



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NÁVRATNOST DOMÁCÍ FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

FINANCIAL RETURN OF HOME PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Jančík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Mauder, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Josef Jančík**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Mauder, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

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

Návratnost domácí fotovoltaické elektrárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ze současných energetických trendů je decentralizace výroby elektrické energie s využitím obnovitelných zdrojů. Fotovoltaické solární panely poskytují elektrickou energii, schopnou nahradit část, případně všechnu elektrickou energii dodávanou z elektrické sítě. Dnešní systémy vyžadují doplňkové akumulaciční uložení. Tato práce by se měla zaměřit na současný stav účinnosti fotovoltaických panelů, akumulaci elektrické energie, možnosti dobíjení elektromobilu pomocí fotovoltaiky a ekonomickou rozvahu návratnosti takového systému.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je popsání domácí fotovoltaické elektrárny a stručně charakterizovat spotřebu modelového domu a navrhnout optimální řešení fotovoltaického systému pro tento dům. Dále výpočet návratnosti, při kombinaci různých obnovitelných zdrojů se zahrnutím vývoje cen energií.

Seznam doporučené literatury:

ŘEHÁK, J., BÁRTEK, J., BAŘINKA, R. Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování. Praha: Česká energetická agentura, 2010, 61 s.

LIBRA, M., POULEK, V. Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 1. vyd. V Praze: ČZU, 2005, 122 s. ISBN 80-213-1335-8.

CIHELKA, J. Solární tepelná technika, 1994. 1. vydání. Praha: T. Malina.

CHLEBOUN, J. Degradční testy polymerních materiálů vystavených klimatickým podmínkám. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 59 s.

ABSTRAKT

Práce se zaměřuje na zhodnocení návratnosti fotovoltaického systému rodinného domu. Fotovoltaika je zde uvažována samostatně, s akumulací a v kombinaci s dalšími alternativním zdrojem – tepelným čerpadlem. Náklady na provoz a instalaci nových systému jsou porovnávány mezi sebou a s náklady na provoz současného systému bez fotovoltaiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaika, návratnost, spotřeba, fotovoltaický systém, obnovitelné zdroje

ABSTRACT

This thesis is focused on return on investment evaluation of a photovoltaic system of residential house. The calculation is made for photovoltaic system with and without accumulation and in combination with other alternative source – heat pump. The costs of installation and working of new systems are then compared between each other and with the cost of working of a current system without photovoltaic.

KEYWORDS

Photovoltaics, return on investment, consumption, photovoltaic system, renewable sources

JANČÍK, Josef. *Návratnost domácích fotovoltaických elektráren*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 2022, 64 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mauder, Ph.D

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Josef Jančík
VUT ID autora: 217259
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečné práce: návratnost domácí fotovoltaické elektrárny

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

* Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Mauderovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci a panu Ing. Milanovi Malému, Ph.D. a jeho rodičům za poskytnutí podkladů k jejich domu. Dále bych také rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich podporu a poskytnutí času a prostoru pro psaní práce.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 15 |
| 1 Fotovoltaika | 17 |
| 1.1 Popis funkce panelu | 17 |
| 1.2 Rozdělení FV panelů | 19 |
| 1.3 Výroba a likvidace | 20 |
| 1.4 Další součásti a náležitosti FV systému | 21 |
| 1.5 Výhody a nevýhody FV systému | 24 |
| 2 Charakteristika vybraného domu | 27 |
| 2.1 Návrhový dům | 27 |
| 2.2 Spotřeba energií návrhového domu | 28 |
| 2.3 Ceny energií a jejich vývoj | 29 |
| 3 Srovnání FV panelů | 31 |
| 3.1 Skutečná účinnost panelu | 31 |
| 3.2 Vyprodukovaná energie | 32 |
| 3.3 Srovnání panelů | 32 |
| 4 Návrh systému a výpočet návratnosti | 35 |
| 4.1 Rozsah systému | 35 |
| 4.2 Systém s vyšší produkcí | 35 |
| 4.3 Systém s nižší produkcí s akumulátory | 36 |
| 4.4 Systém s nižší produkcí bez akumulátorů | 37 |
| 4.5 Virtuální baterie | 38 |
| 4.6 Zhodnocení a srovnání | 39 |
| 5 Elektromobil | 43 |
| 5.1 Popis | 43 |
| 5.2 Nabíjení | 43 |
| 5.3 Srovnání | 44 |
| Závěr | 47 |
| Literatura | 49 |
| Seznam symbolů a zkratk | 53 |
| Seznam příloh | 55 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| A Grafy vývoje nákladů za energie | 57 |
| B Soubor pro vykreslení návratnosti | 63 |

Úvod

V posledním desetiletí se v ekonomicky vyspělých státech začala významně rozvíjet snaha o environmentálně udržitelný přístup ke všem odvětvím průmyslu. Tato snaha pramení především z větší uvědomělosti investorů i široké veřejnosti, ale také k ní velkou měrou přispívají regulace a sankce ze stran států a nadnárodních organizací, především tedy Evropské unie.

Sektorem na který tyto regulace dopadají ze všech nejvíce a který tudíž prochází největší změnou směrem k větší udržitelnosti a šetrnosti k životnímu prostředí je energetický průmysl. Důvodem k tomuto přístupu je v první řadě převládající způsob výroby elektrické energie a to spalování fosilních paliv. Spalování fosilních paliv s sebou přináší velké množství negativních dopadů na životní prostředí, mezi něž se řadí například globální rozvrat klimatu, či vyčerpávání neobnovitelných přírodních zdrojů. Tato postupná proměna energetiky spolu s trendem dnešní doby, kterým je potřeba soběstačnosti a samostatnosti, vede mnoho lidí k pořízení alternativního zdroje elektrické energie.

Nejpopulárnějším z těchto alternativních zdrojů pro rodinné domy jsou, díky své jednoduché údržbě a dostupnosti na trhu, fotovoltaické (FV) panely. Zásadní otázkou však je, zda jsou tyto články vzhledem ke své pořizovací ceně a omezené životnosti z finančního hlediska v dnešní době opravdu výhodné, případně v jakých situacích se jejich užití vyplatí.

Další oblastí průmyslu, která směřuje k environmentální udržitelnosti, přestože se u ní tento postup neseťká s tak pozitivními ohlasy jako v oblasti energetiky, je průmysl automobilový. V současnosti se v tomto odvětví projevuje snaha o upuštění od klasických spalovacích motorů a přechodu k ekologicky šetrnějším pohonům, jako jsou například elektromotory. Část práce bude proto věnována také nabíjení elektromobilů.

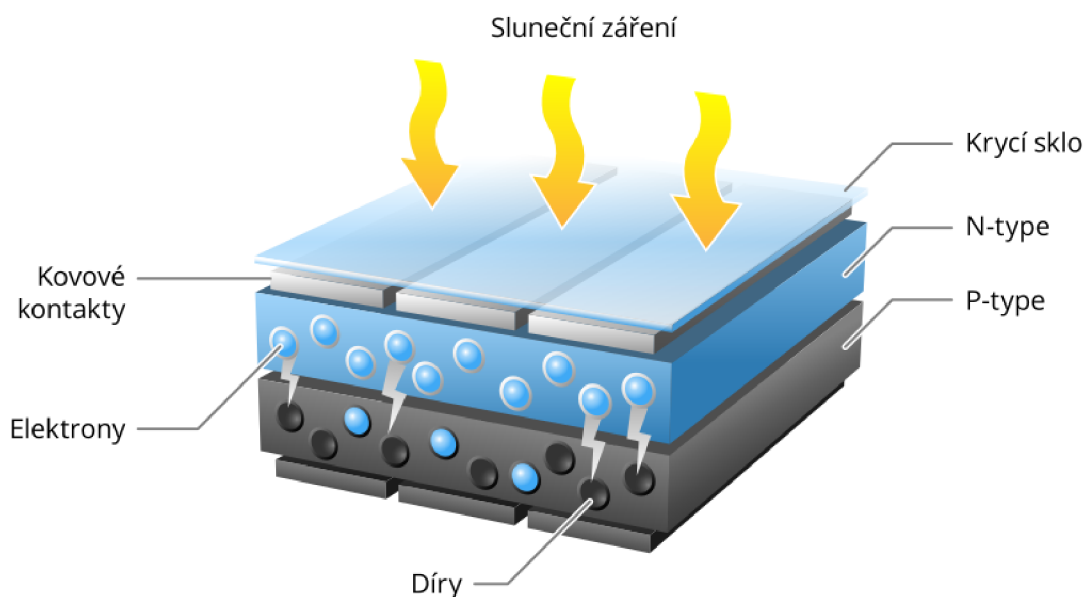
Cílem této práce je tedy zanalyzovat potřeby vybraného domu z hlediska zásobování energiemi a podle této analýzy následně určit návratnosti vybraných FV systémů. Návratnost bude srovnávána pro různou rychlost růstu cen energií a pro různé způsoby vytápění (tepelným čerpadlem a plynovým kotlem). V neposlední řadě bude také porovnáno nabíjení elektromobilu pomocí fotovoltaiky oproti jeho nabíjení ze sítě.

1 Fotovoltaika

1.1 Popis funkce panelu

Fotovoltaický panel je zařízení schopné přeměňovat energii dopadající na zem ve formě slunečního záření na energii elektrickou. Princip této přeměny je založen na tzv. vnitřním fotoelektrickém jevu (fotoefektu). Elektron absorbuje elektromagnetické záření (v tomto případě záření ze slunce), čímž se zvýší jeho energetická hladina, uvolní se z elektronového obalu atomu a stane se vodivostním. Zároveň po sobě při tomto uvolnění zanechá elektron volné místo, neboli díru, která je následně zaplněna dalším uvolněným elektronem. Tímto způsobem vzniká řetězová reakce, zvaná generace páru elektron-díra, která má za následek tok elektrického proudu [1].

Tento efekt se odehrává v polovodičové součástce, zvané fotodioda. Princip její funkce je zobrazen v obrázku 1.1.



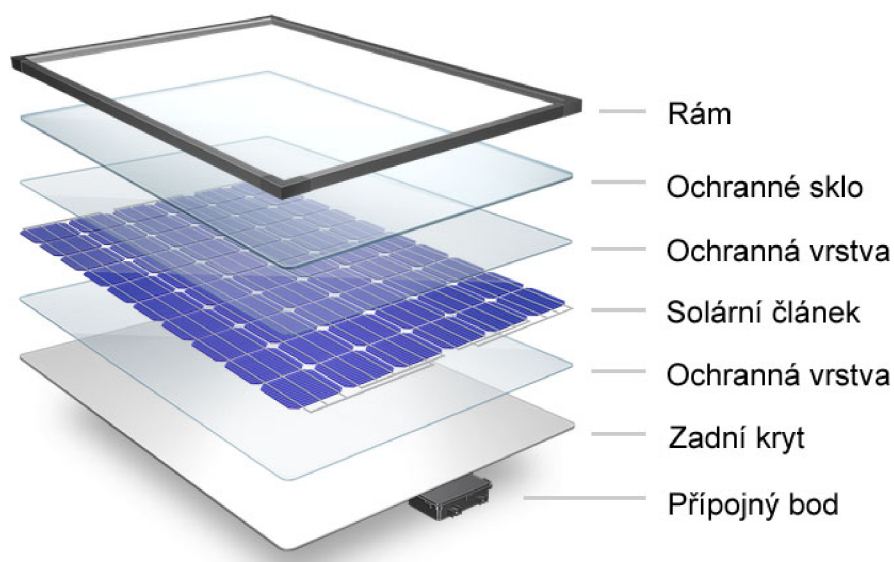
Obr. 1.1: Princip fotodiody [2]

Fotodiody pro FV panely jsou vyráběny převážně z křemíku, což je poměrně levný a především osvědčený materiál. Jiné polokovy jsou zatím používány spíše výjimečně. Každá fotodioda se skládá ze dvou vrstev polovodiče. Jedna vrstva je typu P, což znamená, že je znečištěna nepatrným množstvím atomů trojmocného prvku, jako je například bor nebo hliník. Jelikož samotný křemík je čtyřmocný,

v krystalické mřížce vzniknou prázdná místa - díry. Druhá vrstva je typu N, která je naopak znečištěna atomy pětimocného prvku, nejčastěji fosforu. Ve struktuře této vrstvy tedy vznikne přebytek elektronů. Toto uspořádání se nazývá PN přechod a právě ten umožňuje generaci volných elektronů usměrnit a přeměnit v elektrický proud.

Vzhledem k tomu, že jedna fotodioda je schopna produkovat jen velice malé množství elektrické energie, je jich ve fotovoltaickém panelu spojeno více. Sériově-paralelním spojením fotodiód vznikne jedna z vrstev, ze kterých se panel skládá. Počet a spojení diód určuje výstupní napětí panelu. Vrstva fotodiód je z obou stran obklopená fólií z ethylenvinylacetátu (EVA) – vysoce odolného, průhledného polymeru, sloužícího k ochraně diód a vodičů před vnějšími vlivy, jako jsou například otřesy, či zatékání vody [3].

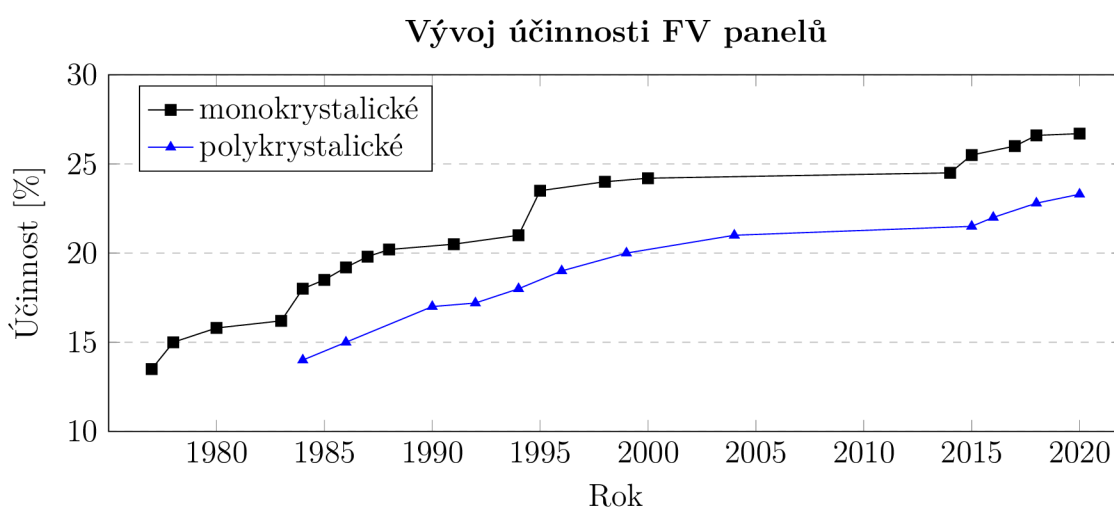
Čelní stranu panelu tvoří tvrzené sklo, které by mělo být co nejtenčí, aby dosáhlo potřebných optických vlastností, zároveň však také dostatečně pevné, aby odolalo krupobití, nebo poškození při montáži. Pro lepší prostup světla se nejčastěji využívají speciální skla s nízkým obsahem železa a antireflexní vrstvou. Spodní vrstvou panelu je krycí deska, nejčastěji vyráběná z plastu, například polypropylenu (PP), či polyethylentereftalátu (PET). Existují také panely oboustranné, jejichž zadní strana je, stejně jako přední, prosklená. Celý panel je umístěn v lehkém hliníkovém rámu, který drží všechny vrstvy pohromadě. Poslední součástí panelu je rozvodná skříňka s kabely pro připojení [4].



