky tomu se může zdát virtuální baterie, jako jasný vítěz, avšak má i své nevýhody, těmi jsou především:

- Poplatky za odběr uložené elektřiny
- Předem dané období, kdy lze z virtuální baterie odebírat elektřinu
- Vysoké pořizovací náklady celé FVE

I přesto je čtvrtá varianta rentabilnější, než varianta tři.

7 Porovnání nejvýhodnější varianty FVE s variantou napájení ze sítě

V Tab. 5.1 je finanční porovnání třech situací, pro daný objekt. První je současný stav, kdy je používán tarif D02d k napájení elektrických spotřebičů. Ohřev TUV a vytápění je zajištěn plynovým kotlem. Jak je z tabulky patrné, celkem za rok majitel zaplatí 29 163 Kč.

Druhá situace představuje, jak by to vypadalo, kdyby byl objekt na tarifu D25d s ohřevem TUV, ale bez FVE. Je patrné, že celkové roční náklady jsou výrazně vyšší, vlivem nové ceny tarifu a většího odběru elektřiny na ohřev TUV. Celkové roční náklady činí 35 511 Kč.

Třetí situace je stav, kdy je objekt připojen na tarif D25d a je vybaven FVE s připojením k distribuční síti a má možnost ohřevu TUV. V tabulce je uvedena pouze cena, kterou majitel zaplatí za roční odběr energie ze sítě, který instalovaná FVE nezvládne pokrýt.

Porovnáním stavajícího stavu a navržené varianty s FVE vychází, že investor ušetří ročně za elektřinu 2 204 Kč a za plyn 1 905 Kč. V součtu tedy ušetří 4 109 Kč za rok. V takovém případě by se investice vrátila až za dvanáct a půl roku. Samozřejmě velmi závisí na vývoji cen energií do budoucna. [35]

	Situace 1	**Situace 2**	**Situace 3**
	Objekt bez FVE tarif D02d (2017 -2018)	**Objekt bez FVE D25d (2019)**	**Objekt s FVE D25d (2019)**
Elektřina			
Celková cena v VT	8 250	8 479	4 396
Celková cena v NT	0	4 293	894
Roční poplatky	2 712	3 468	3 468
Celkem za rok	**10 962**	**16 240**	**8 758**
Plyn			
Celková cena	14 766	16 067	13 092
Roční poplatky	3 435	3 204	3 204
Celkem za rok	**18 201**	**19 271**	**16 296**
Celkové roční náklady za elektřinu a plyn	**29 163**	**35 511**	**25 054**

Cena tarifu D02d ve VT = 4,69 Kč/kWh, poplatky = 226 Kč/měsíc
Cena tarifu D25d ve VT = 4.82 Kč/kWh a v NT = 1,96 Kč/kWh poplatky = 289 Kč/měsíc

Tab. 5.1 Přehled ročních nákladů na chod domácnosti (hodnoty jsou v Kč)

Jak je vidět navržená FVE má pro daný objekt smysl. Pokud by majitel dokázal optimalizovat přetoky pomocí Wattrouteru na nulu, bude úspora větší a návratnost investic rychlejší.

Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo provést energetickou bilanci rodinného domu. Prostřednictvím programu Energetika jsem určil výši tepelných ztrát objektu jeho obálkou na 18,21 kW. Podle celkové energetické náročnosti jsem objekt zařadil do kategorie „D – méně úsporná“. Z výsledku programu a ročního vyúčtování jsem mohl určit potřebu energie na ohřev TUV a vytápění.

Dále jsem vytvořil čtyři návrhy zásobení objektu elektřinou a teplem tak, aby splňovaly zadání diplomové práce. Jako zdroj jsem zvolil fotovoltaickou elektrárnu v různých typech zapojení. Provedl jsem simulace v programu PV*SOL premium a z výsledků jsem určil variantu, která dokáže nejlépe pokrýt spotřebu objektu, při které je zároveň nejmenší odběr energie z distribuční sítě. Jednalo se o variantu číslo dvě, FVE s připojením k distribuční síti a akumulací do TUV.

