

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Diplomová práce

Využití simulace Monte Carlo při hodnocení projektu

Use of Monte Carlo Simulation in Project Evaluation

Ing. Martin Vinš

Plzeň 2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta ekonomická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Ing. Martin VINŠ**
Osobní číslo: **K19N0049K**
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Podniková ekonomika a management**
Téma práce: **Využití simulace Monte Carlo při hodnocení projektu**
Zadávající katedra: **Katedra financí a účetnictví**

Zásady pro vypracování

1. Proveďte rešerši systémů se solárními panely pro rodinné domy.
2. Představte metodiky hodnocení projektů instalace a provozu těchto systémů.
3. Objasněte metody odhadu distribuce náhodných vstupních parametrů.
4. Popište metodu Monte Carlo.
5. Vyberte vhodný SW pro hodnocení projektů s náhodnými parametry a zdůvodněte výběr.
6. Aplikujte popsané postupy na vybranou případovou studii.
7. Proveďte zhodnocení použitých postupů.

Rozsah diplomové práce: **60 – 80**
Rozsah grafických prací: **neuveđen**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Dlouhý, M. (2011). *Simulace podnikových procesů*. Brno: Computer Press.
Fotr, J., Dědina, J., & Hrůzová, H. (2003). *Manažerské rozhodování*. Praha: Ekopress.
French, S., Maule, J., & Papamichail, N. (2009). *Decision behaviour, analysis and support*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Sauter, V. L. (2011). *Decision support systems for business intelligence*. Chicester: Wiley – Blackwell (an imprint of John Wiley & Sons Ltd).

Vedoucí diplomové práce: **Doc. RNDr. Mikuláš Gangur, Ph.D.**
Katedra ekonomie a kvantitativních metod

Datum zadání diplomové práce: **23. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. dubna 2021**

Krečovská



h.z. Krečovská

Doc. Ing. Michaela Krečovská, Ph.D.
děkanka

Ing. Pavlína Hejduková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. října 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

„Využití simulace Monte Carlo při hodnocení projektu“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 10. 12. 2020

.....

podpis autora/autorky

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Mikuláši Gangurovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce, Ing. Milanu Bělíkovi, Ph.D. za poskytnutí dat a vstřícný přístup při konzultaci práce a taktéž Ivaně Smekové za poskytnutí dat a pomoc s parametrizací případové studie.

Obsah

Úvod	11
Cíle práce	12
1 Rešeršní část	13
1.1 Fotovoltaické panely a jejich instalace v rodinných domech.....	13
1.1.1 Základní dělení	13
1.1.2 Počátky fotovoltaiky	13
1.1.3 Princip funkce fotovoltaického panelu	13
1.1.4 Rozdělení systémů podle připojení na síť.....	15
<i>1.1.4.1 Topologie s propojením se sítí (ongrid)</i>	<i>15</i>
<i>1.1.4.2 Topologie bez propojení se sítí (offgrid)</i>	<i>16</i>
<i>1.1.4.3 Hybridní topologie</i>	<i>17</i>
1.1.5 Popis komponent instalací	18
<i>1.1.5.1 Fotovoltaické panely.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.5.2 Regulátor (MPPT – Maximum Power Point Tracker).....</i>	<i>19</i>
<i>1.1.5.3 Střídač (měnič).....</i>	<i>19</i>
<i>1.1.5.4 Propojovací vodiče.....</i>	<i>20</i>
<i>1.1.5.5 Ochranná a měřicí zařízení.....</i>	<i>20</i>
<i>1.1.5.6 WATTrouter.....</i>	<i>20</i>
<i>1.1.5.7 Baterie</i>	<i>20</i>
<i>1.1.5.8 Záložní zdroj</i>	<i>20</i>
1.1.6 Chyby montáže, vady a poruchy.....	21
<i>1.1.6.1 Hot spoty u fotovoltaických panelů.....</i>	<i>21</i>
<i>1.1.6.2 Třetinové vady u fotovoltaických panelů</i>	<i>22</i>
1.2 Obecný postup ekonomického hodnocení energetických projektů a jejich provozu	23

1.2.1	Základní zásady.....	23
1.2.2	Postup hodnocení	24
1.2.2.1	<i>Čistá současná hodnota</i>	26
1.2.2.2	<i>Vnitřní výnosové procento</i>	27
1.2.2.3	<i>Doba návratnosti</i>	27
1.2.2.4	<i>Očekávaná hodnota kritérií</i>	29
1.2.3	Měrné náklady produkce	29
1.2.3.1	<i>Měrné (vlastní) náklady</i>	29
1.2.3.2	<i>Měrné (celkové, účetní) náklady</i>	29
1.2.3.3	<i>Měrné (výrobní) náklady – levelized cost</i>	30
1.2.4	Cena jako dlouhodobá veličina	32
1.3	Metoda Monte Carlo.....	32
1.3.1	Příklad použití metody pro výpočet čísla π	33
1.3.2	Výběr softwaru pro hodnocení projektů s náhodnými parametry	35
1.3.2.1	<i>Crystal ball</i>	35
2	Metodický postup řešení práce	37
2.1	Odhady hodnot stochastických veličin	38
2.1.1	Energie záření dopadajícího na panel.....	38
2.1.2	Teplota fotovoltaických panelů	42
2.1.3	Teplota okolí	46
2.1.4	Spotřeba objektu.....	47
2.1.5	Provozní spolehlivost	50
2.2	Odhady hodnot deterministických veličin.....	51
2.2.1	Cena elektrické energie	51
2.2.1.1	<i>Distribuční sazba D26d</i>	52
2.2.1.2	<i>Odhad cen vysokého tarifu</i>	54

2.2.1.3	<i>Odhad výkupní ceny</i>	57
2.2.2	Diskontní sazba	58
2.2.2.1	<i>Nominální diskontní sazby</i>	59
2.2.2.2	<i>Meziroční míra inflace</i>	60
2.2.2.3	<i>Prémie za riziko</i>	61
2.2.2.4	<i>Reálná diskontní sazba</i>	62
2.3	Případová studie	62
2.3.1	Parametry objektu	62
2.3.2	Měřicí stanice	63
2.3.3	Komponenty instalace	64
2.3.3.1	<i>Fotovoltaické panely</i>	64
2.3.3.2	<i>Střídač a baterie</i>	65
2.3.3.3	<i>Upevňovací systém a elektroizolační práce</i>	65
2.3.3.4	<i>Celková cena</i>	66
2.3.4	Předpoklady	66
2.3.5	Návrh postupu výpočtu	67
3	Výsledky	69
3.1	Energetická bilance	69
3.2	Výpočet peněžních toků	72
3.3	Výpočet <i>NPV</i>	73
3.4	Výpočet <i>IRR</i>	73
3.5	Výpočet <i>T_{sd}</i>	74
4	Diskuze výsledků	76
	Závěr	78
	Seznam použitých zdrojů	80
	Seznam tabulek	84

Seznam obrázků85

Seznam symbolů a zkratk87

Seznam příloh91

Abstrakt

Abstract

Úvod

V důsledku stále většího rozvoje obnovitelných zdrojů elektrické energie, jejich zvyšující se účinnosti a dostupnosti nejen pro centralizované instalace, ale také pro instalace u koncových odběratelů dochází k jejich rostoucí integraci do elektrizační soustavy.