Obr. 1.2: Schéma FV panelu [5]

1.2 Rozdělení FV panelů

Nejčastěji se vyskytujícím typem panelů jsou panely křemíkové – monokrystalické a polykrystalické. Monokrystalické panely, jak už jejich název napovídá, se skládají z buněk (fotodiod), tvořených jedním krystalem křemíku. Polykrystalické buňky jsou naopak tvořeny kousky několika krystalů. Tyto dva druhy je od sebe většinou možné jednoduše odlišit podle barvy – monokrystalické mají barvu černou, polykrystalické jsou tmavě modré. Liší se také účinností a cenou - monokrystalické jsou účinnější a trvanlivější, za to mají ovšem vyšší pořizovací náklady. Tyto rozdíly však nejsou nějak významné a lze tedy předpokládat, že výnosnosti obou typů budou velmi podobné [6].



Obr. 1.3: Vývoj účinnosti monokrystalických a polykrystalických FV panelů během let 1977 až 2020¹

Dalším typem jsou panely tenkovrstvé - ty jsou tvořeny tenkou vrstvou polovodiče nanesenou na jiný materiál, nejčastěji amorfním křemíkem nanášeným na plastovou desku. Tento typ sice, kvůli své nízké účinnosti (okolo 10 %), nenajde přílišné využití na střeších rodinných domů, avšak jeho flexibilita a nízká hmotnost z něj dělají vhodné řešení pro instalaci na střechy skladišť, které nemají vysokou nosnost. Uplatnění najde také na přenosné elektronice nebo na různých zakřivených plochách [6].

Dostupné jsou také tzv. hybridní panely, které kombinují více technologií. Například monokrystalický křemík obklopený tenkými vrstvami amorfního křemíku. Panely se rovněž vyrábějí v různých rozměrech a tvarech. Specifické jsou tzv. solární

¹Jedná se o referenční účinnosti panelů s maximální účinností, které byly v daném roce vyrobeny. Běžně dostupné panely mohou mít účinnost nižší. Data pochází z portálu Národního laboratoře pro obnovitelné zdroje energie Spojených států (NREL) [7]

tašky, které se svými rozměry a tvarem snaží imitovat klasickou střešní krytinu. Jde však spíše o designovou záležitost, jejich účinnost z pravidla nebývá vysoká a jejich pořizovací ceny jsou podstatně vyšší, než u klasických panelů.

Podobně esteticky laděným typem FV panelu jsou tzv. solární okna. Tyto panely zatím nelze běžně koupit a jejich vývoj je značně komplikovaný, vzhledem k tomu, že musí mít optické vlastnosti srovnatelné s běžným sklem, tedy propouštět dostatek světla do místnosti, ale zároveň jej také dostatek absorbovat do fotodiod. Klíčem k této technologii jsou tzv. kvantové tečky, které fungují jako klasické fotodiody, ale jejich velikost je v řádech nanometrů. Tyto mikrotečky jsou zakomponovány ve skle a díky své malé velikosti příliš neomezují průchod světla. V současnosti dostupnější alternativou mohou být například chytré solární žaluzie s lamelami osazenými FV články. Tyto lamely se automaticky natáčejí podle slunečního svitu a tak chrání před oslněním a zároveň účinně sbírají sluneční energii [8].

Kromě velkoplošných panelů se lze setkat také s fotovoltaikou koncentrovanou (CPV – concentrated photovoltaics). Tento systém tvoří reflexní povrch, případně čočka, usměrňující záření do jednoho bodu, ve kterém je umístěn malý fotovoltaický čip. Účinnost těchto systémů je až dvakrát vyšší než u klasických panelů, jejich nevýhodou je však nutnost pohyblivého podstavce – trackeru, který sleduje pohyb slunce a panel k němu otáčí a také nutnost chlazení čipu, který je, kvůli své malé ploše a vysoké koncentraci záření, extrémně zahříván [6], [9].

Dalším panelem, který je, stejně jako CPV, stále ve vývoji a není tedy volně prodáván, je panel biohybridní, který využívá stejné mechanismy, jako klasické křemíkové panely, ale zvyšuje jejich účinnost přidáním organické složky - tzv. Fotosystému I, což je protein zodpovědný za fotosyntézu rostlin. Tento protein přeměňuje sluneční energii na chemickou, tu následně přeměňuje na elektrický proud, který, putuje do křemíkové části namísto přímého světla. Využití tohoto proteinu by mělo mnohonásobně zvýšit výkon panelu, zatím jsou však provozovány pouze v laboratořích [6].

Posledním zmíněným typem je panel kadmium-tellurový. Jeho účinnost je sice nižší než u klasických křemíkových panelů, avšak jeho výroba podstatně jednodušší. Díky toho je jeho návratnost, jak z hlediska ekonomického, tak ekologického, mnohem rychlejší. Tyto panely však na evropském trhu nejsou běžně k dostání z důvodu vysoké toxicity kadmia [6].

1.3 Výroba a likvidace

Monokrystalické i polykrystalické panely se vyrábějí z křemíku, ten lze získat redukcí oxidu křemičitého (písku) pomocí koksu v obloukové peci. Takto získaný křemík však nemá dostatečnou čistotu pro použití v polovodičových součástkách, je tedy

nutné jej upravit. V současnosti je k čištění využíván tzv. chlórový cyklus, kdy se na atomy křemíku vážou atomy chlóru, které se následně opět oddělují spolu se znečišťujícími částicemi a vzniká křemík o vyšší čistotě. Přestože pro výrobu FV panelů není třeba dosáhnout takové čistoty, jako například pro výrobu počítačových mikročipů, je tento proces energeticky náročný a vzhledem k toxicitě chlóru s sebou také nese vyšší nároky na bezpečnost obsluhy. Způsob čištění je jeden z největších problémů při výrobě FV panelů a polovodičových součástí obecně, proto je v dnešní době vyvíjeno značné úsilí na hledání nové, bezpečnější a levnější metody [10].

Při výrobě polykrystalických článků se roztavený křemík vlije do formy, ve které se nechá velice pomalu chladnout, aby vznikly co největší krystalické zárodky. U monokrystalických článků je výroba složitější - do taveniny je vložen malý krystal, který slouží jako zárodek pro krystalizaci většího monokrystalu. Tato krystalizace probíhá v inertní atmosféře a za sníženého tlaku, kdy je krystal z taveniny pomalu vytahován při současném otáčení. Takto vytvořené krystaly jsou nařezány na tenké destičky, tzv. wafery. Z těchto destiček je nutné vytvořit PN přechod, toho docílíme difuzí plynů nesoucích vybraný prvek (typicky fosfor a bór). V případě fosforu je také možné využít jaderné přeměny křemíku ozářením v reaktoru [10], [11].

Hotové PN přechody, v tomto případě fotodiody, jsou požadovaným způsobem spájeny a společně s ostatními vrstvami panelu (viz obr. 1.2) spojeny v hliníkovém rámu a podrobeny výstupní kontrole, která sestává například ze zkoušky účinnosti při laboratorních podmínkách, testu výstupního napětí a mechanické zkoušky, při které jsou panely, mimo jiné, ostřelovány kroupami [12].

Přestože je životnost FV panelu dlouhá a těžko je lze považovat za spotřební elektroniku, je nutné také uvažovat o tom, jak s nimi naložit poté, co budou vyřazeny z provozu, ať už vlivem času nebo mechanického poškození. Ekologickou likvidací těchto zařízení se již zabývají společnosti po celém světě a vzhledem k materiálovému složení panelů není tato likvidace nějak obtížná.

Až 85 % hmotnosti panelu tvoří sklo a hliník, což jsou materiály, které lze poměrně nenáročně recyklovat a to téměř beze ztrát. Plastové součásti jsou ve většině případů vlivem slunečního záření zdegradovány a jejich recyklace v původní produkt tedy možná není, mohou však být zužitkovány energeticky. Samotné FV články nebývají vlivem času příliš ovlivněny a v některých případech mohou být opětovně použity bez dalšího zpracování. V případě že to možné není je recyklace náročnější, ale přesto může ušetřit náklady na primární suroviny a jejich zpracování [12].

1.4 Další součásti a náležitosti FV systému

Samotné panely k funkci FV systému nestačí, je potřeba také myslet na zařízení sloužící k regulaci získávané energie, její úpravě na požadované parametry, případně

k její akumulaci. Pokud dům zůstane připojen k distribuční síti, je také třeba aby elektroměrný sloupek splňoval specifika pro dům s vlastním zdrojem elektrické energie. Tato specifika se mohou u různých distributorů lišit [13].

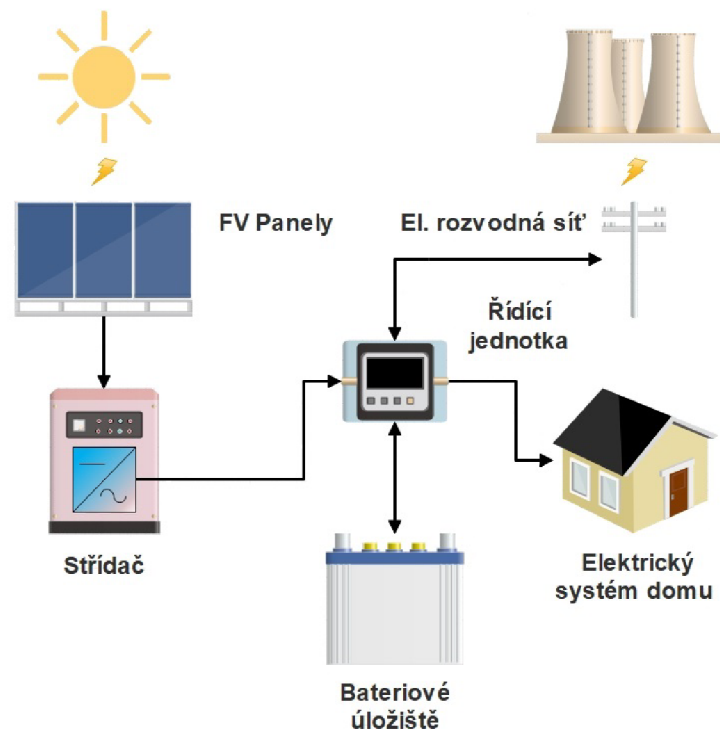
Pro regulaci výkonu slouží řídicí (regulační) jednotka. Ta zajišťuje, aby se do domovní elektrické sítě dostalo pouze tolik energie, kolik je třeba. Pokročilejší jednotky mohou mít různé rozšiřující funkce, například zaznamenávání dat o produkci a spotřebě energie, ochranu akumulátoru a další [14].

Domácí spotřebiče jsou nejčastěji napájeny střídavým napětím s efektivní hodnotou 230 V a frekvencí 50 Hz. Aby bylo těchto parametrů dosaženo, je potřeba do systému zapojit střídač, který stejnosměrné napětí z panelů přemění na střídavé. Střídače se vyrábějí pro různé výkony systému, k použití jak centrálně, tak i samostatně pro každý panel, ve variantě jednofázové a třífázové. Jednofázové jsou určeny především pro systémy, kde není potřeba vysoký výkon. Častější variantou jsou střídače třífázové, které umožňují přenést vyšší výkon a napájet spotřebiče, které ke svému provozu potřebují sdružené napětí. Alternativou třífázového střídače mohou být tři jednofázové střídače. Tato varianta je dražší, ale také spolehlivější a bezpečnější. Pokud má být FV systém užíván pouze k napájení spotřebičů odbírajících stejnosměrný proud, lze místo střídače využít stejnosměrný měnič, který výstupní napětí panelu upraví na požadovanou hodnotu. V současnosti jsou velmi populární tzv. hybridní střídače, které zároveň slouží jako řídicí jednotka a jsou schopny energii dodávat přímo do spotřebičů, když je to možné, místo aby ji posílali skrze akumulátory se značnými ztrátami [14].

Akumulaci elektrické energie je možné realizovat mnoha způsoby, nejčastější variantou je využití baterií. Ty jsou poměrně drahé, mají omezenou životnost a při jejich nabíjení a vybíjení se část akumulované energie přemění na ztráty ve formě tepla, jejich vývoj však jde rychle ku předu. Další Možností je akumulovat energii ve formě tepla v akumulacím elektrickém ohříváči. V létě, kdy jsou přebytky energie nejvyšší je možno ji využít k napájení klimatizace, nebo pro vyhřívání bazénu. Přebytky lze také prodávat do distribuční sítě, ovšem současný systém k tomu není vhodně uzpůsoben. Efektivní, avšak obtížně proveditelnou alternativou by mohl být prodej energie sousedním domům, kdy by bylo možno domluvit cenu výhodnou pro obě strany.

Všechny součásti této domácí elektrárny je třeba propojit kvalitní kabeláží, která by měla mít co nejmenší odpor pro minimalizaci ztrát a především co nejvyšší odolnost proti nepříznivým klimatickým podmínkám. Je také potřeba zajistit prostupy zdí, či drážky, kterými bude kabeláž vedena a dále také myslet na úpravu rozvaděče. Zařízení systému by měla být umístěna mimo obytnou část domu. Střídače je možné umístit i venku, například na fasádu, na střechu, případně na půdu. Jejich umístění uvnitř domu se nedoporučuje, jelikož jsou značným zdrojem hluku a tepla.

U baterií se jedná především o požární bezpečnost. Vzhledem k tomu že na akumulátory mají značně negativní dopad vysoké či nízké teploty, srážky a jiné vlivy počasí, je vhodné umístit je na místo, kde budou před těmito vlivy chráněny. Vhodná může být například menší budova na pozemku, případně požárně oddělená přístavba. Při výběru místa je dobré zohlednit případné rozšíření bateriového úložiště v budoucnu. Příklad FV systému se všemi komponenty a propojením je zobrazen na následujícím obrázku.

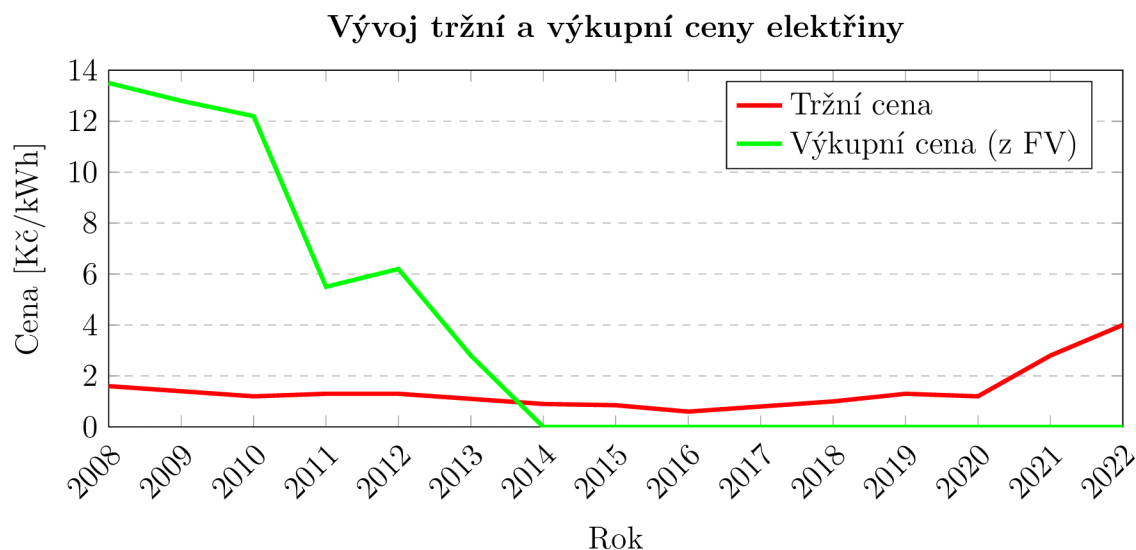


Obr. 1.4: Fotovoltaický systém

Po zařízeních je také nutno zajistit dokumenty, potřebné k provozu zdroje. U elektráren do 10 kW není třeba zařizovat licenci. Pokud má být systém provozován jako ostrovní, tedy bez připojení k síti, není potřeba ani smlouva s distributorem a v tomto smyslu je tedy zařízení ostrovního systému velice jednoduché. Pokud elektrárna k síti připojena bude, je možné ji provozovat jako tzv. mikrozdroj, kdy stačí sepsat dodatek ke smlouvě o připojení odběrného místa k síti. Při přebytku energie však může dojít k přetoku do sítě, za který může být distributorem účtována pokuta. Je také možné se s dodavatelem energie dohodnout, že přetoky bude odebírat a poskytne za ně zákazníkovi slevu na dodané energii. Za poskytnutí této služby, často označované jako „virtuální baterie“, si ale dodavatelé účtují paušální poplatek [17].