Následně jsem sestavil podrobý seznam všech komponentů ze kterých se skládají jednotlivé navržené varianty a provedl jsem jejich nacenění, dle aktuálně dostupných komponentů na českém trhu. Z celkových cen jednotlivých variant jsem odečetl příslušné dotace NZÚ, na které měly dané varianty nárok. Poté jsem provedl výpočet ročních úspor za elektřinu z FVE a z toho jsem určil dobu návratnosti variant. Z výpočtů vyšla opět nejlépe varianta číslo dvě, u které dojde k návratnosti investic po dvanácti a půl letech. Tato varianta bude v kladných číslech i přes nutnost nákupu nového střídače po dvaceti letech. Zbylé varianty měly příliš dlouhou dobu návratnosti, kvůli potřebě dokupování drahých komponentů po uplynutí doby jejich životnosti. Proto jsem shledal tyto varianty, nerentabilními a dále jsem je neporovnával.

V bodě 4.3 jsem provedl porovnání rentability mezi fyzickou a virtuální baterií. Zjistil jsem, že kvůli vysoké pořizovací ceně a omezené životnosti, se fyzická baterie jeví jako méně výhodné řešení proti virtuální baterii. Pokud by v budoucnu bylo možné naisntalovat FVE s virtuální baterií svépomocí, značně by se tím ušetřilo a návratnost investic by byla výrazně rychlejší.

V poslední kapitole jsem porovnal tři situace, ve kterých se může objekt nacházet. V případě stávajícího stavu měl objekt vyšší výdaje za plyn, ve druhém naopak za elektřinu. Třetí situace představovala optimální řešení díky úspoře pomocí FVE s akumulací do TUV. Toto řešení jsem shledal pro daný objekt jako nejvýhodnější. Výsledkem bylo, že roční

úspora za elektřinu a plyn je 4 109 Kč/rok a návratnost je v porovnání s první situací přijatelných dvanáct a půl roku.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] HASELHUHN, Ralf. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011, 176 s. ISBN 978-80-86167-33-6.

[2] *HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka: pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Přeložil Anna ROHÁČOVÁ, přeložil Pavel ROHÁČ, přeložil Anna ŽENÍŠKOVÁ, přeložil Eva HOŘEJŠÍ, přeložil Jana KLAMO, přeložil Jitka HICKOVÁ, přeložil Veronika MARTINOVSKÁ, přeložil Tomáš BAROCH. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.*

[3] PETRÁŠ, Dušan a kol. *Vytápění rodinných a bytových domů*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. 246 s. Vytápění; sv. 3. Architektura, stavebnictví, bydlení. ISBN 80-8076-020-9.

[4] FOTOVOLTAIKA. [online]. Dostupné z: http://www.tzb-energ.cz/fotovoltaika.html

[5] Fotovoltaika [online]. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.pilasolare.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=101&Itemid=29

[6] Technologie [online]. Copyright ©2005 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.isolar.cz/technologie.html

[7] Fotovoltaické systémy. [online]. Copyright © 2008 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.elgelectric.com/oblast-cinnosti/slaboproude-technologie/fotovoltaicke-systemy

[8] Hybridní fotovoltaický systém [online]. Copyright ©2014 SOLAR ENVI a.s. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.solarenvi.cz/a-7-hybridni-fotovoltaicky-system.html

[9] E.ON Solar. *Solární systémy a fotovoltaika s Virtuální baterií | E.ON Solar* [online]. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.eon-solar.cz/?gclid=EAIaIQobChMI2evG9e-_4gIVxYbVCh2jcQd7EAAYASAAEgJ-oPD_BwE

[10] O energetice - Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR [online]. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti/

[11] České slunce - solární panely, solární systémy, solární mapa, ekologie. [online]. Copyright © České slunce servisní s.r.o., Karlovo náměstí 290 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.ceskeslunce.cz/faq.html