Tato zvyšující se integrace obnovitelných zdrojů přinese nové příležitosti, ale také nové výzvy související mimo jiné s udržováním stability elektrizační soustavy díky fluktuující výrobě elektrické energie. Pro instalace u koncových odběratelů je tak nejvhodnější spotřebovat veškerou vyrobenou elektrickou energii v místě výroby, a to kvůli nenarušování stability elektrizační soustavy fluktuující výrobou a zároveň kvůli eliminaci přenosových ztrát.

Ačkoli je rozhodnutí o instalaci těchto obnovitelných zdrojů u koncových odběratelů částečně morálním rozhodnutím souvisejícím se snahou o omezení energetické náročnosti daného objektu, zároveň je třeba, aby byla tato instalace ekonomicky životaschopná.

Ekonomickou životaschopnost zmiňovaných instalací lze hodnotit různými způsoby, ačkoli obecně platí, že klíčové je co nejpřesnější vyjádření vlivu instalace na energetickou úsporu objektu, resp. snížení jeho spotřeby oproti stavu před instalací.

Předkládaná diplomová práce navrhuje postup ekonomického hodnocení instalace fotovoltaických panelů v rodinných domech (u koncových odběratelů) s využitím metody Monte Carlo na základě odhadu náhodných parametrů ovlivňujících energetickou úsporu v daném objektu.

Cíle práce

Hlavním cílem této práce je návrh postupu ekonomického hodnocení instalace fotovoltaických panelů v rodinných domech s využitím metody Monte Carlo a následná demonstrace tohoto postupu na případové studii.

V návaznosti na hlavní cíl práce byly stanoveny dílčí cíle práce:

- Identifikace stochastických a deterministických veličin ovlivňujících hodnocení daných instalací.
- Identifikace dalších dominantních faktorů ovlivňujících hodnocení daných instalací.
- Návrh metodiky odhadu identifikovaných stochastických a deterministických veličin.
- Výběr kritéria (kritérií) pro hodnocení daných instalací.
- Návrh konkrétního výpočtu pro ekonomické hodnocení případové studie.

V rešeršní části práce jsou popsány samotné fotovoltaické panely a poté různé topologie a komponenty jejich instalací v rodinných domech (kapitola **1.1**). Následně jsou popsány způsoby obecného ekonomického hodnocení energetických instalací a jejich provozu (kapitola **1.2**) a metoda Monte Carlo (kapitola **1.3**).

V metodické části práce jsou stanoveny metodiky odhadu identifikovaných stochastických (kapitola **2.1**) a deterministických (kapitola **2.2**) veličin ovlivňujících ekonomické hodnocení daných instalací. Konkrétní odhady jednotlivých veličin jsou parametrizovány na případovou studii (kapitola **2.3**).

V kapitole **3** jsou uvedeny výsledky ekonomického hodnocení případové studie, jejich význam, jakož i přesnost a limity výpočtu jsou diskutovány v kapitole **4**.

1 Rešeršní část

1.1 Fotovoltaické panely a jejich instalace v rodinných domech

1.1.1 Základní dělení

Dle Vobořila (2016) mohou být solární panely obecně rozděleny na fotovoltaické a termální. Vobořil (2016) dále uvádí základní rozdíly mezi fotovoltaickými a termálními panely:

- **Fotovoltaické panely** – přeměňují solární záření přímo na elektrickou energii.
- **Termální panely** – přeměňují solární záření na tepelnou energii, která se může u větších systémů dále využívat k výrobě elektrické energie, případně u menších a domácích systémů pro ohřev vody.

Tato práce se soustředí na popsání komplexní problematiky rentability fotovoltaických panelů, proto termální panely nebudou uvažovány a nebude jim v práci dále věnován prostor.

1.1.2 Počátky fotovoltaiky

Dle Murtingera, Beranovského a Tomeše (2007) lze považovat francouzského fyzika Alexandra Edmonda za objevitele fotovoltaického jevu. Ten učinil tento objev již v roce 1839 zjištěním, že pokud se elektrody ponoří do elektrolytu, začne jimi při osvětlení procházet proud. Autoři dále uvádějí, že prvními, kdo vytvořil článek bez elektrolytu s použitím selenu, byli Adams a Day v roce 1877. Hlavním impulsem pro rozvoj v tomto odvětví bylo využití fotovoltaických článků jako zdrojů elektrické energie na vesmírných družicích. První takovouto družicí byla sovětská družice Sputnik 3. Cena fotovoltaických článků však byla v této době velmi vysoká. Murtinger, Beranovský a Tomeš (2007) dále dodávají, že fotovoltaické články se na Zemi začaly uplatňovat až v sedmdesátých letech, kdy jejich cena výrazně poklesla.

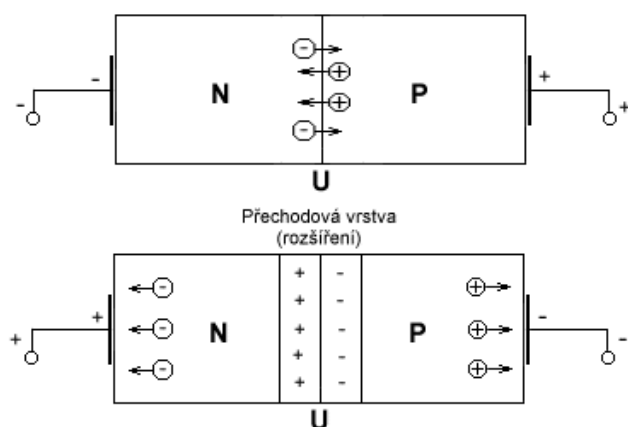
1.1.3 Princip funkce fotovoltaického panelu

Dle Vobořila (2016) je fotovoltaický panel tvořen jednotlivými fotovoltaickými články. Základem těchto článků je polovodičová dioda, u které se uplatňuje fotoelektrický jev. Polovodičová dioda je složena ze dvou vrstev s rozdílnými příměsovými polovodiči typu P a N, které tvoří anodu a katodu. Ve vrstvě typu N převažují záporně nabitě

elektrony, přičemž ve vrstvě typu P dominují kladně nabité díry (místa, kde elektron chybí). Autor dále uvádí, že v místě styku těchto vrstev vzniká PN přechod, který je schopen propouštět proud pouze jedním směrem, kdy na PN rozhraní dochází k rekombinaci párů elektronů a děr, jak je znázorněno na Obr. 1.