Druhou možností je uzavřít s distributorem smlouvu o připojení k distribuční síti.

Výhodou tohoto připojení je možnost smlouvy s obchodníkem a prodej přebytků za tržní cenu, sníženou o poplatek za distribuci. Tato možnost je však poměrně komplikovaná a většina zákazníků proto volí zapojení jako mikrozdvoj [18].



Obr. 1.5: Vývoj průměrné tržní ceny elektřiny a výkupní ceny elektřiny z FV mezi lety 2008 a 2022 ²

Poslední věcí potřebnou, aby bylo možno FV elektrárnu provozovat, je její instalace. Instalace celého systému je poměrně jednoduchá a zkušené firmě většinou nezabere více než pár dní. Je možné elektrárnu také instalovat svépomocí, čímž však zaniká nárok na dotaci a je také třeba samostatně zajišťovat veškeré potřebné dokumenty.

1.5 Výhody a nevýhody FV systému

Největší motivací pro stavbu domácích FV elektráren je snaha ušetřit na elektrické energii, jejíž cena stále roste (viz obr. 1.5) a nároky na tuto energii se rovněž stále zvyšují. FV systémy jsou již v dnešní době schopny tyto nároky uspokojit a jejich účinnost se stále zvyšuje (viz obr. 1.3).

Kromě ekonomického hlediska je také důležité zohlednit i hledisko ekologické. FV systémy svým provozem nespoteřovávají žádné neobnovitelné zdroje, nevypouští žádné škodlivé látky, ani skleníkové plyny a oproti větrným a vodním turbínám svým provozem neohrožují živočišné druhy, jako jsou například ptáci, hmyz, nebo

²Od roku 2013 již není výkup elektřiny podporován, tato podpora byla nahrazena dotacemi na výstavbu FV systémů z programu Nová zelená úsporám. Data v grafu pochází z [15],[16]

ryby, které se v blízkosti těchto zdrojů vyskytují. Po odstavení z provozu lze panely také velmi dobře recyklovat (viz kapitola 1.3).

Za zásadní výhodu lze považovat větší nezávislost na distributorovi. Nehrozí tedy výpadek proudu při přerušení dodávky, ať už z důvodu plánovaného, například při rekonstrukcích, nebo neplánovaného, jako je přerušení vedení pádem stromu. V případě ostrovních systému je pak dům na distribuční síti naprosto nezávislý a není tedy nutné jej na síť napojovat, což může být, především v odlehlých lokalitách, náročné a nákladné. Výhodou proti jiným alternativním zdrojům je například absence pohyblivých prvků, díky čehož je elektrárna nehlukná, odolnější vůči poškození i vůči opotřebením časem a také téměř bezúdržbová.

Za zásadní nevýhodu lze považovat vysoké investiční náklady, které často nemusí být na první pohled zřejmé a mohou investora nepříjemně překvapit. Nevýhodou je také velká závislost na slunečních podmínkách - v létě elektrárna vyrobí větší množství než v zimě, kdy bývá její spotřeba vyšší. Produkci také hodně ovlivní mračno, déšť, nebo bouře. Je tedy nutné detailně promyslet optimalizaci systému - jeho výkonu a použití akumulace. Pokud je optimalizace podceněna, případně pokud nastanou nečekané klimatické podmínky, které omezují produkci systému, může u ostrovních systému dojít k nedostatkům energie a nutnosti využít záložní zdroj, jehož provoz bývá výrazně nákladnější než nákup elektřiny ze sítě.

Složitý je také výběr součástí systému, mimo nepřehledného množství panelů, které jsou k dostání, je také důležité přemýšlet nad volbou správného střídače. Například při užití synchronního třífázového střídače a nerovnoměrném odběru z fází může dojít k tomu, že na jedné fázi bude energie nedostatek a bude odebírána ze sítě, mezitím co jiná ji bude do sítě dodávat. Jednofázový střídač je v tomto ohledu jednodušší, avšak při jeho použití je proud odebírán jen z jedné fáze a je tedy mnohem více limitován přípustným jističem. Na tyto záležitosti je třeba myslet i v případě, že instalaci zařizuje profesionální firma. Ani osvědčená firma nemusí nabízet vhodné řešení pro každý dům.

Další věcí, na kterou je důležité myslet, je místo, kde bude elektrárna postavena. Je jisté, že největší účinnosti bude dosahovat ve slunečných oblastech, bez okolního stínění, jako jsou například pouště. V České republice sluneční podmínky tak dobré nejsou, avšak s rostoucí účinností a také cenou elektřiny tyto domácí elektrárny nabývají stále většího významu. Na výkonu elektrárny se podepíše také konkrétní poloha domu. Například dům umístěný v centru města s vysokou zástavbou a vysokou koncentrací prachových částic, rozptylujících sluneční záření, bude mít mnohem menší zisky než dům na otevřeném prostranství, kde není stíněn okolní přírodou, ani budovami. Není tedy možné univerzálně určit kolik energie panely budou vyrábět, jelikož jejich výkon závisí na solárních podmínkách lokality.

2 Charakteristika vybraného domu

2.1 Návrhový dům

Dům, jenž je předmětem této práce se nachází v obci Osová Bítýška v okrese Žďár nad Sázavou. Orientace domu je na jihozápad, s odklonem od jihu přibližně 20° (Azimut 200°).

Pro výpočet účinnosti FV systému je potřeba pro tuto lokalitu určit střední teplotu venkovního vzduchu v době slunečního svitu $t_{e,s}$, tedy průměrnou teplotu v době, kdy svítí slunce, a velikost středního slunečního ozáření G_m během jednotlivých měsíců. Dále pro určení produkce elektrické energie v každém měsíci je nutné pro daný měsíc zjistit měsíční dávku sluneční energie H_m . Průměrné měsíční hodnoty těchto veličin jsou vypsány v následující tabulce.

Tab. 2.1: Důležité energetické hodnoty pro návrhový dům. Pro srovnání je uvedena také měsíční dávka sluneční energie pro optimální orientaci a sklon střechy³

| | H_m kWh/m ² | $H_{m,opt}$ kWh/m ² | $t_{e,s}$ °C | G_m W/m ² |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|
| Leden | 41,08 | 38,91 | 1,8 | 408 |
| Únor | 61,37 | 59,10 | 2,7 | 479 |
| Březen | 104,80 | 103,40 | 6,3 | 526 |
| Duben | 152,40 | 154,37 | 10,7 | 521 |
| Květen | 150,74 | 156,55 | 16 | 516 |
| Červen | 152,86 | 160,54 | 18,6 | 512 |
| Červenec | 160,49 | 167,90 | 20,5 | 508 |
| Srpen | 154,30 | 158,03 | 21,1 | 509 |
| Září | 130,44 | 129,66 | 17,1 | 509 |
| Říjen | 90,41 | 87,30 | 11,7 | 479 |
| Listopad | 45,94 | 43,66 | 6,4 | 417 |
| Prosinec | 37,57 | 35,18 | 3,6 | 377 |
| Rok celkem | 1 244,83 | 1 259,41 | | |

Z tabulky je možné vyčíst, že rozdíl dávky energie v případě, že bude panel umístěn rovnoběžně se střechou je oproti dávce při optimálním sklonu minimální a v zimních měsících je dokonce energie zachyceno více, než při sklonu optimálním.

³Hodnoty $t_{e,s}$ a G_m jsou údaje z normy TNI 73 0302 [19]. Hodnota G_m je platná pro sklon panelu 45° a azimutový úhel 15°. H_m a $H_{m,opt}$ jsou průměry hodnot získaných z fotovoltaického geografického informačního systému [20] mezi lety 2005 a 2016.

Je tedy možné říci že úprava sklonu panelu, například jeho podložním, v tomto případě není výhodná.

Střecha, na které budou panely umístěny je široká 1205 cm a její výška je 415 cm. Z těchto rozměrů a sklonu střechy lze jednoduše vypočítat plochu jedné strany střechy, která činí přibližně 71 m².

$$A_s = \frac{h \cdot w}{\cos\varphi}. \quad (2.1)$$

2.2 Spotřeba energií návrhového domu

Aby bylo možné porovnávat návrhy FV systémů, je nejprve nutné charakterizovat spotřebu energií daného domu. Podle té je pak možné určit nedostatky, případně přebytky energie těchto systémů.

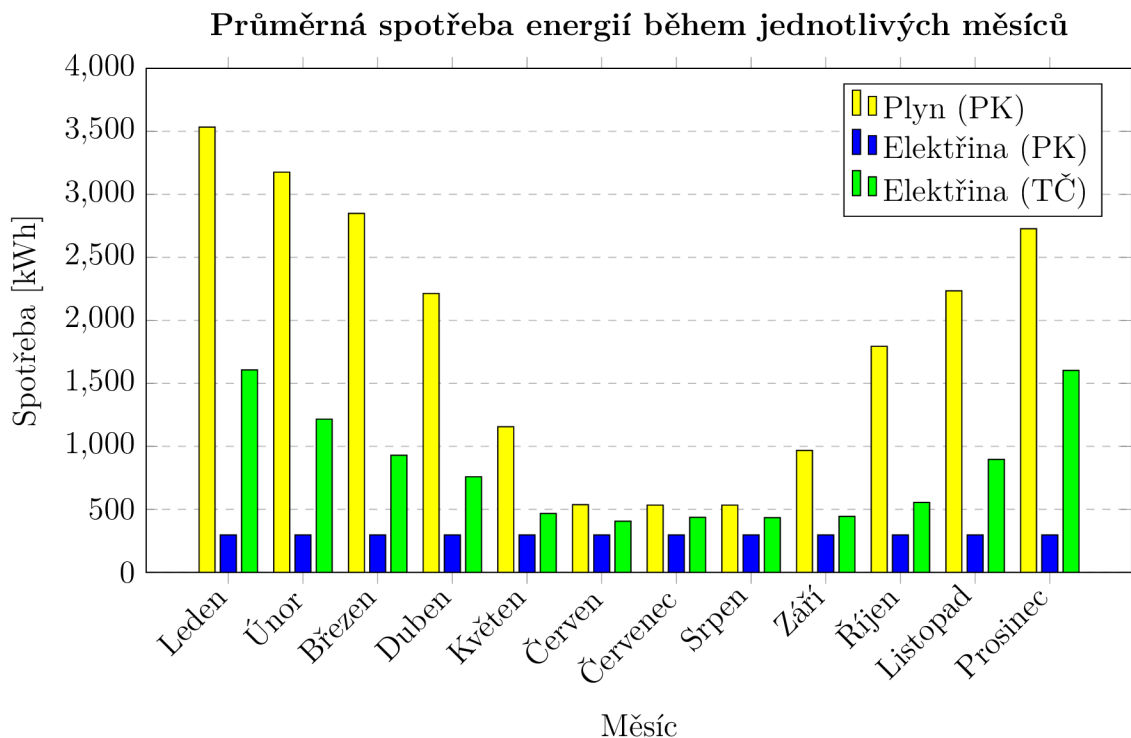
Tab. 2.2: Měsíční spotřeba energií při vytápění plynovým kotlem⁴ a TČ⁵

| | Plynový kotel | | | Tepelné čerpadlo | | | |
|-------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|---------------|-------------|
| | Plyn m ³ | Elektřina kWh | Elektřina kWh | NT kWh | VT kWh | Celkem kWh | TČ kWh |
| Leden | 335 | 3534 | 297 | 251 | 1356 | 1607 | 1310 |
| Únor | 301 | 3176 | 297 | 238 | 978 | 1216 | 919 |
| Březen | 270 | 2849 | 297 | 131 | 799 | 930 | 633 |
| Duben | 210 | 2213 | 297 | 122 | 637 | 759 | 462 |
| Květen | 110 | 1156 | 297 | 82 | 385 | 467 | 170 |
| Červen | 51 | 537 | 297 | 63 | 343 | 406 | 109 |
| Červenec | 51 | 534 | 297 | 61 | 376 | 437 | 140 |
| Srpen | 51 | 534 | 297 | 66 | 368 | 434 | 137 |
| Září | 92 | 968 | 297 | 67 | 377 | 444 | 147 |
| Říjen | 170 | 1794 | 297 | 77 | 478 | 555 | 258 |
| Listopad | 212 | 2234 | 297 | 169 | 728 | 897 | 600 |
| Prosinec | 258 | 2727 | 297 | 263 | 1340 | 1603 | 1306 |
| Rok celkem | 2109 | 22254 | 3564 | 1590 | 8165 | 9755 | 6191 |

⁴U plynu se jedná o průměrné hodnoty průběžných měření mezi lety 2009 a 2016. U elektřiny byla spotřeba měřena pouze za celé roky, ale jelikož v těchto letech nebyla používána k vytápění, ani chlazení, lze předpokládat, že se její spotřeba během měsíců příliš nelišila. Proto byla rozpočítána rovnoměrně do jednotlivých měsíců.

⁵Jedná se o průměrné hodnoty z průběžných měření mezi rokem 2016 a 2021. Spotřeba tepelného čerpadla byla vypočtena odečtením průměrné spotřeby elektřiny během let, kdy byl dům vytápěn plynovým kotlem, od průměrné spotřeby během let, kdy byl dům vytápěn TČ.

Vytápění v popisovaném domě je realizováno tepelným čerpadlem (TČ), k dispozici jsou však i data z doby kdy byl dům vytápěn pomocí plynového kotle (PK). Pro porovnání návratnosti systému při obou variantách, jsou v tabulce 2.2 uvedeny spotřeby energií jak při vytápění PK, tak při použití TČ. Pro lepší vizualizaci byly měsíční spotřeby energií vyneseny také na graf (viz obr. 2.1). Jelikož při vytápění TČ lze využít nároku na výhodnější sazbu elektrické energie (D57D) je spotřeba rozdělena na vysoký (VT) a nízký tarif (NT) [21]. Přibližnou spotřebu TČ lze pro porovnání získat odečtením spotřeby elektřiny před zapojením TČ od spotřeby po jeho zapojení.



Obr. 2.1: Spotřeba energií v popisovaném domě během jednotlivých měsíců

2.3 Ceny energií a jejich vývoj

Se spotřebou také úzce souvisí cena energií. Současnou cenu energií je možné zjistit z ceníků dodavatelů. Důležitý, z hlediska návratnosti, je ale také její vývoj. Vývoj cen nelze přesně předpovídat, je možné jej pouze odhadovat ze známých faktů, které cenu energii ovlivňují. Asi nejdůležitějšími z těchto faktů je inflace a globální růst spotřeby energií. Z obou těchto skutečností lze vyvodit, že cena energií bude nadále růst.