[12] Solar-Eshop - Solární kabel, síla 4 mm, černý [online]. Copyright © 2019 SVP Solar s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.solar-eshop.cz/p/solarni-kabel/

[13] Solar-Eshop - Měniče DC/AC - Hybridní [online]. Copyright © 2019 SVP Solar s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.solar-eshop.cz/c/fotovoltaika-1/menice-1/hybridni-menice/

[14] *Nejpoužívanější pojmy ve fotovoltaice* [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11772-nejpouzivanejsi-pojmy-ve-fotovoltaice

[15] *Viessmann Česká republika* - Možnosti skladování energie ve fotovoltaice [online]. Dostupné z: https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/skladovani-energie-fotovoltaika.html

[16] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice. *Isofen Energy - titulní stránka* [online]. Copyright © 2009 Isofen Energy s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.elektrinazestrechy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx

[17] Fotovoltaika - sluneční záření v České republice. *Isofen Energy - titulní stránka* [online]. Copyright © 2009 Isofen Energy s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.elektrinazestrechy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx

[18] Zelený bonus [online]. Copyright © Copyright Done, s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.mojeenergie.cz/cz/zeleny-bonus

[19] ERÚ - Často kladené dotazy [online]. Copyright © [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy

[20] O programu – Nová zelená úsporám. *Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení* [online]. Copyright © 2019 Státní fond životního prostředí ČR [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/o-programu/

[21] Rodinné domy – zdroje energie – Nová zelená úsporám. *Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení* [online]. Copyright © 2019 Státní fond životního prostředí ČR [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zdroje-energie/

[22] Detail dokumentu – Nová zelená úsporám. *Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení* [online]. Copyright © 2019 Státní fond životního prostředí ČR [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.novazelenausporam.cz/dokumenty/detail/?id=591

[23] Energetická bilance domu – Ekowatt [online]. 2008 [cit. 2019-0529]. Dostupné z: https://ekowatt.cz/uspory/energeticka-bilance-domu.shtml

[24] Výpočet tepelné ztráty domu [online]. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.2kenergy.cz/novinky/vypocet-tepelne-ztraty-domu-22.html

[25] Praktický návod: Jak spočítat tepelnou ztrátu domu [online]. Copyright © 2018 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.nazeleno.cz/vytapeni/prakticky-navod-jak-spocitat-tepelnou-ztratu-domu.aspx

[26] Energetická náročnost budov – definice pojmů [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu

[27] Co to je PENB. *Energetický štítek* [online]. [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: http://www.budovyprukaz.cz/co-to-je-penb.html

[28] DVORSKÝ, Emil. *Cvičení z předmětu MMEE* [online]. 2019 [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~dvorsky/MMEE/Cviceni.html

[29] TZBinfo. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. 2019 [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody

[30] Normalizované TDD. [online]. Copyright © OTE, a.s., 2018 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/typove-diagramy-dodavek-plynu/normalizovane-tdd?date=2019-05-29

[31] Solar-Eshop [online]. Copyright © 2019 SVP Solar s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.solar-eshop.cz/p/fv-panel-gcl-300wp/

[32] Solaris-shop [online]. Copyright © 2014 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.solaris-shop.com/axitec-axipower-ac-270p-156-60s-270w-poly-solar-panel/

[33] ifTECH s.r.o [online]. Copyright © 2015 ifTECH s.r.o. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/solarni-menice/220-solarni-menic-sma-sunny-boy-25.html

[34] Otázky k fotovoltaice č. 201 – 220 [online]. Copyright © 2019 CZECH ENERGY TEAM.cz [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://czechenergyteam.cz/otazky-k-fotovoltaice-c-201-220/

[35] Porovnání cen elektřiny [online]. Copyright © 2010 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://www.usetreno.cz/energie-elektrina/

[36] SOLAR controls s.r.o. [online]. Copyright © 2010 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://solarcontrols.cz/cz/introduction.html