Pozn.: Vyrobený proud procházející uzavřeným obvodem je stejnosměrný.

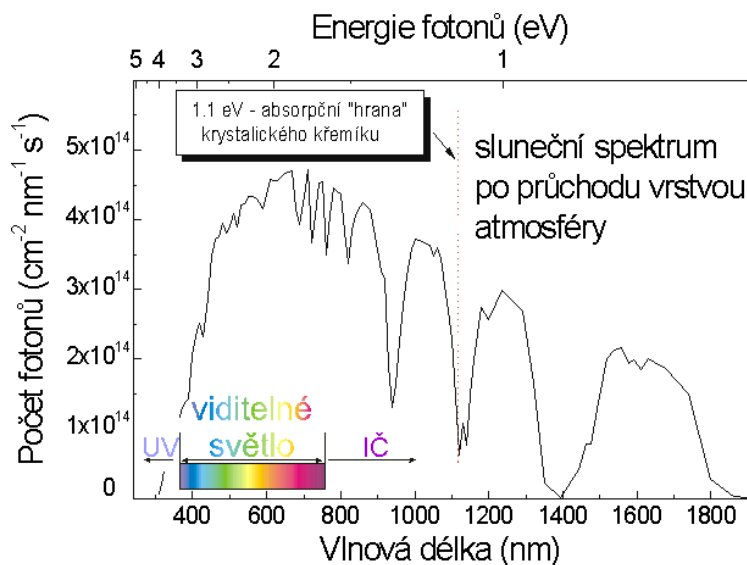
Obr. 1: PN přechod zapojený v propustném (nahore) a závěrném směru (dole)



Zdroj: Korouš, Šerý, & Patočka (2000)

Dle Vobořila (2016) při fotoelektrickém jevu za dopadu fotonů slunečního záření dochází k uvolňování elektronů z krystalových mřížek (jejich přebytek bude ve vrstvě N) a mezi oběma vrstvami tak vznikne rozdíl potenciálů. Na svorkách takto ozářeného PN přechodu lze naměřit napětí v rozmezí 0,5–0,6 V. Pro zvýšení napětí na požadovanou hodnotu se články spojují sériově, pro zvýšení proudu potom paralelně. Autor dále dodává, že pro uvolnění elektronu z krystalové mřížky je třeba minimální energie dopadajícího fotonu, která je u křemíku asi 1,12 eV. Energie dopadajících fotonů je spojena s vlnovou délkou záření, přičemž hodnota 1,12 eV je zhruba odpovídající infračervenému záření o vlnové délce 1 105 nm. Kratší vlnové délky záření (než 1 105 nm) mají dostatečnou energii, aby fotony vyvolaly uvolňování elektronů, přičemž je přebytečná energie přeměněna na teplo. Vobořil také dodává, že delší vlnové délky záření (více než 1 105 nm) křemíkem projdou a nedochází k jejich pohlcování. Při normálním světelném spektru lze využít maximálně 50 % energie světelného záření, ačkoli v praktické aplikaci je dosahováno hodnot zhruba polovičních.

Obr. 2: Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem 48°



Zdroj: Vaněček (2017)

Vobořil (2016) uvádí, že v současnosti je nejvyužívanějším výrobním materiálem křemík, a to polykrystalický i monokrystalický. Zjednodušeně lze říci, že náklady na výrobu polykrystalického křemíku jsou nižší než u monokrystalického, přičemž jsou tyto články vhodné pro vystavení záření o nižších intenzitách, kdy dosahují účinnosti 15–17 %. Naopak články z monokrystalického křemíku jsou vhodnější pro vystavení záření o vyšších intenzitách, kdy dosahují účinnosti až 20 %.

Jsou využívány i další materiály, například arsenid galia, avšak pro aplikace uvažované v této práci se nijak zásadněji neuplatňují a nebudou dále rozváděny.

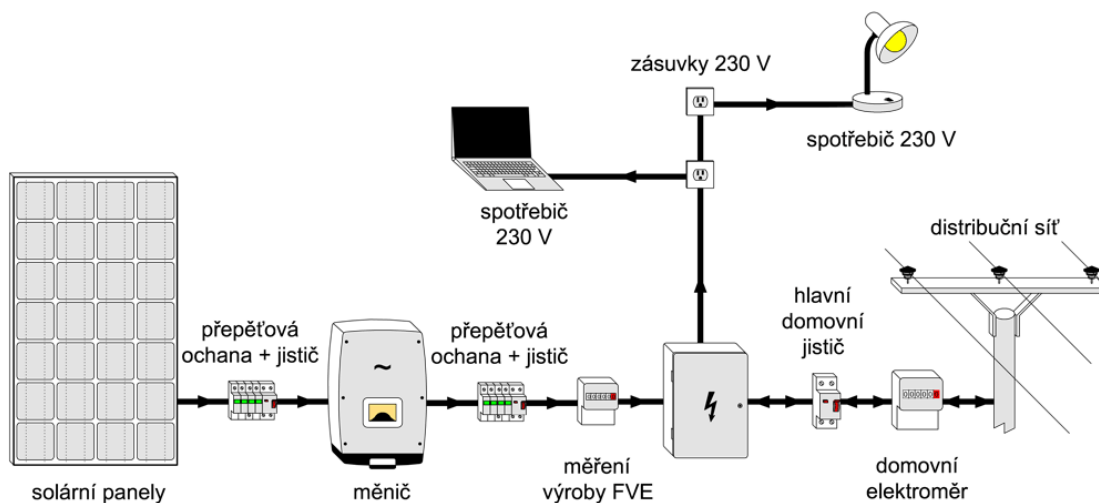
1.1.4 Rozdělení systémů podle připojení na síť

Existuje celá řada topologií a jejich kombinací. V této práci budou blíže popsány 3 základní topologie pro rodinné domy (předpokládající plné krytí spotřeby typického rodinného domu), rozdělené podle připojení na síť. Jedná se o systém s propojením se sítí, systém bez propojení se sítí a hybridní systém.

1.1.4.1 Topologie s propojením se sítí (ongrid)

Tato topologie umožňuje použít energii z fotovoltaických panelů pouze k okamžité spotřebě, nebo přebytky posílat do distribuční sítě. Hlavní výhodou je nižší cena, protože systém neobsahuje žádné baterie. Na druhé straně nevýhodou je značně nízká výkupní cena dodávané elektrické energie do distribuční sítě (Matajs, 2018).