U ceny plynu hrají významnou roli faktory jako je omezování tuhých paliv, které vede k nahrazování uhelných elektráren plynovými, nebo také ústup od neobnovitelných zdrojů, který může vést ke zvyšování daní ze zemního plynu, v extrémním případě i ke kompletnímu zákazu jeho používání. V našich podmínkách je velmi důležitý také fakt, že Česká republika je závislá na dodávce plynu ze zahraničí a tedy může, z různých politických důvodů, dojít k jejímu omezení.

Co se elektřiny týče, je vývoj cen ještě nepředvídatelnější, jelikož její spotřeba sice stále narůstá a dále vzhledem k omezování neobnovitelných zdrojů se také prodražuje její výroba, na druhou stranu však může cenu pozitivně ovlivnit rozmach menších obnovitelných zdrojů, jako jsou právě popisované FV elektrárny pro rodinné domy, nebo rozvoj chytrých sítí, které umožní s energií lépe nakládat. Obrovský vliv by také mohl mít vývoj komerčních fúzních reaktorů, či jiných vysoce efektivních zdrojů elektrické energie.

3 Srovnání FV panelů

3.1 Skutečná účinnost panelu

Pro stanovení návratnosti systému, je třeba zjistit, kolik energie panel za rok vyrobí. Proto je nejprve nutné stanovit skutečnou účinnost panelu. Ta se bude v jednotlivých měsících lišit, vzhledem k různé průměrné teplotě a velikosti slunečního ozáření. Existuje více možností, jak skutečnou účinnost vypočítat, v této práci je ale využita zjednodušená bilanční metoda. Jedná se o variantu zákona zachování energie, která udává, že energie na vstupu, kterou lze získat jako součin slunečního ozáření G a pohltivosti panelu α , musí být rovna energii, která bude z panelu získána a energetickým ztrátám panelu [22]:

$$\alpha \cdot G = \frac{\eta_{fv} \cdot G}{100} + U \cdot (t_{fv} - t_e). \quad (3.1)$$

Pohltivost panelu bývá počítána jako 95 %. Výkon dopadajícího slunečního záření byl již stanoven v kapitole 2.1. Pro výpočet účinnosti tedy zbývá stanovit ztráty, ty závisí především na rozdílu teploty panelu a teploty okolí. Teplota okolí je také známa z kapitoly 2.1, teplota panelu se však mění s okolními podmínkami a stejně tak se mění i součinitel tepelné ztráty U . Proto je nutné využít technické listy panelů, ve kterých by měla být stanovena referenční účinnost η_{ref} a podmínky za kterých byla tato účinnost naměřena, tedy především normální provozní teplota $NOCT$ (normal operating cell temperature) a výkon slunečního záření, který se běžně stanovuje jako 800 W/m^2 . Dále by v těchto podkladech také měly být uvedeny součinitele γ a $\Delta\eta_g$, které určují jak se účinnost mění s teplotou a slunečním zářením. Úpravou bilance, do formy zahrnující výše zmíněné parametry, lze získat vztah pro skutečnou účinnost [22]:

$$\eta_{fv} = \eta_{ref} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{e,s} + (1 - \frac{\eta_{ref}}{100 \cdot 0.95})) \cdot \frac{G_m}{800} \cdot (NOCT - 20) - 25\right) \cdot (1 + k \cdot \ln \frac{G_m}{1000}). \quad (3.2)$$

Součinitel snížení účinnosti k přepočítává relativní snížení účinnosti $\Delta\eta_g$ z referenčních podmínek pro skutečné podmínky a lze jej vypočítat následovně:

$$k = \frac{\Delta\eta_g}{\ln \frac{G}{G_{ref}}}. \quad (3.3)$$

3.2 Vyprodukovaná energie

Energii dodanou jedním čtverečním metrem panelu je poté možno stanovit vynásobením energie, která na systém dopadne, účinností a koeficienty zohledňující vliv nekolmosti dopadu slunečních paprsků (zde je počítán jako 0,9) a vliv elektrických ztrát (závisí na rozsahu systému, odporu kabelů apod. Zde uveden jako $p = 5 \%$):

$$E_{fv,m,m^2} = 0,9 \cdot \frac{\eta_{fv}}{100} \cdot H_m \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right). \quad (3.4)$$

Energie dodaná celým systémem může být vypočtena jako součin energie dodané čtverečním metrem plochy panelu a celkové efektivní plochy panelu:

$$E_{fv,m} = E_{fv,m,m^2} \cdot A_{fv}. \quad (3.5)$$

3.3 Srovnání panelů

Potřebné parametry z technických listů jsou uvedeny v tabulce 3.1. Ve vybraných systémech bude počítáno s monokrystalickým panelem AEG 450 Wp. Pro porovnání je také uveden zástupce polykrystalických (Amerisolar 285Wp) a hybridních panelů, tvořených monokrystalami obklopenými tenkou vrstvou amorfního křemíku (Panasonic VBHN330SJ53). Mimo technických parametrů jsou také uvedeny ceny panelů, pro srovnání přepočítané na čtvereční metr účinné plochy panelu.

Tab. 3.1: *Potřebné parametry a ceny vybraných FV panelů⁶*

| | η_{ref} % | γ %/°C | NOCT °C | G_{ref} W/m ² | $\Delta\eta_g$ % | k - | p_{m^2} Kč/m ² |
|------------------------|-------------------|------------------|------------|-------------------------------|---------------------|----------|--------------------------------|
| Monokrystalický | 20,7 | -0,354 | 45 | 1000 | -4 | 0,02485 | 2 863 |
| Polykrystalický | 17,52 | -0,410 | 45 | 1000 | -6,6 | 0,04101 | 2 121 |
| Hybridní | 19,70 | -0,258 | 44 | 1000 | -0,9 | 0,00559 | 3 315 |

Pro všechny tyto panely byla následně dle výše uvedených vzorců vypočtena účinnost a energie dodaná čtverečním metrem panelu v jednotlivých měsících. Jak je vidět v tabulce 3.2, nejvyšších účinností panely dosahují v zimním období. To je způsobeno tím, že účinnost závisí, nebereme-li v úvahu konstrukční řešení panelu, především na okolní teplotě. Oproti tomu vyprodukovaná energie závisí na velikosti slunečního ozáření a je tudíž nejvyšší v letních měsících. Dalším zajímavým faktem,

⁶Relativní snížení účinností bylo zjištěno z údajů uvedených v [22], ostatní údaje z technických listů k daným panelům [23], [24], [25]. Ceny odpovídají ceníkovým cenám z března 2022. U ceny panelu Panasonic je počítáno s kurzem 1 EUR = 25 Kč.

který lze vyčíst při srovnání tabulek 3.1 a 3.2 je, že monokrystalické i polykrystalické panely mají průměrnou reálnou účinnost nižší než je referenční hodnota. Hybridní panely, s mnohem nižším koeficientem snížení účinnosti, mají reálnou účinnost naopak vyšší než je hodnota referenční.

Tab. 3.2: Vypočtená účinnost a energie vyrobená za měsíc čtverečním metrem vybraných FV panelů

| | Monokrystalický | | Polykrystalický | | Hybridní | |
|---------------|------------------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| | η_{fv} % | E_{fv,m^2} kWh/m ² | η_{fv} % | E_{fv,m^2} kWh/m ² | η_{fv} % | E_{fv,m^2} kWh/m ² |
| Leden | 21,19 | 7,21 | 17,79 | 6,04 | 20,28 | 6,90 |
| Únor | 21,08 | 10,71 | 17,69 | 8,99 | 20,17 | 10,25 |
| Březen | 20,79 | 18,04 | 17,43 | 15,12 | 19,94 | 17,31 |
| Duben | 20,48 | 25,84 | 17,12 | 21,61 | 19,72 | 24,89 |
| Květen | 20,10 | 25,09 | 16,75 | 20,91 | 19,46 | 24,29 |
| Červen | 19,92 | 25,21 | 16,57 | 20,98 | 19,33 | 24,47 |
| Červenec | 19,78 | 26,29 | 16,44 | 21,85 | 19,24 | 25,57 |
| Srpen | 19,74 | 25,21 | 16,40 | 20,95 | 19,21 | 24,54 |
| Září | 20,03 | 21,63 | 16,68 | 18,02 | 19,41 | 20,97 |
| Říjen | 20,44 | 15,30 | 17,07 | 12,78 | 19,72 | 14,76 |
| Listopad | 20,85 | 7,93 | 17,44 | 6,60 | 20,04 | 7,62 |
| Prosinec | 21,07 | 6,55 | 17,63 | 6,64 | 20,22 | 6,29 |
| Průměr | 20,45 | 17,92 | 17,08 | 14,95 | 19,73 | 17,32 |

Aby bylo možné mezi sebou jednotlivé panely porovnat z hlediska návratnosti, byla pro všechny vybrané druhy určena výnosnost N :

$$N = \frac{E_{fv,m^2}}{p_{m^2}}. \quad (3.6)$$

Z tabulky 3.3 je patrné, že nejvyšší výnosnost, tedy množství vyprodukované energie za měsíc na jednotku ceny panelu, má panel polykrystalický. O něco nižší hodnota byla vypočtena pro panel monokrystalický a nejnižší hodnoty dosáhl panel hybridní.

Tab. 3.3: Výnosnost vybraných zástupců FV panelů

| | Monokrystalický | Polykrystalický | Hybridní |
|------------|-----------------|-----------------|----------|
| N kWh/Kč | 0,0064 | 0,0071 | 0,0051 |

V tomto srovnání byly zahrnuty pouze vybraní zástupci daných typů panelů – nelze tedy říci, že by polykrystalické panely byly vždy nejvýhodnější. Smyslem srovnání bylo ukázat, že výnosnost polykrystalických a monokrystalických panelů je srovnatelná. Oproti tomu jiné, pokročilejší, typy panelů, přes svoji vyšší účinnost, nebývají vhodným řešením pro běžné využití, vzhledem ke své vysoké ceně.

4 Návrh systému a výpočet návratnosti

4.1 Rozsah systému

V této kapitole budou porovnány návratnosti FV systémů s různým rozsahem produkce a různou velikostí akumulátorů. Dále bude také porovnána návratnost vybraných rozsahů systému při vytápěním plynovým kotlem s návratností při vytápění tepelným čerpadlem. Zvolené systémy – jejich ceny⁷, roční dodávky energií a velikosti akumulátorů – budou popsány v následujících podkapitolách. Návratnost a výnosnost bude porovnávána během 15 let, což je předpokládaná životnost akumulátoru.

Dodávka plynu nebude instalací fotovoltaiky ovlivněna, avšak dodávka elektřiny ze sítě bude nižší o produkci FV elektrárny. Množství elektřiny, které bude třeba dodávat bude vypočteno následujícím způsobem⁸:

1. V každém měsíci bude odečtena produkce systému (vypočtena dle vzorců v kapitole 3) od spotřeby,
2. pokud je produkce vyšší než spotřeba, produkce do výše kapacity akumulátoru bude přičtena do dalšího měsíce
3. energie, kterou je nutno dostat za rok bude součtem nedostatků v jednotlivých měsících,
4. v případě systému bez akumulátoru budou nedostatky v jednotlivých měsících minimálně 20 % spotřeby v zimních měsících, 15 % v jarních a podzimních a 10 % v letních, z důvodu spotřeby v noci, kdy akumulátor energii neprodukuje.

4.2 Systém s vyšší produkcí

Pokud bude mít investor k dispozici dostatek finančních prostředků, bude se pravděpodobně chtít přiblížit úplné nezávislosti na dodávce energie. Tento systém má sice nejvyšší investiční náklady, za to však minimalizuje roční poplatky za elektřinu. Vzhledem k tomu, že tento systém, pokud je uvažováno vytápění plynovým kotlem, pokryje celou spotřebu elektřiny vybraného domu, bylo by možné jej při pořízení záložního zdroje provozovat i v ostrovním režimu. Při vytápění tepelným čerpadlem je spotřeba elektřiny mnohem vyšší a to především v zimních měsících, kdy panely produkují méně energie. Pokud by měla být nahrazena veškerá spotřeba i při vytápění TČ, bylo by nutné systém rozšířit o velké množství panelů, které by v letních

⁷Uvedené ceny jsou z ceníku firmy S-Power z Března 2022, ceny jiných firem jsou podobné [26]

⁸Ve výpočtu není zohledněn úbytek výkonu panelů, ztráta kapacity akumulátorů ani ztráta energie nabíjením a vybíjením akumulátorů – ta by však, vzhledem k využití hybridního střídače, neměl být příliš vysoká.

měsících neměly žádné využití. Tyto náklady by tedy byly značně vysoké a velmi negativně by ovlivnily návratnost.

Nespornou výhodou tohoto systému je značná soběstačnost, díky které by se majitelé nemuseli obávat výpadků sítě, či prudkého zdražení elektrické energie. Cena tohoto systému nabízená autorizovanou firmou je 450 000 po započtení dotací. Velikost akumulátorů je v této variantě 22,2 kWh a skládá se z 20 panelů AEG 450 Wp. Potřebná dodávka elektřiny je vypočtena v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Výpočet elektrické energie, kterou bude nutné dodávat ze sítě pro systém s vyšším výkonem

| Systém s vyšším výkonem | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|----------|---------|------------|---------------|
| | Spotřeba | | Produkce | Přebytek | | Nedostatek | |
| | kWh | | | kWh | | kWh | |
| | PK | TČ | | PK | TČ | PK | TČ |
| Leden | 297,0 | 1607,0 | 313,4 | 16,4 | -1293,6 | 0,0 | 1293,6 |
| únor | 297,0 | 1215,5 | 465,6 | 168,6 | -749,9 | 0,0 | 749,9 |
| březen | 297,0 | 929,9 | 782,4 | 485,4 | -147,5 | 0,0 | 147,5 |
| duben | 297,0 | 759,0 | 1118,2 | 821,2 | 359,2 | 0,0 | 0,0 |
| květen | 297,0 | 467,0 | 1085,9 | 788,9 | 618,9 | 0,0 | 0,0 |
| červen | 297,0 | 406,0 | 1089,4 | 792,4 | 683,4 | 0,0 | 0,0 |
| červenec | 297,0 | 437,0 | 1136,0 | 839,0 | 699,0 | 0,0 | 0,0 |
| srpen | 297,0 | 434,0 | 1093,4 | 796,4 | 659,4 | 0,0 | 0,0 |
| září | 297,0 | 444,0 | 935,5 | 638,5 | 491,5 | 0,0 | 0,0 |
| říjen | 297,0 | 554,8 | 661,8 | 364,8 | 107,0 | 0,0 | 0,0 |
| listopad | 297,0 | 897,3 | 343,3 | 46,3 | -554,0 | 0,0 | 531,8 |
| prosinec | 297,0 | 1603,3 | 285,0 | -12 | -1318,3 | 0,0 | 1318,3 |
| Rok celkem | 3564,0 | 9754,7 | 9309,7 | | | 0,0 | 4041,1 |

4.3 Systém s nižší produkcí s akumulátory

Tento systém je vhodný v případě, že majitel domu chce co nejvíce využít dotací NZÚ⁹ a nemá za cíl dosáhnout energetické soběstačnosti. Jedná se také o „zlatou střední cestu“, kdy v letních měsících není příliš energie zmařeno a v zimě naopak není třeba dodávat příliš mnoho.