[37] Enerfin plus – Wattrouter – jak pracuje wattrouter [online]. [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: https://solarcontrols.cz/cz/introduction.html

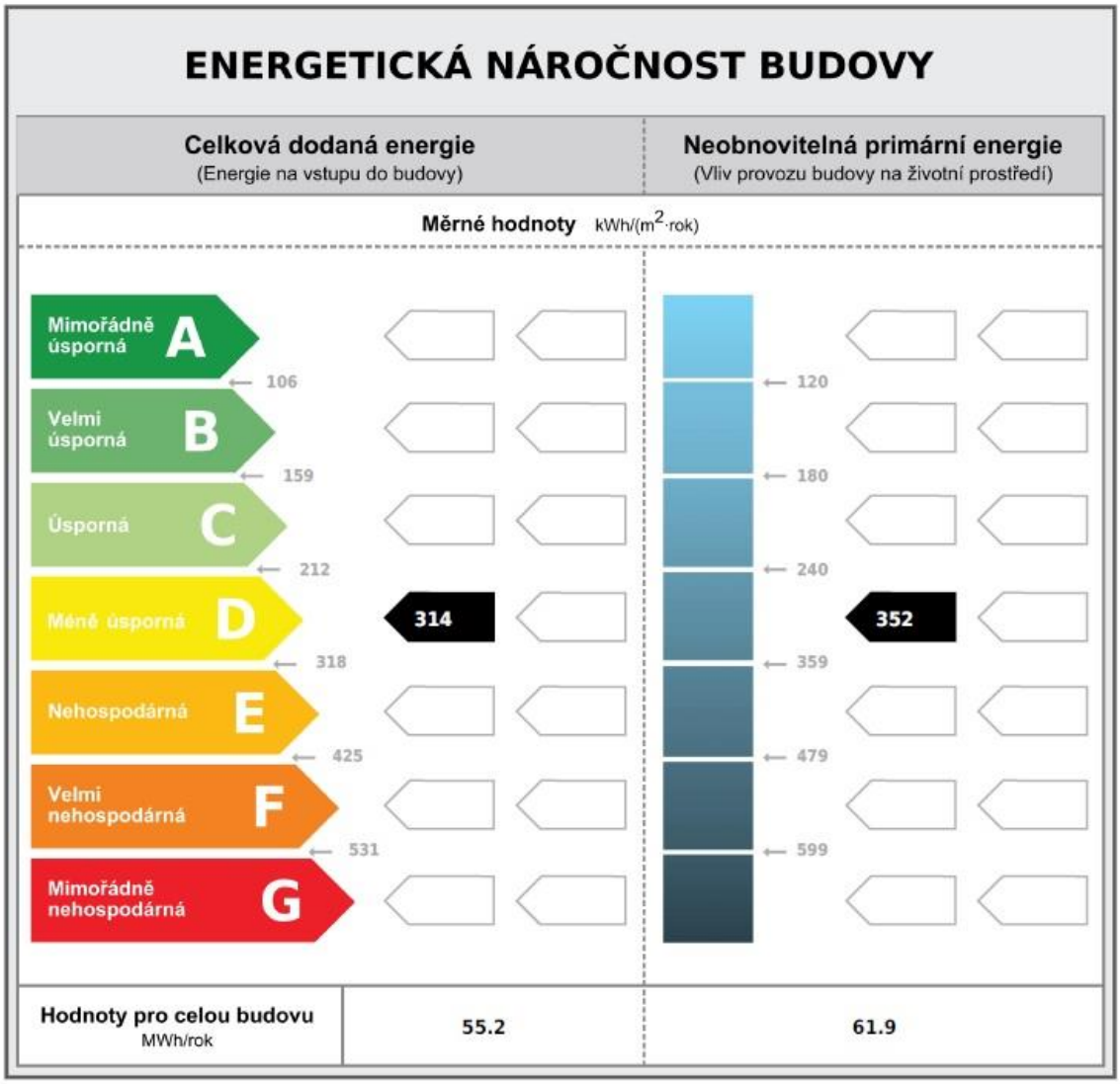
[38] Závěsné ohřívače vody [online]. Copyright © 2014 [cit. 29.05.2019]. Dostupné z: http://www.dzd-fv.cz/cs/sortiment/zavesne-ohrivace