Obr. 3: Schématické znázornění ongrid systému

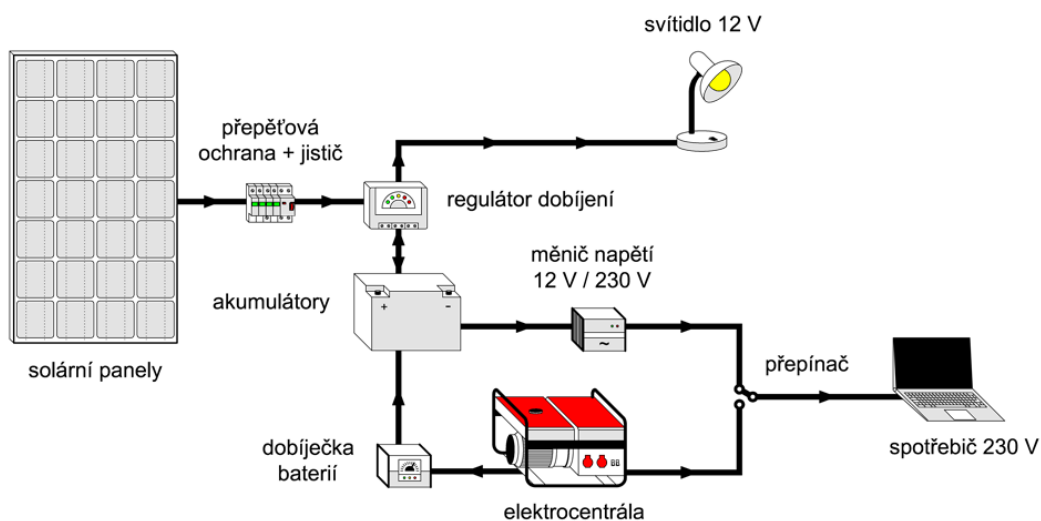


Zdroj: Matajs (2018)

1.1.4.2 Topologie bez propojení se sítí (offgrid)

Tato topologie je schopna pokrýt spotřebu energie v kompletně ostrovním režimu (bez připojení k distribuční síti). Je opatřena bateriemi kvůli maximálnímu využití vyrobené elektrické energie z fotovoltaických panelů. Kvůli nemožnosti pokrytí kompletní spotřeby pouze fotovoltaickými panely (zvláště v zimních měsících) diskutované v dalších částech práce musí být instalace doplněna o záložní zdroj elektrické energie, kterým bude ve většině instalací elektrocentrála poháněná naftou. Výhodou bude naprostá energetická soběstačnost, nevýhodou potom vysoká cena a případná závislost na spotřebě nafty (Matajs, 2015).

Obr. 4: Schématické znázornění offgrid systému

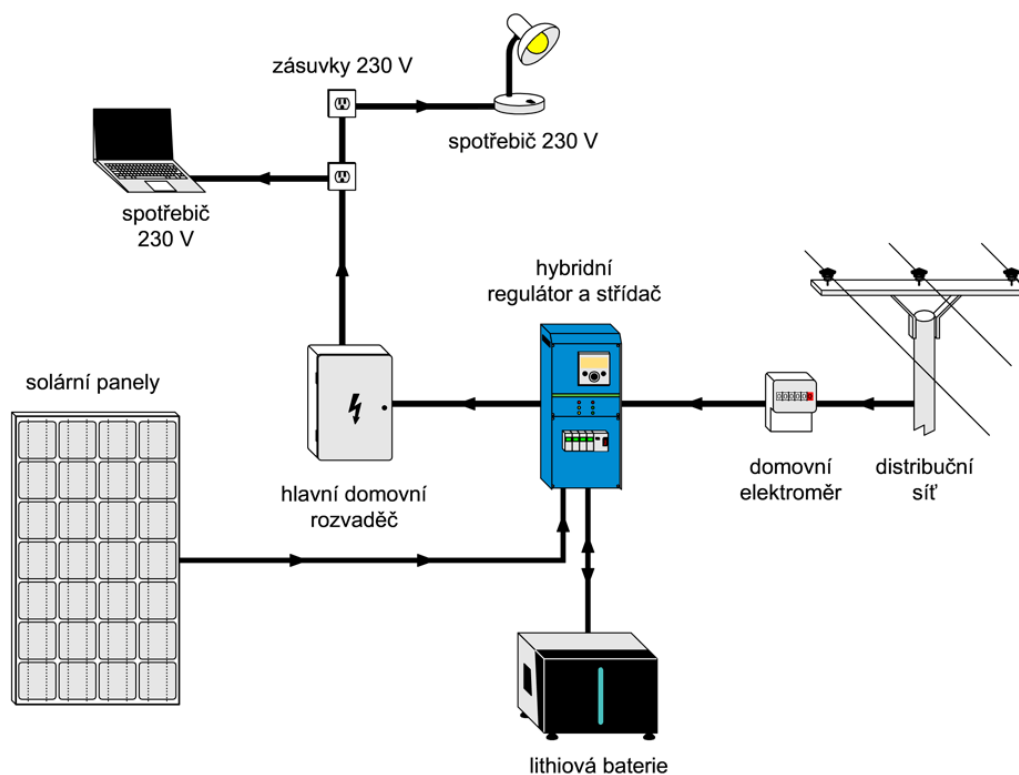


Zdroj: Matajs (2015)

1.1.4.3 Hybridní topologie

Tato topologie je schopna využít značnou část vyrobené energie z fotovoltaických panelů díky využití akumulačních schopností baterií a následně přebytky případně nedostatky energie vykrývat připojením na distribuční síť. Výhodou tak bude vysoké využití energie vyrobené fotovoltaickými panely, nevýhodou vyšší cena kvůli bateriím (Matajs, 2018).

Obr. 5: Schématické znázornění hybridního systému



Zdroj: Envi energy Czech (2018)

1.1.5 Popis komponent instalací

1.1.5.1 Fotovoltaické panely

Podle Vobořila (2016) jsou jednotlivé fotovoltaické články sérioparalelně spojeny do fotovoltaických panelů, zpravidla opatřené hliníkovým nebo duralovým rámem a kryty speciální vrstvou temperovaného skla, potaženého antireflexní vrstvou, která snižuje optické ztráty způsobené odrazem záření. Autor dodává, že ze zadní strany jsou panely také chráněné, např. laminátovou deskou.