⁹Dotace na FVE může pokrýt maximálně polovinu z částky potřebné na její výstavbu a pouze do výše 200 000 Kč. [27]

Tento systém se skládá z 14 panelů dohromady produkujících okolo 6 500 kWh ročně a akumulátorů o kapacitě 14,8 kWh. Jeho cena při dodávce vybranou firmou vyjde na 290 000 Kč.

Tab. 4.2: Výpočet elektrické energie, kterou bude nutné dodávat ze sítě pro systém s nižším výkonem s akumulátory

| Systém s nižším výkonem s akumulátory | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|----------|---------|--------------|---------------|
| | Spotřeba | | Produkce | Přebytek | | Nedostatek | |
| | kWh | | | kWh | | kWh | |
| | PK | TČ | | PK | TČ | PK | TČ |
| Leden | 297,0 | 1607,0 | 219,4 | -77,6 | -1387,6 | 77,6 | 1387,6 |
| únor | 297,0 | 1215,5 | 325,9 | 28,9 | -889,6 | 0,0 | 889,6 |
| březen | 297,0 | 929,9 | 547,7 | 250,7 | -382,2 | 0,0 | 382,2 |
| duben | 297,0 | 759,0 | 782,7 | 485,7 | 23,8 | 0,0 | 0,0 |
| květen | 297,0 | 467,0 | 760,1 | 463,1 | 293,1 | 0,0 | 0,0 |
| červen | 297,0 | 406,0 | 762,6 | 465,6 | 356,6 | 0,0 | 0,0 |
| červenec | 297,0 | 437,0 | 795,2 | 498,2 | 358,2 | 0,0 | 0,0 |
| srpen | 297,0 | 434,0 | 765,4 | 468,4 | 331,4 | 0,0 | 0,0 |
| září | 297,0 | 444,0 | 654,8 | 357,8 | 210,8 | 0,0 | 0,0 |
| říjen | 297,0 | 554,8 | 463,2 | 166,2 | -91,5 | 0,0 | 76,7 |
| listopad | 297,0 | 897,3 | 240,3 | -56,7 | -657,0 | 41,9 | 657,0 |
| prosinec | 297,0 | 1603,3 | 199,5 | -97,5 | -1403,8 | 97,5 | 1403,8 |
| Rok celkem | 3564,0 | 9754,7 | 6516,8 | | | 217,0 | 4796,9 |

4.4 Systém s nižší produkcí bez akumulátorů

V případě, že investor bude mít omezenější finanční možnosti, je vhodné uvažovat o menším FV systému bez bateriového úložiště. Bez akumulátorů sice nebude možné uchovávat energii na noc, nebo na zimní měsíce, avšak vzhledem k ceně akumulátorů je tato varianta mnohem levnější. Další výhodou je také to, že není třeba řešit místo pro akumulátory nebo jejich případné poruchy. Produkce FV panelů je v tomto případě stejná jako v předchozí variantě. Cena autorizované firmy za tento systém je 194 500 Kč.

Tab. 4.3: Výpočet elektrické energie, kterou bude nutné dodávat ze sítě pro systém s nižším výkonem bez akumulátorů

| Systém s nižším výkonem bez akumulátorů | | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|----------|---------|---------------|---------------|
| | Spotřeba | | Produkce | Přebytek | | Nedostatek | |
| | kWh | | | kWh | | kWh | |
| | PK | TČ | | PK | TČ | PK | TČ |
| Leden | 297,0 | 1607,0 | 219,4 | -77,6 | -1387,6 | 77,6 | 1387,6 |
| únor | 297,0 | 1215,5 | 325,9 | 28,9 | -889,6 | 65,2 | 889,6 |
| březen | 297,0 | 929,9 | 547,7 | 250,7 | -382,2 | 82,1 | 382,2 |
| duben | 297,0 | 759,0 | 782,7 | 485,7 | 23,8 | 117,4 | 72,9 |
| květen | 297,0 | 467,0 | 760,1 | 463,1 | 293,1 | 114,0 | 69,5 |
| červen | 297,0 | 406,0 | 762,6 | 465,6 | 356,6 | 76,3 | 46,6 |
| červenec | 297,0 | 437,0 | 795,2 | 498,2 | 358,2 | 79,5 | 49,8 |
| srpen | 297,0 | 434,0 | 765,4 | 468,4 | 331,4 | 76,5 | 46,8 |
| září | 297,0 | 444,0 | 654,8 | 357,8 | 210,8 | 98,2 | 53,7 |
| říjen | 297,0 | 554,8 | 463,2 | 166,2 | -91,5 | 69,5 | 91,5 |
| listopad | 297,0 | 897,3 | 240,3 | -56,7 | -657,0 | 56,7 | 657,0 |
| prosinec | 297,0 | 1603,3 | 199,5 | -97,5 | -1403,8 | 97,5 | 1403,8 |
| Rok celkem | 3564,0 | 9754,7 | 6516,8 | | | 1010,6 | 5150,9 |

4.5 Virtuální baterie

Návratnost může být také zajímavě ovlivněna využitím virtuální baterie. Fungování této služby bylo rozebráno v kapitole 1.4. V této práci bude uvažováno s cenami virtuální baterie dle ceníku E.ON [28]. Rovněž dle nabídky E.ON je počítáno s tím, že při čerpání energie z virtuální baterie je placena pouze distribuční složka ceny (cena silové elektřiny je plně nahrazena přebytkem dodaným do sítě). Velikost virtuální baterie bude pro každý systém uvažována tak, aby kryla co největší část nedostatku systému, ale nepřesáhla jeho přebytky. Ceny dle maximální celkové uložené energie za rok jsou zapsány v tabulce 4.4.

Tab. 4.4: Ceny virtuální baterie dle celkové uložené energie za rok

| Uložená energie [kWh/rok] | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | >4000 |
|---------------------------|------|------|------|------|-------|
| Cena [Kč/rok] | 588 | 1188 | 1788 | 2388 | 5988 |

4.6 Zhodnocení a srovnání

Pro srovnání návratnosti vybraných systémů je třeba znát, kromě investičních nákladů, také roční náklady těchto systémů. Ty lze zjistit ze spotřeby energií a jejich cen. Spotřeba systémů byla popsána v předchozích podkapitolách a jejich ceny jsou k nahlédnutí ve veřejně dostupných cenících dodavatele energií¹⁰. Pro porovnání bude počítáno se současnými cenami (platné k 11.3.2022) a s průměrnými cenami mezi lety 2018-2022. V obou variantách je uvažován meziroční nárůst cen o 5 %. Grafy zobrazující vývoj nákladů¹¹ všech systémů pro obě cenové varianty, s využitím virtuální baterie i bez ní, jsou k nahlédnutí v příloze A. Pro počítání s jinými cenami energií, nebo jejich růstem lze využít soubor z přílohy B.

Dle současných ceníků činí cena plynu při spotřebě vybraného domu 5,2 Kč/kWh. Co se elektřiny týče, je sazba určena způsobem vytápění. Pro vytápění plynovým kotlem bude uvažována sazba pro běžnou spotřebu domácnosti D02d, kdy cena činí 11,6 Kč/kWh. Při vytápění pomocí tepelného čerpadla, lze počítat se sazbou D57d, jak již bylo popsáno v kapitole 2.2. V tomto případě má zákazník nárok na nízký tarif (20 hodin denně), jehož cena činí 10,1 Kč/kWh. Cena vysokého tarifu je v tomto případě 10,5 Kč/kWh. Při počítání s cenovým průměrem je cena plynu 1,9 Kč/kWh, elektřiny v sazbě D02d 5,5 Kč/kWh a při sazbě D57d 3,6 Kč/kWh v NT a 3,8 Kč/kWh ze VT [29].

Z výše zmíněných, přiložených, grafů lze vyčíst, že v případě, kdy bude počítáno s cenou energií ze současných ceníků, jsou doby návratnosti relativně krátké, ve všech případech dokonce kratší než 9 let. Dále je také možné si ověřit, že investice do tepelného čerpadla byla smysluplná a roční náklady jsou při této variantě vytápění znatelně nižší. Doba návratnosti je v případě vytápění pomocí TČ rovněž kratší, i při variantě systému s největší produkcí se investice navrátí za méně než 7 let. Při počítání s cenovým průměrem z let 2018-2022 je už situace komplikovanější. Při vytápění PK se investice do nejvýkonnějšího systému nenavrátí ani za 15 let, při užívání TČ se investice do tohoto systému vrátí těsně před patnáctým rokem. Pro systém s nižší produkcí s akumulátory vychází návratnost přibližně 11-12 let a pro stejný systém bez akumulace okolo 9-10 let.

Zajímavé může být také srovnání jednotlivých fotovoltaických systémů mezi sebou. Ze stejných grafů je možné vyčíst, že celkové náklady za 15 let jsou ve všech případech nejnižší, nebo přinejmenším srovnatelné s ostatními systémy, při využití nejlevnějšího FV systému. Vzhledem k tomu, že tento systém nemá akumulaci, je

¹⁰Jelikož se vybraný dům nachází v distribučním území dodavatele EG.D (E.ON) cena vychází z ceníku tohoto dodavatele - varianta PRO. V cenách nejsou zahrnuty paušální měsíční poplatky (např. za jistič apod.)

¹¹Zahrnuje investiční náklady a náklady za elektřinu a plyn.

však nejnáchylnější na změny počasí a také na způsob užívání domu¹². To znamená, že jeho produkce a tedy i návratnost je velice proměnlivá a není tedy možné tvrdit, že bude vždy nejvýhodnější. Náklady při užívání systému s nejvyšší produkcí jsou, na druhou stranu, téměř ve všech případech vyšší než u ostatních dvou variant. Pouze v případě scénáře s vysokými cenami energií a vytápění TČ jsou náklady tohoto systému s náklady ostatních systémů srovnatelné. Důvodem může být například to, že cena tohoto systému přesahuje rámec dotací NZÚ, čímž se zvyšuje poměr ceny, kterou musí zaplatit sám investor, vůči ceně celkové.

Pokud bude počítáno s využíváním virtuální baterie, návratnost se, v případě kdy je uvažováno vytápění plynovým kotlem, téměř nezmění. V případě, kdy je dům vytápěn tepelným čerpadlem, je však situace zcela jiná. Při uvažování průměrných cen z posledních pěti let se návratnost zkrátí na 7 let pro systém bez akumulátorů, který tímto zároveň získá mnohem větší nezávislost na užívání domu. Ještě více se užití této služby projeví na nákladech nejdražšího uvažovaného systému, kdy se návratnost z 15 let sníží na 11 a celkové náklady za 15 let se stanou srovnatelnými s náklady systému s nižší produkcí a akumulátory.

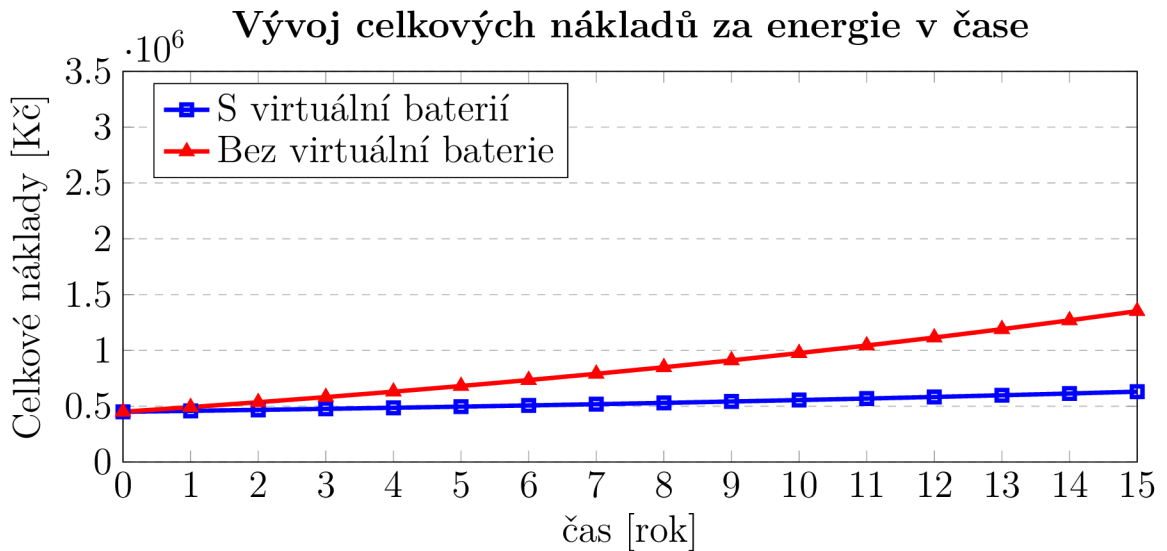
Tab. 4.5: *Regulovaná složka ceny elektřiny pro jednotlivé tarify [Kč/kWh]*

| | D02d | D57d VT | D57d NT |
|------------------------|------|---------|---------|
| Březen 2022 | 2,39 | 0,41 | 0,36 |
| Průměr z let 2018-2022 | 2,34 | 0,38 | 0,32 |

Pokud bude počítáno se scénářem s vyššími cenami, užití virtuální baterie se do celkových nákladů promítne ještě více. To je způsobeno také tím, že regulovaná složka ceny elektřiny se, oproti její celkové ceně, téměř nemění, jak lze vidět v tabulce 4.5. Nejvíce se služba opět projeví na nákladech systému s vyšší produkcí. Jeho návratnost se zkrátí na přibližně čtyři a půl roku a po osmi letech jsou jeho celkové náklady již nejnižší ze všech uvažovaných systémů. Jeho celkové náklady za 15 let se užitím virtuální baterie snížili o více než 500 000 Kč. Pro porovnání jsou na grafu 4.1 náklady tohoto systému zobrazeny při užití virtuální baterie a bez ní.

Jako vyhodnocení této kapitoly a hlavní části této práce lze vyvodit návrhy a doporučení k výběru vhodného FV systému pro popisovaný dům, která mohou být uplatnitelná i pro jiné domácnosti. Správná volba systému závisí především na ceně energií a jejím vývoji, který je, jak již zde bylo vícekrát uvedeno, velice nepředvídatelný. Pro investora je tedy nutné tento vývoj odhadnout. Záleží také na dalších okolnostech, jako je například požadovaná rychlost návratnosti systému,

¹²Způsobem užívání domu je zde myšleno například to, zda v něm obyvatelé aktivně tráví více času v noci, či ve dne. V případě, že je dům více užíván během denního světla, je energie z FV panelů více využita, než pokud je užíván především v noci.



Obr. 4.1: Srovnání nákladů s virtuální baterií a bez ní pro FV systém s vyšší produkcí při vytápění TČ a uvažování cen energií z března 2022

nebo maximální investice, kterou je majitel domu ochoten do FVE vložit. Volba systému může být také zásadně ovlivněna tím, zda a s jakými podmínkami bude využita virtuální baterie.

V případě, že bude uvažován negativní scénář cen energií a majitelé budou mít možnost využít službu virtuální baterie s podmínkami uvedenými v části 4.5, pak by mělo smysl uvažovat o systému s vyšší produkcí, jehož vstupní investice je sice vysoká, avšak jeho celkové náklady jsou již po 9 letech nižší než u ostatních variant. Pokud by takto vysoká investice nepřicházela v úvahu, je v tomto případě možné doporučit levnější systém bez akumulátorů, který má oproti verzi s akumulátory nižší vstupní investici, celkové náklady i rychlejší návratnost. Jestliže využití virtuální baterie nebude možné, nebo bude možné s mnohem horšími podmínkami, než bylo v této práci uvažováno, bude nejvhodnější variantou pravděpodobně systém s nižší produkcí a akumulátory. Celkové náklady za 15 let by v tomto případě byly u všech variant téměř totožné, proto lze doporučit „zlatou střední cestu“ mezi velikostí vstupní investice a spolehlivostí systému.