[39] *iKatastr: mapa a informace z KN* [online]. [cit. 29.05.2019] Dostupné z: https://ikatastr.cz/?fbclid=IwAR2t1lBF98GHibumIo10qZPdO6fFcstI5z6tAPr9Qq11KH7t0rZWfHiZDd4#kde=49.71573,13.41592,19&info=49.71566,13.41583

Přílohy

Grafické znázornění PENB vytvořené programem Energetika www.deksoft.eu:

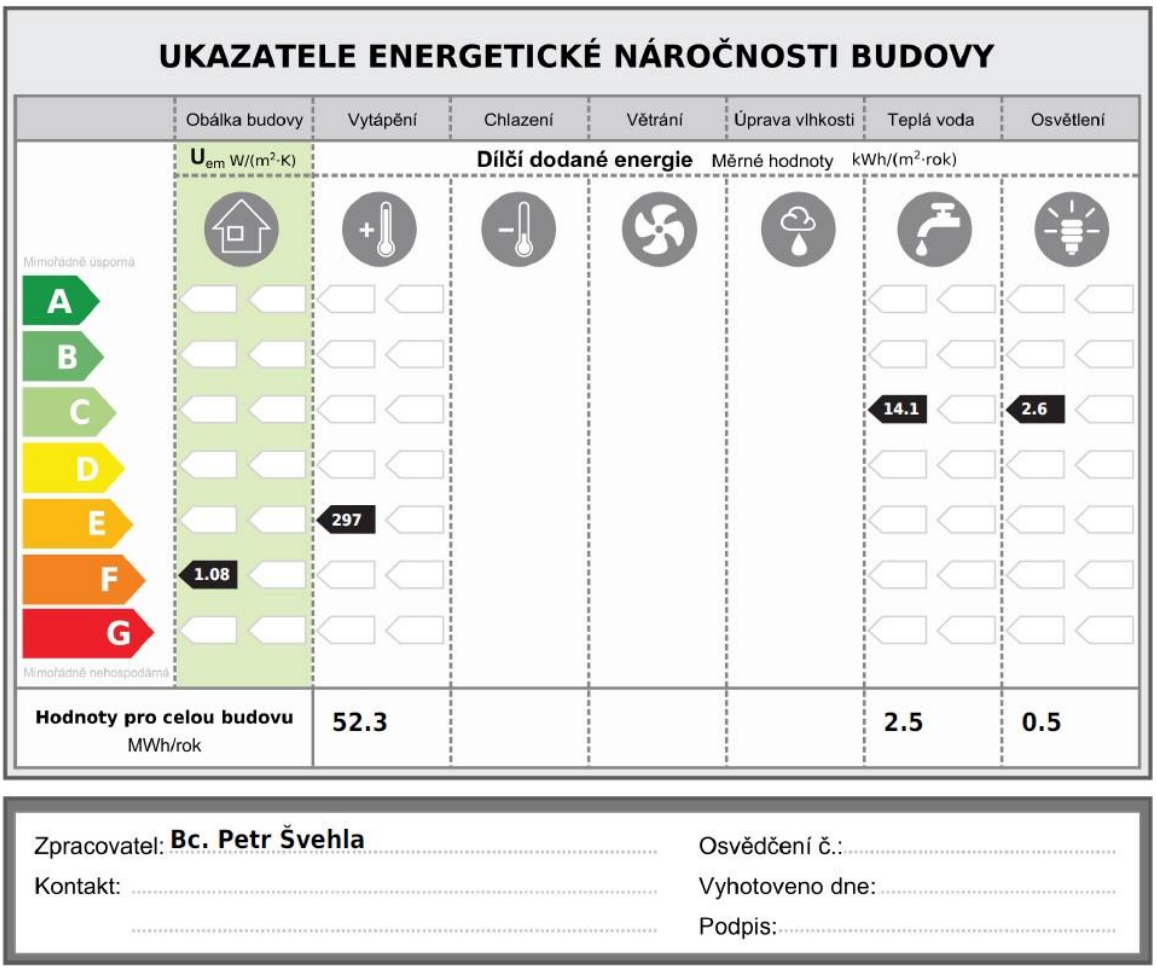
Příloha 1



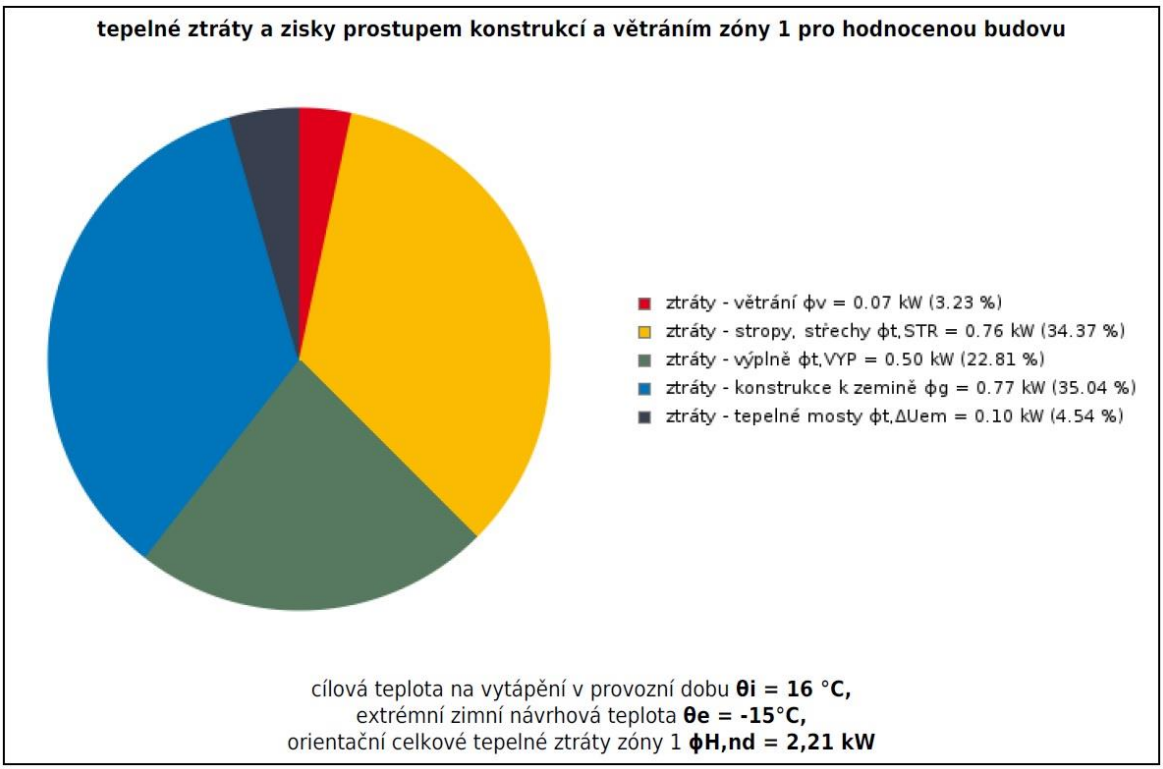
Obr.1 Výsledný PENB rodinného domu

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY						