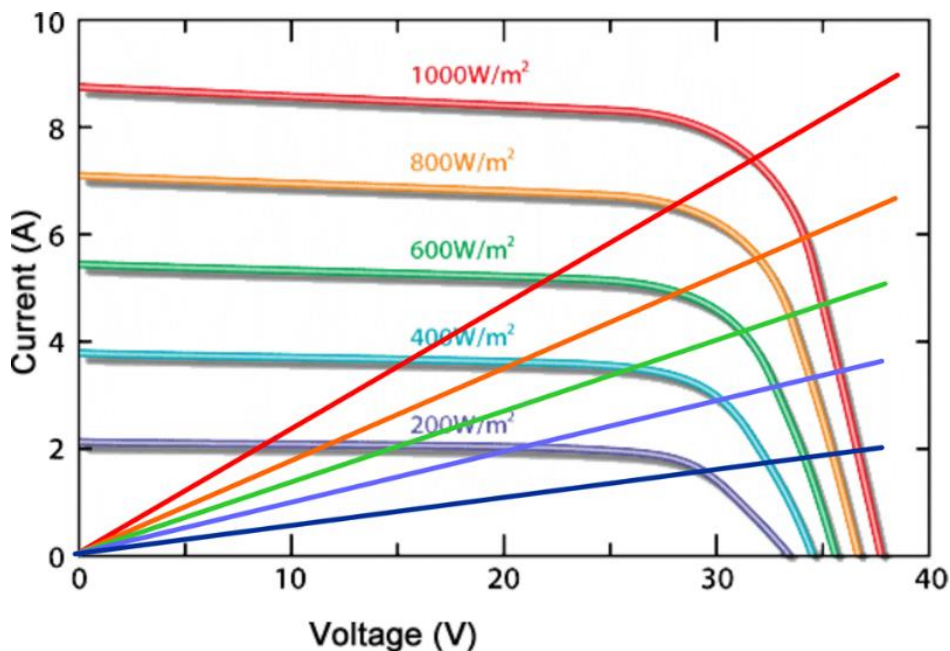
Samotné fotovoltaické panely jsou také sérioparalelně spojovány, čímž se docílí požadovaných výstupních parametrů. Výkon fotovoltaických panelů je uváděn v jednotkách Watt peak (Wp) a jejich násobcích. Tím je vyjádřen maximální (také ideální, nebo špičkový – peak) výkon za ideálních podmínek, tj. dobré světelné a tepelné podmínky, ideální natočení a čistota panelu. Při polojasné obloze klesá

vyroběný výkon o 65 % maximálního výkonu, při zatažené pak o 90 %. Většina výrobců garantuje snížení účinnosti do 10 % po deseti letech a do 20 % po pětadvaceti letech. Doba poklesu účinnosti fotovoltaických panelů na 80 % počáteční hodnoty je obecně uvažována jako doba životnosti panelu (Vobořil, 2016).

1.1.5.2 Regulátor (MPPT – Maximum Power Point Tracker)

Dle webu solární experti (2016) se jedná o regulátor, který má za úkol optimalizovat výkon fotovoltaického panelu na maximum. Toho je docíleno regulací proudu tekoucího z fotovoltaického panelu do střídače (v podstatě úprava zátěže panelu) při měnícím se napětí závislém na energii světelného záření dopadajícího na panel. Dle Solar Kerberos (2020) má MPPT největší význam v případě, že fotovoltaické panely nejsou optimálně osvětleny, což může souviset i s úhlem jejich natočení. Často bývá součástí střídače.

Obr. 6: Optimální výkon fotovoltaického panelu při různých intenzitách solárního záření



Zdroj: Solar Kerberos (2020)

1.1.5.3 Střídač (měnič)

Jedná se o zařízení pro přeměnu stejnosměrného proudu dodávaného fotovoltaickými panely na proud střídavý, následně dodávaný do domovního rozvodu, nebo distribuční elektrické sítě. Jedná se o klíčovou komponentu každého fotovoltaického systému. Má

za úkol řídit výrobu a odběr energie při fázování na frekvenci distribuční sítě, přičemž může být jednofázový, nebo trojfázový.

Pozn.: Jednofázové střídače se používají spíše u menších systémů (Matajs, 2018).

1.1.5.4 Propojovací vodiče

V tomto případě se jedná o izolované měděné vodiče, které slouží především k propojení komponent systému a připojení k distribuční síti (Matajs, 2018).

1.1.5.5 Ochranná a měřící zařízení

V článku Vladimíra Matajse (2018) *Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém* na webu Solární experti je uvedeno, že se jedná zejména o jističe (ochrana proti zkratu a přepětí), elektroměry pro měření vyrobené a dodané elektřiny, případně regulátory dobíjení baterií (pro ostrovní systémy jsou nezbytné).

1.1.5.6 WATTrouter

Tímto názvem lze označit regulátor sloužící pro optimalizaci vlastní spotřeby objektu. Při správné funkci je schopen využít přebytků z výroby fotovoltaických panelů. V podstatě zajišťuje, že elektřina je využívána v době, kdy je vyráběna fotovoltaickými panely, a šetřena v době, kdy vyráběna není. Typicky jsou na WATTroutery připojeny boilers, nebo jiná akumulční tělesa (i pro vytápění), klimatizace, dobíjení elektromobilu atp. (Solarcontrols, 2013).

1.1.5.7 Baterie

Nos (2017) tvrdí, že existuje celá řada typů baterií od vysokoteplotních (*NaS*) přes průtočné (*VRF*) až po olověné nebo lithium-iontové (*Li-ion*). Aktuálně dominantní pro uvažované použití v rodinných domech jsou lithium-iontové baterie, konkrétně technologie *LiFePO₄*, přičemž olověné jsou na ústupu.

1.1.5.8 Záložní zdroj

Tento zdroj je nezbytný u offgrid systémů, kde by při vyčerpání baterií a nedostatečné momentální výrobě energie z fotovoltaických panelů došlo k výpadku napájení objektu. Záložní zdroj v případě potřeby pokryje energetické nedostatky, může se jednat např. o diesellový generátor (Matajs, 2018).

1.1.6 Chyby montáže, vady a poruchy

Typické chyby, vady a poruchy fotovoltaických systémů, se kterými se lze nejčastěji setkat, jsou dle webu nazeleno.cz (2011) následující:

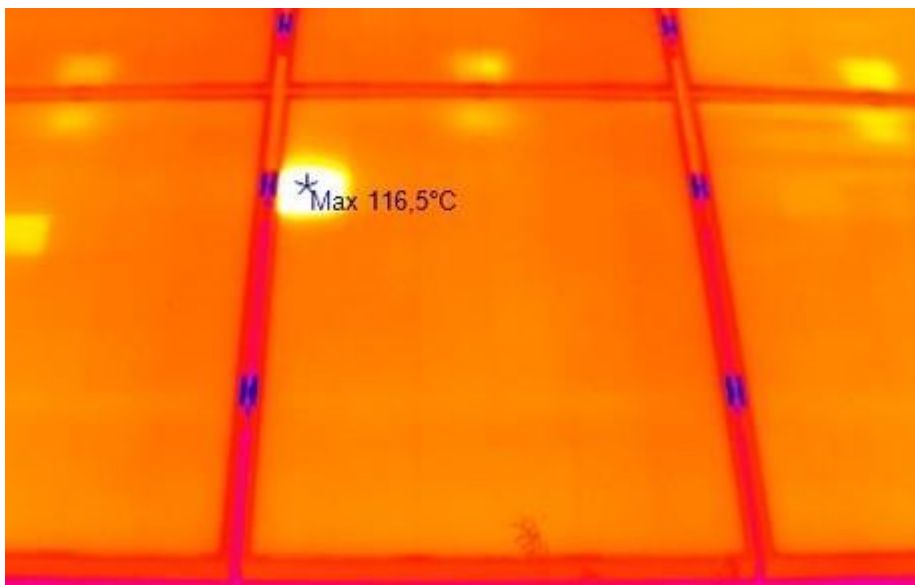
1. Umístění a uchycení panelů na konstrukci.
2. Nekvalitně postavená konstrukce (dochází k namáhání panelu).
3. Absence přepět'ových ochran a stejnosměrného jištění.
4. Špatně položená kabeláž přes konstrukci (dochází k namáhání kabelů).
5. Nekvalitní konektory.
6. Absence hromosvodu, nebo špatně provedená zemní soustava.
7. Poddimenzovaná kabeláž.
8. Chybějící monitoring.

Vady fotovoltaických panelů budou podrobněji diskutovány v kapitolách **1.1.6.1** a **1.1.6.2**. Poruchy se mohou také objevit na střídačích. Dle statistiky, která byla zveřejněna v článku *Ztráty a rizika provozu fotovoltaické elektrárny* na webu nazeleno.cz (2011), jsou střídače až 6× poruchovější než samotné fotovoltaické panely (může být částečně způsobeno nesprávnými návrhy připojení, nedodržením zásad výrobce, chybějícím přepět'ovým ochranám apod.)

1.1.6.1 Hot spoty u fotovoltaických panelů

Jedná se o buňku, případně několik buněk na fotovoltaickém panelu o vyšší teplotě než zbytek panelu. Mohou vznikat kvůli mikrotrhlinám v jednotlivých článcích způsobených např. mechanickým namáháním během montáže, přepravy nebo nadměrným zatěžováním. Vzniknout ale mohou i během výroby. V daném místě se potom elektrická energie mění na tepelnou. Pokud teplota poškozeného článku přesáhne 110 °C, dojde pravděpodobně i k propálení izolační folie na zadní straně panelu, přičemž může dojít i k ohrožení bezpečnosti (tzb-info, 2018).

Obr. 7: Hot spot zachycený termokamerou



Zdroj: tzb-info (2018)

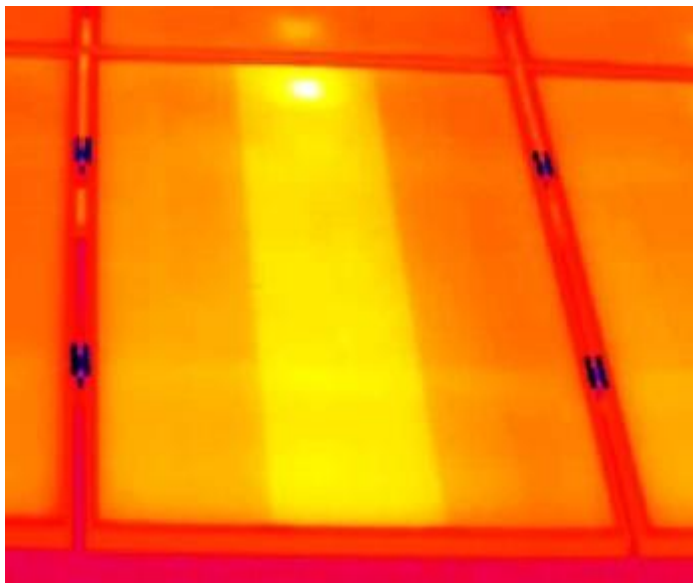
1.1.6.2 Třetinové vady u fotovoltaických panelů

Jak je patrné z názvu vady, jedná se o snížení výkonu fotovoltaického panelu o 1/3–3/3 z původního výkonu. Mezi hlavní příčiny dle článku *Měnit nebo neměnit FV panely* z webu tzb-info (2018) patří:

1. Uvolněné kontakty v přípojných krabicích (zejména u nástrčných spojů).
2. Poškození kontaktů mezi jednotlivými články (např. nadměrným mechanickým namáháním sněhem, větrem apod.).
3. Vadná by-pass dioda (normálně slouží k přemostění článků s nadměrným napětím).
4. Velmi poškozený článek s nadměrným odporem, kdy většina proudu bude protékat přes by-pass diodu.
5. Zatečení vody do přípojných krabic z důvodu špatné izolace a následná oxidace přípojníc.

Třetinové vady lze odhalit opět termokamerou, kdy postižená část panelu bude mít vyšší teplotu než zbytek panelu (tzb-info, 2018).

Obr 8: Třetinová vada zachycená termo kamerou



Zdroj: tzb-info (2018)

1.2 Obecný postup ekonomického hodnocení energetických projektů a jejich provozu

V této kapitole bude popsáno obecné ekonomické hodnocení energetických projektů a jejich provozu. Dle Knápka, Starého a Vašíčka (2014) se jedná pouze o vyjádření ekonomické efektivity projektu, která je měřena penězi. Tato kapitola tedy nezahrnuje peněžně neměřitelné veličiny, což v tomto případě mohou být např. přínosy pro životní prostředí.

Dále autoři uvádějí, že s konkrétním ekonomickým hodnocením projektu musejí být seznámeny vyjma investora i ostatní strany, které projektu poskytují finanční prostředky (podpory, dotace).

1.2.1 Základní zásady

Dále Knápek, Starý a Vašíček (2014, s. 2) ve své práci *Zásady hodnocení ekonomické efektivity energetických projektů* udávají, že pro ekonomické hodnocení energetických projektů je nutné přihlídnout k dlouhodobému charakteru úlohy při respektování následujících obecně uznávaných zásad:

- „Výpočet na bázi peněžních toků (cash flow), vyvolaných hodnoceným projektem
- Použití správných kritérií ekonomické efektivity NPV, IRR

- *Zahrnutí veškerých relevantních položek včetně výnosu vlastního kapitálu do hodnocení (diskont, cena peněz v čase)*
- *Důsledné používání marginálních veličin, vyvolaných rozhodnutím hodnocení projekt realizovat (hodnocení musí zahrnovat budoucí hodnoty všech změn peněžních toků vyvolaných projektem)*
- *Výpočet v běžných (nominálních) cenách s respektováním cenového vývoje jednotlivých položek a příjmů*
- *Volba korektní doby porovnávání na bázi ekonomické životnosti investice, tj. doby, za kterou budou po daný projekt sledovány peněžní toky*
- *Respektování případných důsledků projektu po skončení hodnoceného období (výdaje na likvidaci, zůstatková hodnota)*
- *Použití odpovídajícího hlediska pro hodnocení (projekt jako celek, hledisko investora)*
- *Při výpočtu peněžních toků z hlediska investora*
 - *Respektování důsledků financování (vlastní prostředky, úvěr, obligace, popř. investiční nebo jiné dotace)*
 - *Respektování daňových souvislostí (daňové odpisy, úroky, daňová ztráta atd.)“*

Nejedná se tedy jen o vyčíslení hodnot ekonomické efektivnosti, ale primárně o nalezení nejnižší ceny za jednotku produkce (vyrobené elektřiny), při níž bude projekt ekonomicky výhodný (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

Pozn.: Při hodnocení ekonomické efektivnosti bude na projekt nahlíženo z hlediska investora v souladu s cílem práce.