Pro případ, kdy je uvažováno s průměrnými cenami energií bez využití virtuální baterie je návratnost varianty s vyšší produkcí téměř nedosažitelná. Investor by se měl tedy rozhodovat mezi systémy nižším výkonem, kdy verze bez akumulátorů má nižší vstupní i celkové náklady za 15 let, na druhou stranu je však méně předvídatelná a v realitě se tedy náklady mohou značně lišit. Při využití virtuální baterie se tato nevýhoda ztratí a varianta se tedy stává nejvýhodnější.

Dále lze také doporučit vhodný systém pro případ, že by dům zůstal vytápěn pomocí plynového kotle. vzhledem k tomu, že velkou část ročních nákladů tvoří spotřeba plynu, kterou FVE neovlivní, zdá se být pro oba uvažované cenové scénáře nejvýhodnější systém s nižší produkcí bez akumulátorů a to i v případě bez virtuální baterie. Opět lze ale říci, že virtuální baterie dá systému větší nezávislost na rozložení spotřeby domu během dne. Důležité je v tomto případě také zvážit, zda nebude vhodnější finance investovat jinde – například do nahrazení stávajícího zdroje tepelným čerpadlem.

5 Elektromobil

5.1 Popis

Kromě spotřeby domu můžeme dále také uvažovat s externí spotřebou, jakou je například pohon elektromobilu. Ačkoliv byl první elektromobil vynalezen ještě dříve než první automobil se spalovacím motorem, obliba těchto vozidel vzrůstá až v posledních letech. Tento zájem je zapříčiněn především velkým technologickým posunem v oblasti baterií a také omezováním spalovacích motorů ze strany států a Evropské unie.

V dnešní době, kvůli omezené produkci energie a její vysoké spotřebě, ještě není možné spalovací motory kompletně nahradit pohony elektrickými. Vzhledem k omezenému množství ropy a stále přísnějším ekologickým opatřením však budou muset být spalovací motory v dohledné době nahrazeny a elektromobily se v současnosti jeví jako jejich nejpravděpodobnější nástupci.

5.2 Nabíjení

Elektromobily lze nabíjet pomocí standardních zásuvek na 230 V, třífázových zásuvek, nebo pomocí speciálních nabíječek, tzv. wallboxů [30]. K nabíjení ze zásuvky sice není třeba investovat do žádného dalšího zařízení, avšak nabíjení pomocí wallboxu je mnohem rychlejší, navíc při nabíjení z FV systému umožňují efektivně zorganizovat nabíjení, tak aby se elektromobil nabíjel přednostně ve chvíli, kdy panely vyrábějí přebytek energie.

Pro porovnání bude v této práci uvažováno s elektromobilem VW e-golf, jehož průměrná spotřeba se pohybuje okolo 14 kWh na 100 km. Cesta z Osové Bítýšky do Brna je dlouhá přibližně 50 km, pokud by tedy uživatel dojížděl každý pracovní den do Brna a zpět, za měsíc by najezdil zhruba 2000 km, což odpovídá spotřebě 280 kWh elektrické energie za měsíc. Kapacita baterie tohoto vozu činí 36 kWh [31]. Při nahrazení spotřeby produkcí z FVE bude počítáno s tím, že nabíjení bude z 90 % času probíhat během slunečního svitu a tudíž nebude potřeba kvůli nabíjení budovat další baterie. Pořizovací cena baterií, jejichž kapacita by odpovídala kapacitě elektromobilu, nebo přinejmenším jeho denní spotřebě, by byla enormně vysoká a návratnost tedy pravděpodobně nereálná.

5.3 Srovnání

Aby bylo možné určit, zda je využití fotovoltaiky pro nabíjení elektromobilu výhodné, bude zde porovnávána návratnost nabíjení elektromobilu při nabíjení z FV systému proti nabíjení ze sítě. Faktorem, který může ovlivnit tyto návratnosti, je nárok na sazbu D27d. Na ten získává nárok majitel registrovaného elektromobilu [21]. V případě popisovaného domu, kdy je vytápění rodinného domu realizováno pomocí TČ, může být ale vhodnější zůstat u sazby D57d, ta sice nenabízí tak výhodný nízký tarif jako D27d, ale nabízí jej po dobu 20 hodin denně, oproti 8 hodinám, které garantuje tarif D27d.

Investiční náklady pro nabíjení ze sítě zahrnují pouze cenu wallboxu. V této práci je počítáno s nabíječkou OlifeEnergy WallBox BASE, jejíž cena¹³ je 22 558 Kč [32]. Pro případ, kdy bude stavěn FV systém, je třeba tuto cenu navýšit o cenu panelů, které produkují dostatek energie k nabytí vozu. Výkon panelů je třeba navrhnout tak, aby pokryl denní spotřebu vozidla. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, je zde počítáno s tím, že vůz ujede 100 km denně, což při průměrné spotřebě 14 kWh/100 km znamená denní spotřebu 14 kWh energie. Úpravou rovnic 3.4 a 3.5 lze zapsat vzorec pro výpočet potřebné plochy panelů k pokrytí této spotřeby:

$$A_{fv} = \frac{E_{EM,d}}{0,9 \cdot \frac{\eta_{fv}}{100} \cdot H_d \cdot (1 - \frac{p}{100})}. \quad (5.1)$$

Kde η_{fv} je počítána jako průměrná hodnota účinnosti z tabulky 3.2 a H_d je průměrná denní dávka slunečního záření vypočtena z hodnot z tabulky 2.1 následujícím způsobem:

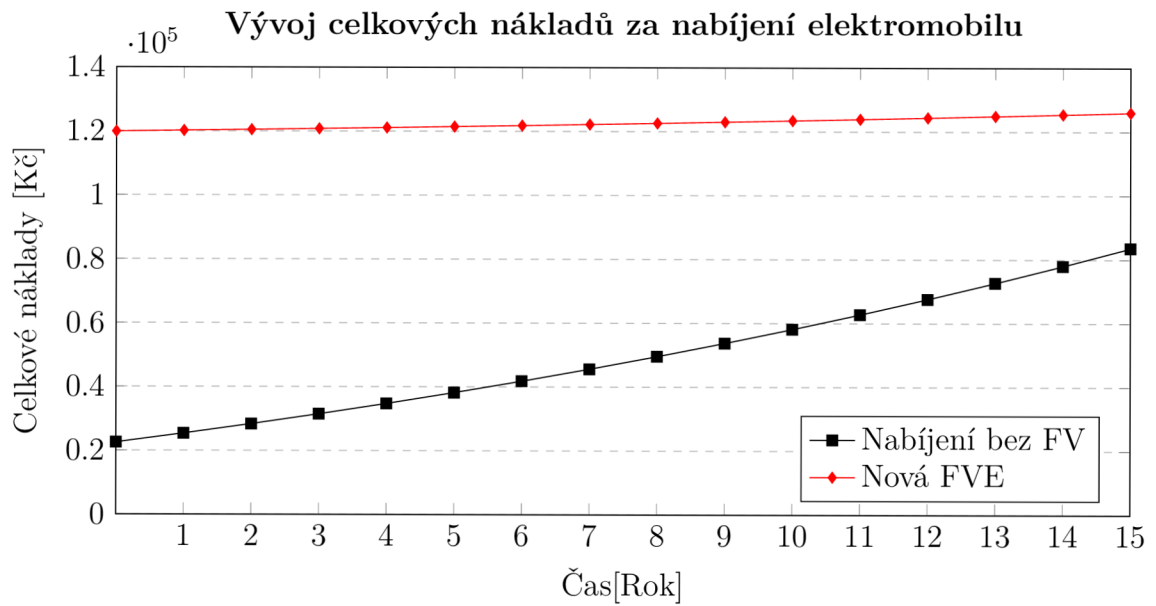
$$H_d = \frac{\sum_{n=1}^{12} H_m}{365}. \quad (5.2)$$

Potřebná plocha panelů pak činí přibližně 23,5 m². Při uvažování panelů AEG s rozměry 2094x1038 mm to znamená, že pro pokrytí spotřeby elektromobilu je potřeba postavit FV systém s 11 panely, jejichž celková cena je 68 464 Kč [23]. Pokud bude pro nabíjení vozu postavena nová FV elektrárna, bude také nutné zajistit střídač – uvažován je střídač GoodWe GW6K-DT s cenou 28 876 Kč [33]. Celkové investiční náklady tedy činí 22 558 Kč pro nabíjení bez FVE a 119 898 Kč při vybudování nového FV systému.

Návratnosti systému lze porovnat obdobně jako v kapitole 4.6. Ve srovnání je uvažována cena elektřiny 10,1 Kč/kWh. Z grafu 5.1 je očividné, že ani v tomto případě, kdy je počítáno s velmi vysokou cenou elektřiny, se investice do FV nabíjení elektromobilu během 15 let nenavratí. Je však nutné také říci, že uvedené srovnání počítá s využitím panelů pouze pro nabíjení elektromobilu, ty však vyrobí více energie, než je potřeba pro nabíjení elektromobilu a tyto přebytky by mohly být využity

¹³všechny ceny uvedené v této kapitole jsou platné pro březen 2022.

i pro krytí části spotřeby domu. V případě, že by dům již FV systémem disponoval, byla by návratnost podobná té, uvedené v předcházející kapitole, případně ještě vyšší, vzhledem k většímu využití panelů v létě.



Obr. 5.1: Vývoj nákladů za nabíjení elektromobilu při nabíjení ze sítě a z FVE

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit vlastníkům rodinného domu problematiku malých fotovoltaických elektráren instalovaných přímo na domě. Jelikož se jedná o velice rozsáhlé téma, bylo jej potřeba řešit z několika různých pohledů. Konkrétními cíli zde tedy bylo popsat tuto domácí fotovoltaickou elektrárnu, charakterizovat spotřebu vybraného domu a porovnat pro něj návratnosti různých FV systémů.

První kapitola byla věnována teoretickému popisu fotovoltaických systémů. Tyto teoretické znalosti sice k návrhu konkrétního systému nejsou potřebné, avšak pro případného investora mohou být tyto informace užitečné při rozhodování, zda se chce touto cestou vydat. Kromě podrobného popisu různých typů panelů, jak komerčně dostupných tak těch teprve vyvíjených, zde byla také uvedena ekologická stránka této problematiky – konkrétně tedy výroba a likvidace FV panelů. Dále byly v této kapitole také zhodnoceny výhody a nevýhody pořízení tohoto zdroje.

Další kapitola byla věnována popisu vybraného domu, tedy jeho lokalitě, rozloze střechy, způsobu vytápění a spotřebě energií. Lokalita domu udává velikost slunečního ozáření a také průměrnou okolní teplotu. Tyto údaje jsou potřebné pro výpočet účinnosti a produkce solárního panelu. Rozloha střechy je omezující parametr, který určuje maximální velikost systému. Co se způsobu vytápění týče, je dům vytápěn pomocí tepelného čerpadla, avšak k dispozici jsou i data z doby, kdy byl vytápěn plynovým kotlem. Spotřeba je tedy, pro následné porovnání, uvede pro oba způsoby.

Následující dvě kapitoly se týkaly samotného výběru FV systému. Nejprve byl uveden postup výpočtu skutečné účinnosti panelu, ze které lze následně spočítat také produkci energie panelu. Pomocí těchto postupů byla vypočtena energetická produkce pro tři různé typy panelů a srovnáním jejich cen byla stanovena také jejich výnosnost. Z tohoto srovnání bylo zjištěno, že monokrystalické a polykrystalické panely jsou téměř stejně výnosné, oproti toho speciální typy panelů, které slibují větší účinnost, nemusí být vhodnou volbou.

Jelikož existuje nepřehledné množství různých panelů i ostatních součástí, jako jsou střídače a akumulátory, a je také možné tyto součásti užít v různém množství, nelze uvést všechny možné systémy. Pro účel srovnání byly vybrány tři systémy různých rozsahů a tedy také různých cenových skupin. Kromě vybraných součástí závisí návratnost systému také na uvažovaných cenách energií a jejich růstech, proto bylo srovnání provedeno pro dva různé scénáře vývoje těchto cen. Ze srovnání vyšlo najevo, že se návratnost systémů pohybuje mezi 3 a 15 lety, podle uvažovaného systému, cenového scénáře, způsobu vytápění a také podle toho, zda bylo počítáno s využitím virtuální baterie nebo ne. Dále se také ukázalo, že systémem, který lze univerzálně doporučit, je systém s nižší produkcí bez akumulátorů, ideálně s využitím virtuální baterie. Náklady tohoto systému by se měli navrátit v každém případě

a to za relativně krátkou dobu. Jeho pořizovací cena je také nízká, navíc je systém možné rozšířit v budoucnu, až budou k dispozici pokročilejší technologie.

V poslední kapitole byly možnosti fotovoltaické elektrárny rozšířeny také o pořízení elektromobilu. Při srovnání bylo zjištěno, že vybudování systému pouze za účelem nabíjení elektromobilu není ekonomicky výhodné.

Závěrem této práce lze tedy konstatovat, že fotovoltaické systémy pro rodinné domy lze doporučit jak z hlediska ekologického tak ekonomického, avšak je třeba tuto investici řádně promyslet a také správně odhadovat vývoj cen energií.