Typ budovy:	Rodinný dům				Hodnocení obálky budovy	
Adresa budovy (místo, ulice, popisné číslo, PSČ):						
Katastrální území:						
Parcelní číslo:						
Celková podlahová plocha A_c = 175,73 [m²]					stávající	doporučení
CI velmi úsporná A 0,50 B 0,75 C 1,00 D 1,50 E 2,00 F 2,50 G mimořádně nehospodárná					2,16	
KLASIFIKACE					F	-
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} [W/(m²K)] $U_{em}=H_T/A$					1,08	-
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2 $U_{em,N}$ [W/(m²K)]					0,50	-
Klasifikační ukazatele CI a jim odpovídající hodnoty U_{em}						
CI	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
U_{em}	0,25	0,37	0,50	0,75	1,00	1,25
Platnost štítku do (datum):				20.4.2029 (nebo do změny obálky budovy)		
Jméno a příjmení:				Bc. Petr Švehla		

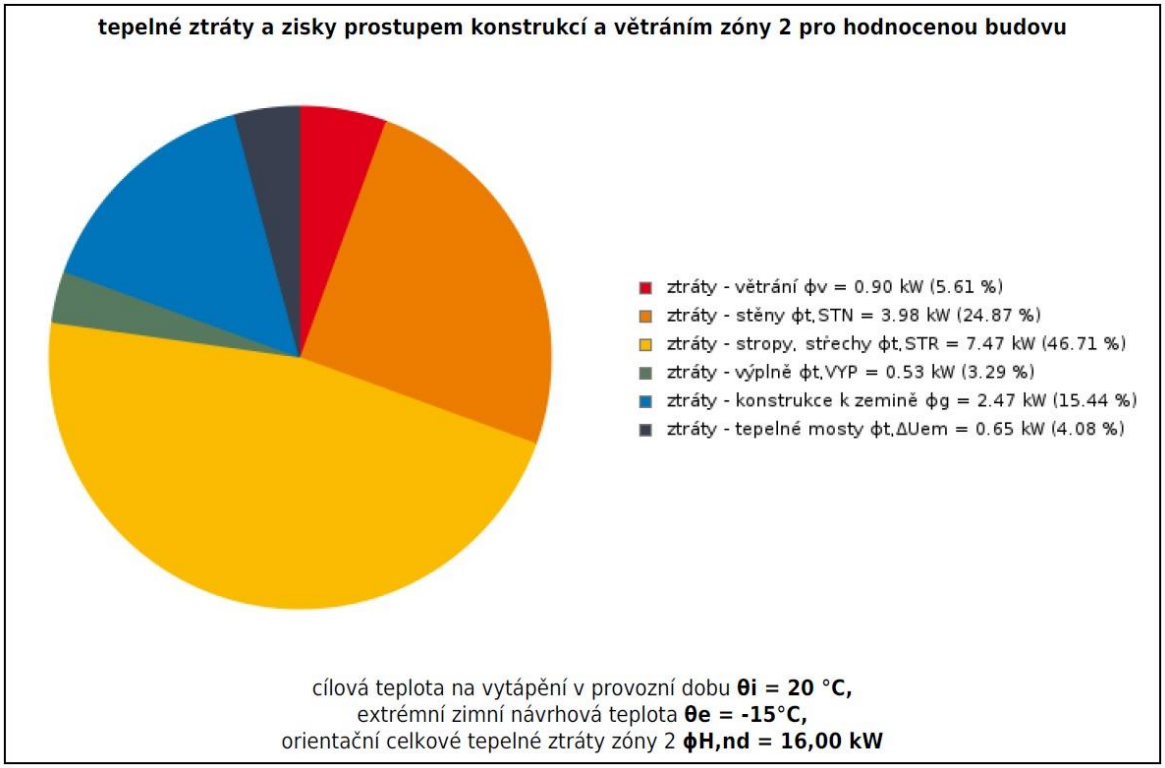
Obr. 2 PENB obálky rodinného domu



Obr. 3 Přehled dílčích posuzovaných kategorií



Graf. 4 Tepelné ztráty a zisky prostupem konstrukcí a větráním Zóna 1



Graf. 5 Tepelné ztráty a zisky prostupem konstrukcí a větráním Zóna 2