1.2.2 Postup hodnocení

Knápek, Starý a Vašíček (2014, s. 4) ve své práci Zásady hodnocení ekonomické efektivnosti energetických projektů tvrdí: „*dle obecných zásad ekonomického hodnocení zmíněných výše je tak jediná varianta výpočet diskontovaných budoucích hotovostních a peněžních toků za dobu ekonomické životnosti projektu s respektováním očekávaného vývoje jednotlivých nákladových a výnosových (přesněji řečeno výdajových) položek.*

Peněžní tok investora (*cash flow*) CF^t , vytvořený, resp. čerpaný v jednotlivých letech hodnoceného období za předpokladu částečného financování úvěrem může být určen ze vztahu: “ (1).

$$CF(t) = V(t) - N_p(t) - N_u(t) - D_z - N_i(t) + DOT(t) + U(t) - S_{pl}(t) \quad (1)$$

Kde: V ... příjmy (tržby, úspory) plynoucí z realizace hodnocené investice,

N_p ... provozní výdaje (náklady opravy, údržbu apod.),

N_u ... úroky z úvěru (nákladové úroky uvedení do provozu),

N_i ... investiční výdaje (včetně úroků v době výstavby),

DOT ... nevratná investiční dotace,

U ... investiční úvěr,

S_{pl} ... úmor úvěru v době jeho splácení,

D_z ... daň z příjmu investora, vypočtená dle vztahu (2).

$$D_z(t) = d_z \cdot (V(t) - N_{pn}(t) - N_o(t) - N_u(t) \pm O, P(t)) \quad (2)$$

Kde: N_{pn} ... provozní náklady,

N_o ... daňové odpisy,

O, P ... odpočitatelné položky, popř. úprava o daňové ztráty minulých let, připočitatelné položky k základu daně,

d_z ... sazba daně z příjmů,

t ... rok životnosti (hodnoceného období).

Dále je také nutno dodat, že při výpočtu ekonomické efektivnosti je předpokládána znalost možných způsobů financování. Navíc se může stát, že doba životnosti projektu bude rozdílná od životnosti jednotlivých komponent instalace. V těchto případech je třeba brát na zřetel i cykly obnovy komponent s kratší životností, než je životnost projektu (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

1.2.2.1 Čistá současná hodnota

Knápek, Starý a Vašíček (2014) tvrdí, že kritérium čisté současné hodnoty (Net Present Value, *NPV*) bere ohled na rozdílnou hodnotu peněz v čase. Rozdílná cena peněz v čase je přepočtena (diskontována) obvykle k počátku prvního roku provozu projektu. Výpočet čisté současné hodnoty je popsán ve vztahu (3).

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} CF(t) \cdot (1 + i)^{-t} - IN \quad (3)$$

Kde: $(1 + i)^{-t}$... odúročitel při diskontní (úrokové) sazbě i ,

T_z ... doba ekonomické životnosti (doba hodnocení),

IN ... investiční výdaje (na počátku hodnoceného období).

„Toto kritérium splňuje všechny požadované podmínky, protože:

- Používá důsledně změny peněžních toků, vyvolané hodnoceným projektem (relevantní, marginální veličiny).
- Kritérium pracuje s budoucími výdaji a příjmy, čímž automaticky vynechává z hodnocení již „utopené“ finanční prostředky.
- Zahrnuje veškeré relevantní částky včetně výnosu vlastního kapitálu (diskont).
- Umí respektovat strukturu financování a zdanění dle konkrétní situace investora.

Matematicky lze dojít ke třem základním výsledkům:

- $NPV > 0$ kdy lze projekt doporučit k realizaci, výnos projektu je vyšší, než cena kapitálu do něj vloženého,
- $NPV = 0$ kdy je projekt na hranici rentability,
- $NPV < 0$ kdy projekt není vhodné realizovat, protože není rentabilní. “

Pokud volíme projekt (nebo variantu projektu) nejvýhodnější k realizaci, pak volíme projekt s nejvyšší *NPV*. Pokud projekt musí být realizován a všechny jeho porovnávané varianty mají záporné *NPV*, volíme variantu s *NPV* nejbližší nule (přinese nejmenší ztrátu).

Pomocí kritéria *NPV* lze určit i tzv. minimální cenu produkce (tedy cena produkce v prvním roce doby životnosti projektu) dle podmínky $NPV = 0$. Výnos investora bude

ve zmiňované situaci realizován jako výnos z vloženého kapitálu ve výši diskontu (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014, s. 5–6).

Hlavním problémem kritéria *NPV* je nutnost zadání referenční diskontní sazby. Konkrétní stanovení této sazby bude popsáno v kapitole **2.2.2**.

1.2.2.2 Vnitřní výnosové procento

Knápek, Starý a Vašíček (2014, s. 7) uvádějí, že: „*kritérium vnitřního výnosového procenta (Internal Rate of Return, IRR) lze charakterizovat jako hodnotu úrokové míry, která při použití pro diskontování dává za určitou dobu životnosti právě nulovou hodnotu diskontovaného toku hotovosti.*“ Musí tedy platit podmínka $NPV(IRR) = 0$.