Literatura

- [1] HEWITT, P. G. The Photoelectric Effect.(FOCUS ON PHYSICS BUILDING AN UNDERSTANDING OF PHYSICAL PRINCIPLES). *The Science teacher (National Science Teachers Association)* [online]. Washington: National Science Teachers Association, 2019, **87**(3), 12-14 [cit. 2022-04-04]. ISSN 0036-8555.
- [2] Princip fotovoltaického efektu. In: *Svět energie* [Online]. 10. listopadu 2020 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/slunecni-elektrarny-podrobne/fotovoltaicke-clanky-a-panely/fyzikalni-principy>
- [3] SVARC, J. Solar Panel Construction. In: NEWKIRK, M. *Solar Energy Reviews*[online]. 20. března 2020 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.cleaneenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- [4] GUERRERO-LEMUS, R. et al. Bifacial solar photovoltaics – A technology review. *Renewable & sustainable energy reviews* [online]. Elsevier, 2016, 60, 1533-1549 [cit. 2022-04-04]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi: 10.1016/j.rser.2016.03.041
- [5] [Fotovoltaický panel]. In: KOS, L. *FVESYSTEMY.cz* [Online]. 18. června 2019 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.fvesystemy.cz/Terminologie-a-5_0.htm
- [6] ASKARI, M. B.,M. A. V. MIRZAEI a M. MIRHABIBI. Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*[Online]. Science Publishing Group, 2015, **3**(5), 94-113 [cit. 2022-04-10]. ISSN 2330-8494. Dostupné z: doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17
- [7] Best Research-Cell Efficiency Chart. In: *NREL.gov*[online]. 12. února 2019 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- [8] MARSH, J. Solar windows: can you turn your windows into solar glass. In: *energysage*[online]. 1. července 2021 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://news.energysage.com/solar-panel-windows-solar-blinds/>
- [9] CHUKWUKA, C.,K. A. FOLLY. Overview of Concentrated Photovoltaic (CPV) Cells. *Journal of Power and Energy Engineering*[Online]. ResearchGate, 2014, **2**(11), 1-8 [cit. 2022-04-10]. ISSN 2327-5901. Dostupné z: doi: 10.4236/jpee.2014.211001

- [10] POULEK, V., M. LIBRA. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO*[Online]. Praha: FCC PUBLIC, 2010, **19**(3), 6-9 [cit. 2022-04-10]. ISSN 1210-0889.
- [11] SULTAN, M., E. ELSHERBINY a M. SOBHY. A method for neutron transmutation doping of silicon in research reactors. *Annals of nuclear energy*[Online]. OXFORD: Elsevier, 1995, **22**(5), 303-310 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0306-4549. Dostupné z: doi:10.1016/0306-4549(94)00063-K
- [12] BECHNÍK, B. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 26. září 2011 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [13] KUBÁTOVÁ, V. Pořizujete fotovoltaiku? Pozor na povinné úpravy elektroměrových sloupků. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 7. září 2021 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/20379-porizujete-fotovoltaiku-pozor-na-povinne-upravy-elektromerovych-sloupku>
- [14] ZILVAR, J. Co byste měli znát před instalací domácí fotovoltaické elektrárny. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 14. března 2021 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22068-co-byste-meli-znat-pred-instalaci-domaci-fotovoltaicke-elektrarny>
- [15] Elektřina - ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny. In: *kurzy.cz*[online]. Poslední změna 14. března 2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/1kwh-czk-30-let>
- [16] Vývoj výkupních cen větrné energie a ostatních obnovitelných zdrojů. In: *Česká společnost pro větrnou energii*[online]. Praha: Česká společnost pro větrnou energii, 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://csve.cz/clanky/vyvoj-vykupnich-cen-vetrne-energie-a-ostatnich-obnovitelnych-zdroju/278%20ktrarny>
- [17] BŘEZINOVÁ, J. Virtuální baterie do fotovoltaiky: Porovnání dodavatelů. In: *elektřina.cz*[online]. Praha: Ušetřeno.cz, 20. října 2020 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.elektřina.cz/virtualni-baterie-do-fotovoltaiky>
- [18] DOUCHA, P. Možnosti připojení domácí elektrárny v roce 2016. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 16. března 2016 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z:

- <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13918-moznosti-pripojeni-do-maci-elektrarny-v-roce-2016>
- [19] TNI 73 0302. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 16 s. Třídící znak 73 0302.
- [20] *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*[online]. Brusel: European Commission, Poslední změna 15. října 2019 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR
- [21] Přehled sazeb a cen za zajišťování distribuce elektřiny. In: *EG.D*[online]. Brno: EG.D, 1. ledna 2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.egd.cz/distribucni-ceniky-sazby-elektriny>
- [22] MATUŠKA, T. Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 7. března 2016 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednodusen-y-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [23] Solární panel AEG 450Wp AS-M1444Z-H(M6)-450. In: *SLADKOVSKÝ, V. Solars*[online]. Příbram: Solars [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-as-m1442-h-450-m6>
- [24] Solární panel Amerisolar 285Wp. In: *Neosolar*[online]. Jihlava: Neosolar [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.solars.cz/product-page/sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-as-m1442-h-450-m6>
- [25] Panasonic VBHN330SJ53. In: *Europe - Solarstore.com*[online]. Europe - Solarstore.com [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://eshop.neosolar.cz/solarni-panel-amerisolar-285wp>
- [26] Fotovoltaické elektrárny. *S-POWER*[online]. Tachlovice: S-Power Energies, s.r.o., 7. března 2016 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/fotovoltaicke-elektrarny/>
- [27] KUBÁTOVÁ, V. Nové podmínky dotací NZÚ pro fotovoltaiku od října 2021: Na co máte nárok. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 22. září 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22807-nove-podminky-dotaci-nzu-pro-fotovoltaiku-od-rijna-2021-na-co-mate-narok>
- [28] Solar. In: *E.ON*[online]. Essen: E.ON [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/sluzby/solar/#cenik>

- [29] Ceníky. In: *E.ON*[online]. Essen: E.ON [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/?type=false&commodity=Electricity&page=1&searchType=facetsearch&year=2022®ion=JIHOMORAVSKY&county=BRNO_MESTO
- [30] Nabíjení elektromobilu a fotovoltaika. In: *TZB-info*[online]. Praha: TZB-info, 25. února 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/21909-nabijeni-elektromobilu-a-fotovoltaika>
- [31] e-Golf. In: *Volkswagen*[online]. Wolfsburg: Volkswagen [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/e-golf>
- [32] Olife Energy Wallbox AC 22kW . In: *SECTRON*[online]. Ostrava: SECTRON, s.r.o. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://eshop.sectron.cz/cs/olife-energy-wallbox-ac-22kw-base-krouceny-kabel-typ-2-4m/p-15190/>
- [33] Solární měnič GoodWe GW6K-DT. In: *ifTECH*[online]. Olomouc: ifTECH, s.r.o.[cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://shop.iftech.cz/solarni-menice/2849-solarni-menic-goodwe-gw6k-dt.html>

Seznam symbolů a zkratk

Seznam zkratk

| ZKRATKA | VÝZNAM |
|---------|---|
| CPV | concentrated photovoltaic – koncentrovaná fotovoltaika |
| FV | fotovoltaika |
| FVE | fotovoltaická elektrárna |
| NREL | National Renewable Energy Laboratory (Národní laboratoř pro obnovitelné zdroje) |
| NT | nízký tarif |
| PK | plynový kotel |
| TČ | tepelné čerpadlo |
| VT | vysoký tarif |

Seznam veličin

| ZNAČKA | JEDNOTKA | VÝZNAM |
|----------------|-----------------------|--|
| A_{fv} | [m ²] | celková účinná plocha panelů |
| A_s | [m ²] | plocha střechy, kterou lze zastavit panely |
| $E_{EM,d}$ | [kWh] | denní spotřeba energie elektromobilem |
| $E_{fv,m}$ | [kWh] | energie dodaná systémem za měsíc |
| E_{fv,m,m^2} | [kWh/m ²] | energie dodaná čtverečním metrem panelu za měsíc |
| G | [W/m ²] | sluneční ozáření |
| G_m | [W/m ²] | střední měsíční sluneční ozáření |
| G_{ref} | [W/m ²] | referenční sluneční ozáření |
| h | [m] | výška střechy |

| ZNAČKA | JEDNOTKA | VÝZNAM |
|----------------|------------------------|---|
| H_d | [kWh/m ²] | denní dávka sluneční energie |
| H_m | [kWh/m ²] | měsíční dávka sluneční energie |
| $H_{m,opt}$ | [kWh/m ²] | měsíční dávka sluneční energie pro optimální orientaci a sklon panelu |
| k | [-] | součinitel snížení účinnosti |
| N | [kWh/Kč] | výnosnost panelu |
| $NOCT$ | [°C] | normální provozní teplota |
| p | [%] | koeficient přenosových ztrát |
| p_{m^2} | [Kč/m ²] | cena za čtvereční metr panelu |
| t_e | [°C] | teplota okolního vzduchu |
| $t_{e,s}$ | [°C] | střední měsíční teplota venkovního vzduchu v době slunečního svitu |
| t_{fv} | [°C] | teplota fotovoltaického panelu |
| U | [W/(m ² K)] | součinitel tepelné ztráty |
| w | [m] | šířka střechy |
| α | [%] | pohltivost panelu |
| γ | [%/K] | teplotní součinitel výkonu |
| $\Delta\eta_g$ | [%] | relativní snížení účinnosti |
| η_{fv} | [%] | účinnost fotovoltaického panelu |
| η_{ref} | [%] | referenční účinnost fotovoltaického panelu |
| φ | [°] | úhel sklonu střechy |

Seznam příloh

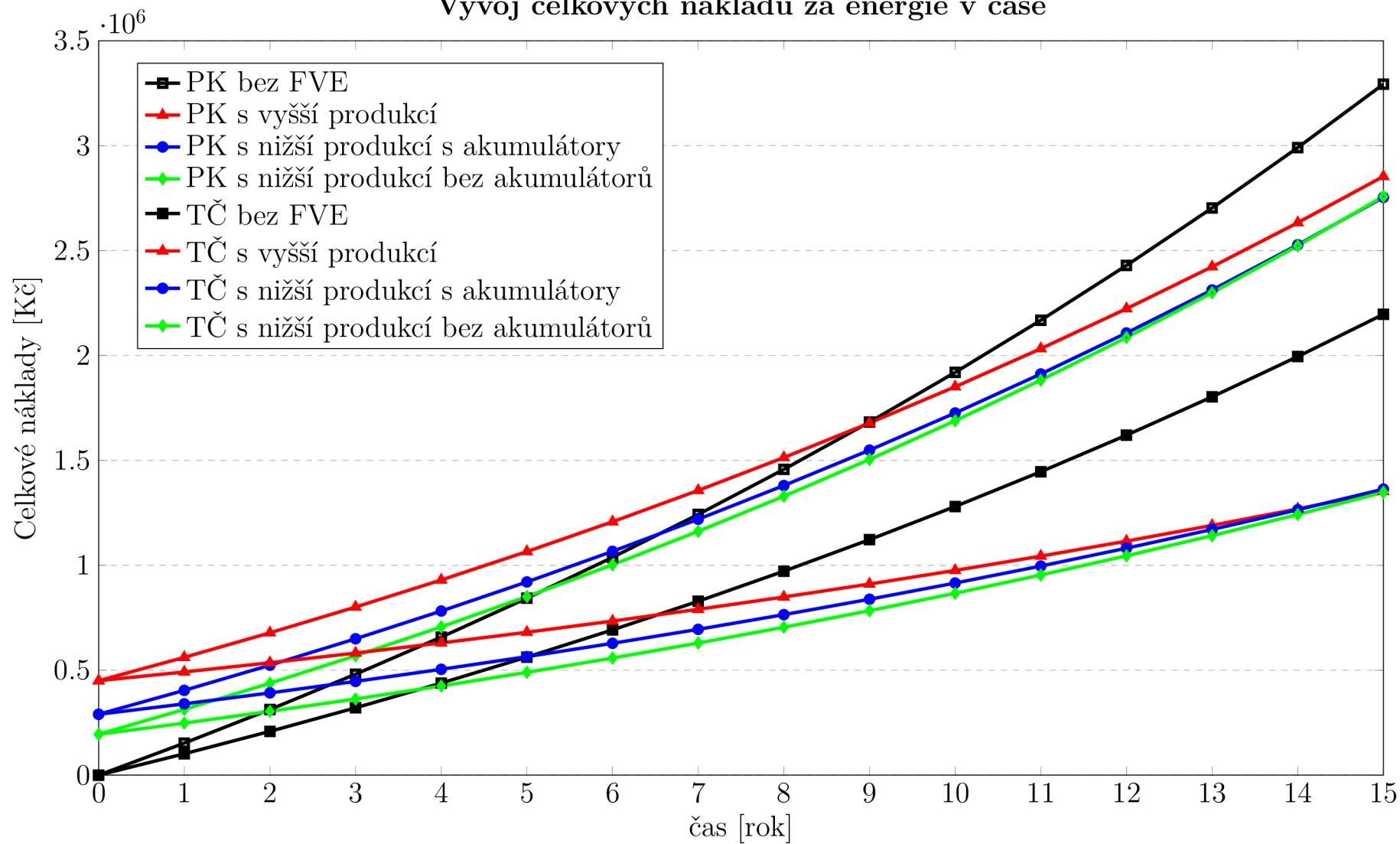
| | |
|-------------------------------------|----|
| A Grafy vývoje nákladů za energie | 57 |
| B Soubor pro vykreslení návratnosti | 63 |

A Grafy vývoje nákladů za energie

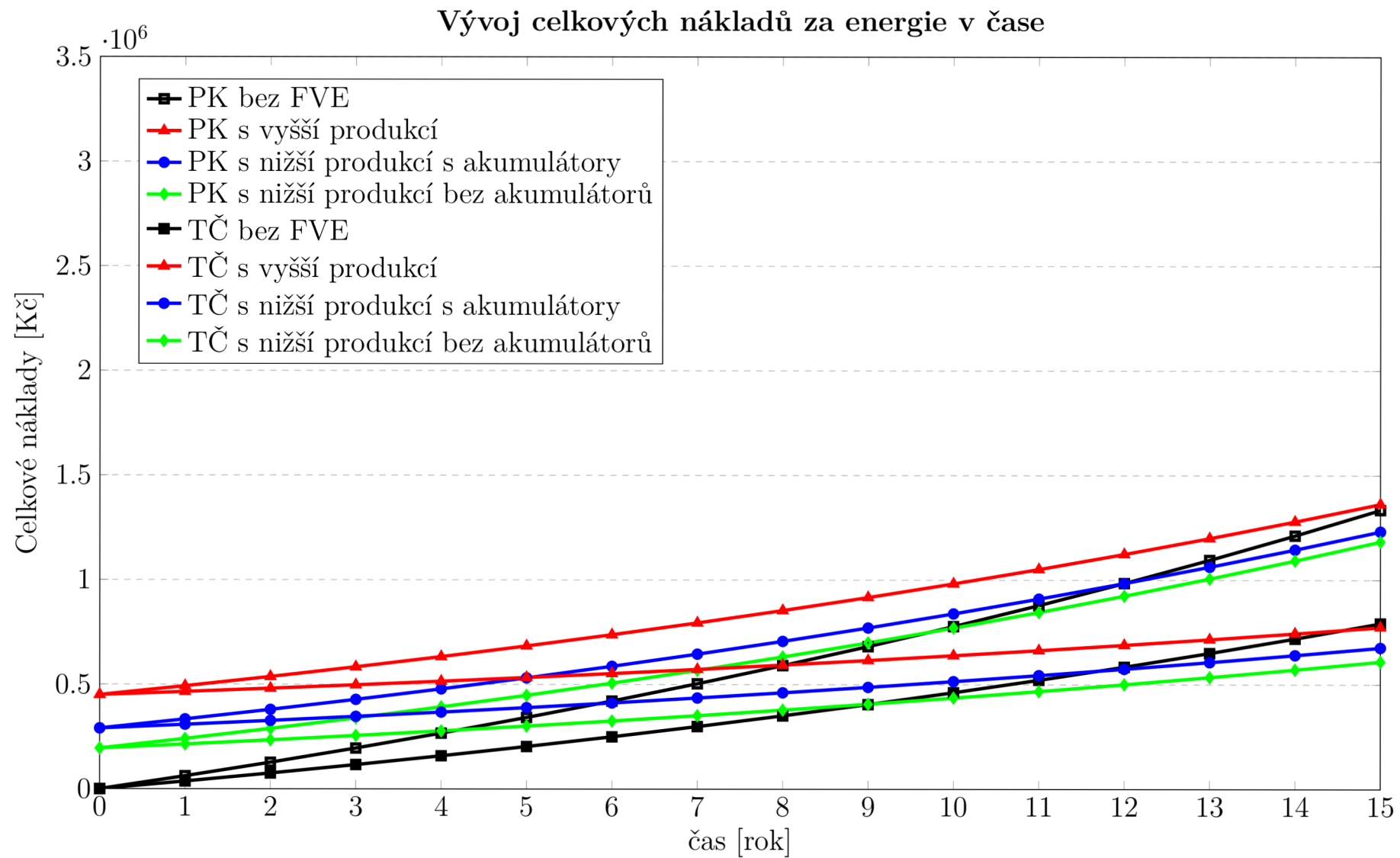
Obsahem této přílohy jsou grafy zobrazující vývoj nákladů jednotlivých FV systémů při uvažování různých scénářů:

1. Vývoj nákladů při uvažování cen z března 2022 bez virtuální baterie.
2. Vývoj nákladů při uvažování průměrných cen z let 2018-2022 bez virtuální baterie.
3. Vývoj nákladů při uvažování cen z března 2022 s virtuální baterií.
4. Vývoj nákladů při uvažování průměrných cen z let 2018-2022 s virtuální baterií.

Vývoj celkových nákladů za energie v čase

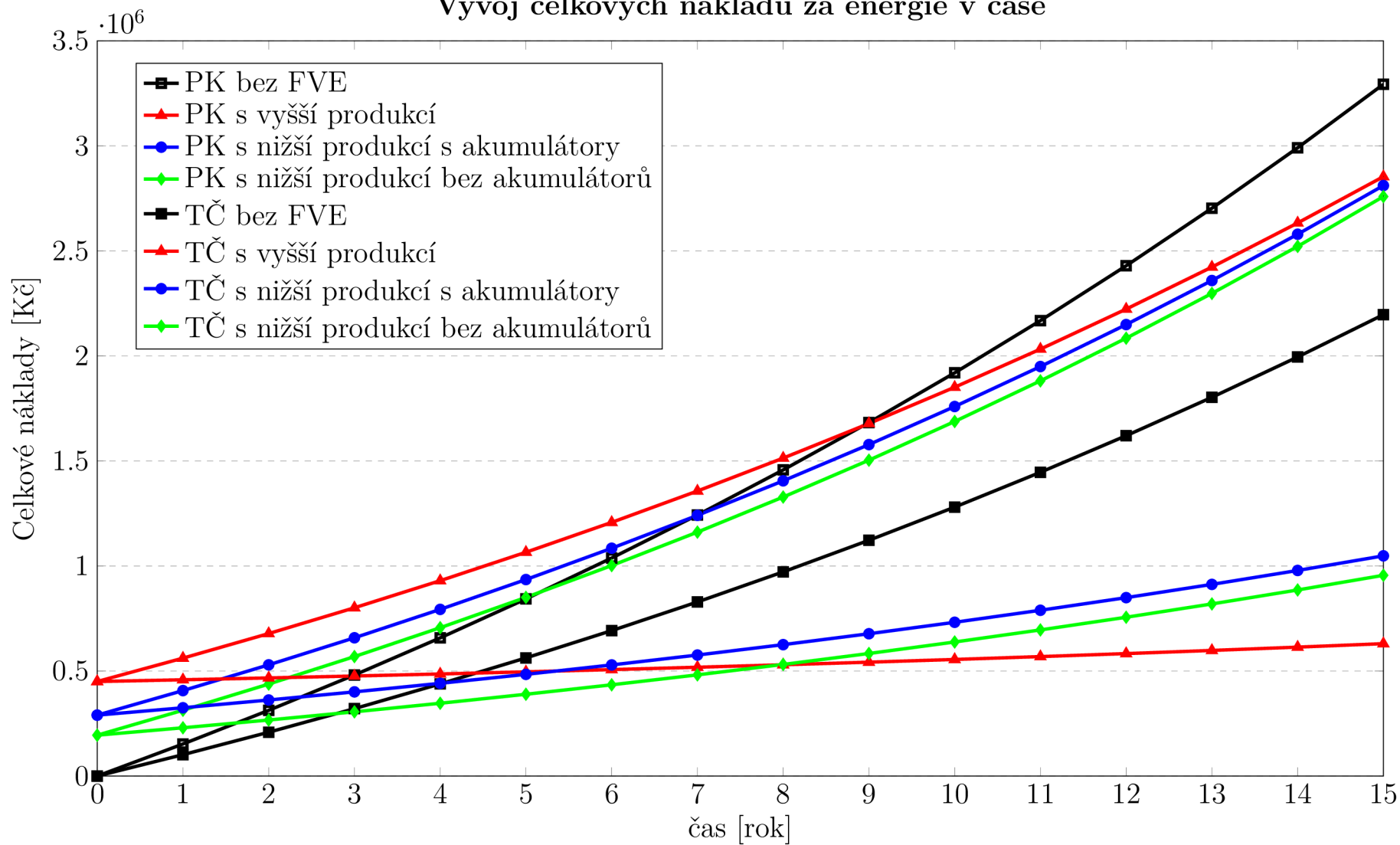


Obr. A.1: Vývoj nákladů při uvažování cen z března 2022 bez virtuální baterie

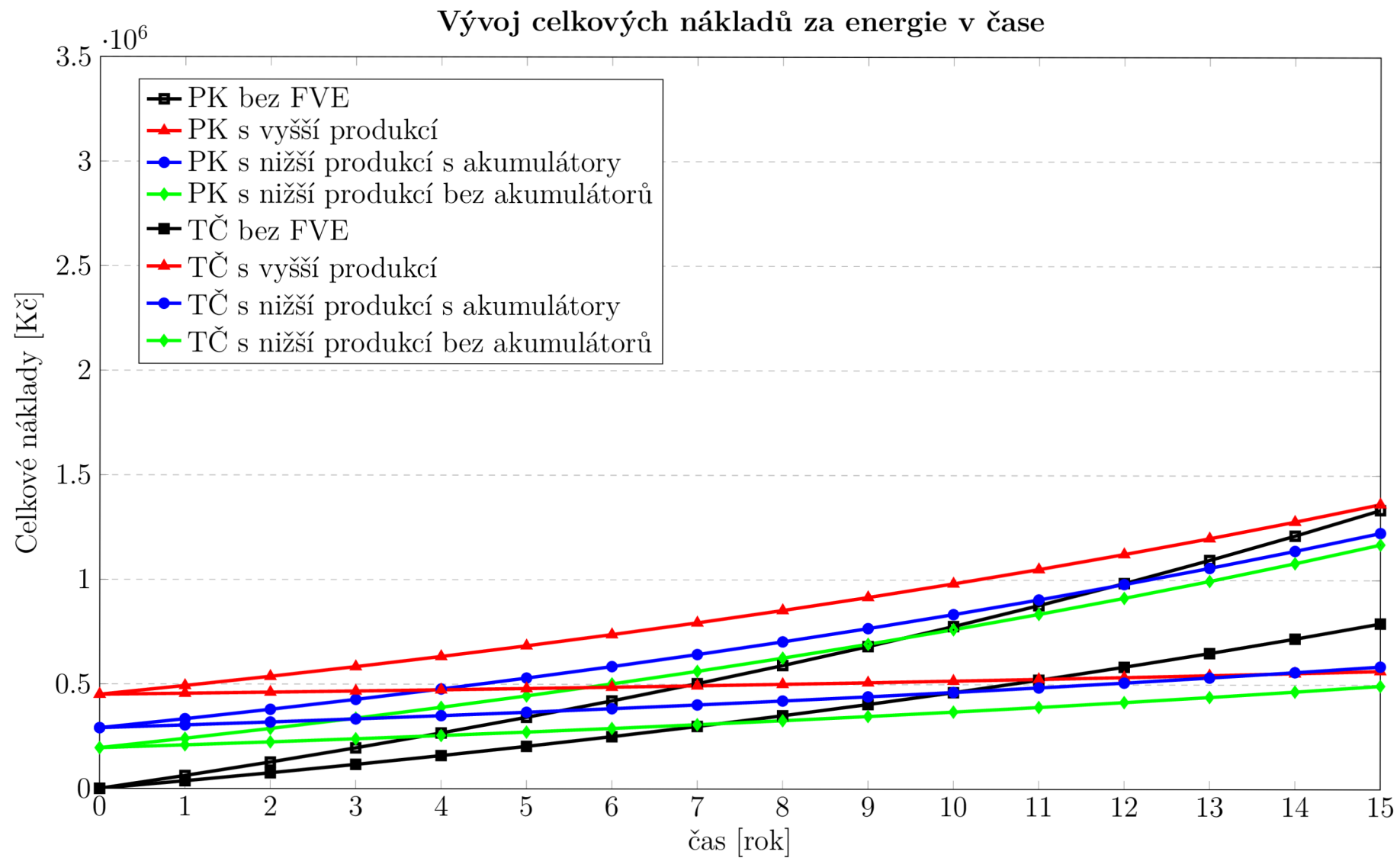


Obr. A.2: Vývoj nákladů při uvažování průměrných cen z let 2018-2022 bez virtuální baterie

Vývoj celkových nákladů za energie v čase



Obr. A.3: Vývoj nákladů při uvažování cen z března 2022 s virtuální baterií

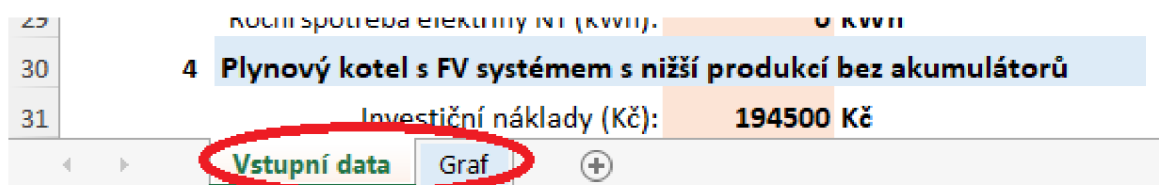


Obr. A.4: Vývoj nákladů při uvažování průměrných cen z let 2018-2022 s virtuální baterií

B Soubor pro vykreslení návratnosti

Příloha obsahuje sešit aplikace excel (navratnostFVE.xlsx) pro vykreslení vývoje nákladů za energie různých systémů. Návod na použití souboru je popsán níže.

1. Soubor obsahuje 2 listy – list „Vstupní data“ a list „Graf“ pro zadání informací je nutné zvolit „Vstupní data“.



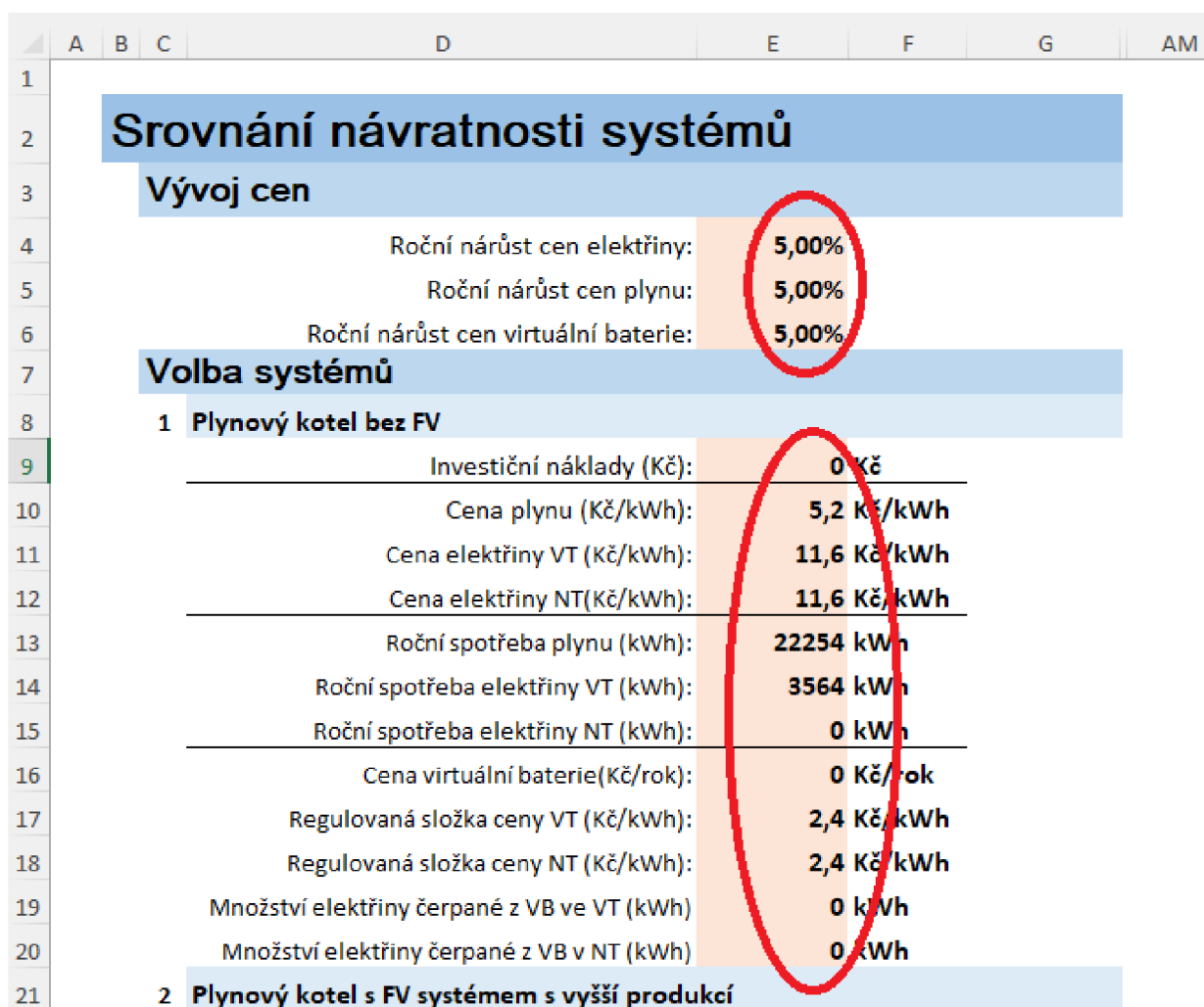
Roční spotřeba elektřiny NT (kWh): 0 kWh

4 Plynový kotel s FV systémem s nižší produkcí bez akumulátorů

Investiční náklady (Kč): **194500 Kč**

Vstupní data Graf

2. Do listu je třeba zadat nejprve uvažovaný roční nárůst cen energií a následně pro každý systém investiční náklady za FVE, spotřeby a ceny energií a parametry virtuální baterie, pokud je uvažována. Kromě těchto dat lze v souboru také upravit názvy systémů.



| A | B | C | D | E | F | G | AM |
|----|---|---|---|---|--------------------|---|----|
| 1 | Srovnání návratnosti systémů | | | | | | |
| 2 | Vývoj cen | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | Roční nárůst cen elektřiny: | | 5,00% | | |
| 5 | | | Roční nárůst cen plynu: | | 5,00% | | |
| 6 | | | Roční nárůst cen virtuální baterie: | | 5,00% | | |
| 7 | Volba systémů | | | | | | |
| 8 | 1 Plynový kotel bez FV | | | | | | |
| 9 | | | Investiční náklady (Kč): | | 0 Kč | | |
| 10 | | | Cena plynu (Kč/kWh): | | 5,2 Kč/kWh | | |
| 11 | | | Cena elektřiny VT (Kč/kWh): | | 11,6 Kč/kWh | | |
| 12 | | | Cena elektřiny NT(Kč/kWh): | | 11,6 Kč/kWh | | |
| 13 | | | Roční spotřeba plynu (kWh): | | 22254 kWh | | |
| 14 | | | Roční spotřeba elektřiny VT (kWh): | | 3564 kWh | | |
| 15 | | | Roční spotřeba elektřiny NT (kWh): | | 0 kWh | | |
| 16 | | | Cena virtuální baterie(Kč/rok): | | 0 Kč/rok | | |
| 17 | | | Regulovaná složka ceny VT (Kč/kWh): | | 2,4 Kč/kWh | | |
| 18 | | | Regulovaná složka ceny NT (Kč/kWh): | | 2,4 Kč/kWh | | |
| 19 | | | Množství elektřiny čerpané z VB ve VT (kWh) | | 0 kWh | | |
| 20 | | | Množství elektřiny čerpané z VB v NT (kWh) | | 0 kWh | | |
| 21 | 2 Plynový kotel s FV systémem s vyšší produkcí | | | | | | |

3. Po vyplnění vstupních dat je možné přepnout na list „Graf“, ve kterém je již vyobrazen vývoj nákladů jednotlivých systémů během 15 let.