Jistou výhodou tohoto kritéria je možnost vykládat jej v porovnání s běžnou úrokovou mírou. Naopak nevýhodou tohoto kritéria je jeho relativnost, výpočet může být matematicky nejednoznačný, nebo hodnota kritéria nemusí existovat. *IRR* lze vypočítat dle vztahu (4).

$$\sum_{t=1}^{T_z} CF(t) \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (4)$$

1.2.2.3 Doba návratnosti

Knápek, Starý a Vašíček (2014) uvádějí, že podmínkou kritéria doby návratnosti (resp. diskontované doby návratnosti) je co možná nejrychlejší zaplacení investice z budoucích výnosů. To však nezaručuje maximalizaci efektu investice po celou dobu její životnosti. Hlavní chybou při hodnocení projektu dobou návratnosti prostou i diskontovanou je zanedbání všech peněžních toků po uplynutí doby splacení investice, díky čemuž může dojít k nežádoucímu ignorování výhodných dlouhodobých řešení. Kritérium tedy může být použito pouze pro orientační porovnání u jednoduchých projektů s podobnými technickými řešeními, s ekvivalentní dobou životnosti a ekvivalentním financováním. Prostou dobu návratnosti T_s lze vypočítat obecně vztahem (5).

$$\sum_{t=1}^{T_s} CF(t) - IN = 0 \quad (5)$$

Prostá doba návratnosti stanoví, v kolikátém roce (T_s) vytváření vlastních finančních zdrojů převáží jejich čerpání. Jelikož je kritérium počítáno bez diskontu, neuvažuje hodnotu peněz v čase.

U velmi jednoduchých úloh, u nichž jsou vynaloženy pouze jednorázové investiční výdaje IN , díky kterým vzniknou specifické úspory v ročních výdajích (např. za elektrickou energii), a za předpokladu konstantní hodnoty ročních úspor (kladného peněžního toku), může být kritérium zjednodušeně zapsáno přímo vztahem (6) (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (6)$$

V případě, že je doba návratnosti kratší než doba životnosti ($T_s < T_z$), nabydeme za dobu životnosti T_z větších prostředků, než které byly vloženy (počáteční investice). Za dobu T_s jsme sice na efektivní nule, ale to neznamená, že investice nebyla špatným rozhodnutím. Pokud např. doba životnosti $T_s = 15$, byla vynaložena určitá investice do energeticky úsporných opatření a po patnácti letech se investice vrátila ve stejné výši, s nulovými úroky, nulovými zisky a nulovými výnosy, jelikož dosažené výnosy v dalších letech po uplynutí T_s kritérium nebere v úvahu (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

Oproti tomu doba návratnosti diskontovaná (též nazývaná reálná) T_{sd} se spočítá za podmínky popsané vztahem (7).

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} CF(t) \cdot (1+i)^{-t} - IN = 0 \quad (7)$$

Diskontovaná doba návratnosti sděluje, v kolikátém roce (T_{sd}) vytváření vlastních finančních zdrojů převáží jejich čerpání. Peněžní toky jsou sčítány s uvažováním diskontu (zakomponováním odúročitele). Kritérium je vyjádřeno ve vztahu (8).

$$T_{sd} = \min \quad (8)$$

Z toho plyne, že jasným požadavkem je, aby byla doba T_{sd} kratší, než je doba ekonomické životnosti hodnoceného projektu. Je-li $T_{sd} = T_z$, platí zároveň $NPV = 0$ (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

1.2.2.4 Očekávaná hodnota kritérií

Vzhledem k tomu, že předmětem práce je hodnocení energetické instalace na základě stochastických parametrů, je třeba definovat očekávanou hodnotu kritérií zmíněných v přechozích kapitolách. Může se jednat o $E(NPV)$, $E(IRR)$, $E(T_{sd})$.

Očekávaná hodnota udává střední hodnotu sledovaného kritéria vypočtenou jako vážený průměr, kde váhy jsou pravděpodobnosti hodnot jednotlivých scénářů (Bedáňová, 2015).

1.2.3 Měrné náklady produkce

V této kapitole budou popsány různé metody vyjádření nákladů na jednotku produkce elektřiny.

1.2.3.1 Měrné (vlastní) náklady

Jelikož měrné náklady zahrnují odpisy a provozní náklady, je jejich vyjádření nejjednodušší. Výpočet je znázorněn ve vztahu (9).

$$n_{vl\emptyset} = \frac{N_{odp} + N_{pr}}{E_c} \quad (9)$$

Kde: N_{odp} ... roční odpisy stanovené jako podíl investičních výdajů a doby životnosti,

N_{pr} ... roční provozní náklady (stálé i proměnné),

E_c ... množství vyrobené energie.

Ve výpočtu vlastních nákladů není nijak zahrnuta změna hodnoty peněz v čase (jsou to pouze náklady na tzv. akruálním principu, nikoli veličinou na principu peněžních toků). Specifické daňové dopady z výpočtu také nemohou být vyvozeny, použití pro výpočet např. očekávané ceny produkce je tak velmi problematické. Navíc není v uvedeném vztahu (8) nijak zohledněna míra inflace (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

1.2.3.2 Měrné (celkové, účetní) náklady

Pokud by byl projekt hodnocen pouze s využitím účetních nákladů (odpisy + provozní výdaje – úroky z poskytnutých úvěrů), byly by vyvozeny chybné závěry, jelikož by cena kapitálu byla respektována pouze u cizího kapitálu ve formě úroků, ale díky výpočtu vlastních nákladů by vlastní kapitál byl zadarmo. Z toho vyplývá, že by se

investor předem vzdal veškerého potenciálního (očekávaného) výnosu z vlastního kapitálu. Cenové odvození z nákladů vypočtených tímto způsobem za pomoci např. ziskové přírážky k nákladům je ale matematicky problematické. V případě, že bude výsledek podnikání měřen nějakým z ukazatelů rentabilit kapitálu, chybí ve vztahu (10) hodnota onoho kapitálu (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

$$n_{vl\emptyset} = \frac{N_{odp} + N_{pr} + N_{\acute{u}}}{E} \quad (10)$$

Kde: $N_{\acute{u}}$... účetní náklady.

1.2.3.3 Měrné (výrobní) náklady – levelized cost

V případě, že nelze zanedbat cenu peněz (ušlé výnosy) z jiných podnikatelských příležitostí, které budou ztraceny při vynaložení peněžních prostředků na hodnocený projekt, je třeba do účetních nákladů ještě zahrnout cenu vloženého kapitálu. Místo nákladů zahrnujících jen odpisy budou použity náklady zahrnující odpisy, úroky a cenu onoho vloženého kapitálu. Výpočet je proveden za pomoci tzv. anuity. V hodnotě poměrné roční anuity a_{T_z} je zahrnut i poměrný roční odpis p_a odpovídající poměrné hodnotě průměrné ekvivalentní částky ušlých úroků ze zůstatkové hodnoty vložených investičních prostředků (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

$$a(T_i) = \frac{(1+i)^{T_i} \cdot i}{(1+i)^{T_i} - 1} \quad (11)$$

Kde: i ... diskont stanovený jako vážená cena vlastního a dlouhodobého cizího kapitálu (WACC),

T_i ... rok během životnosti projektu pro výpočet měrných nákladů.

Ve výrobních nákladech T-ho roku jsou zahrnuty provozní výdaje, odpisy (amortizace) i úroky z celkových vložených investic. Platí tedy, že diskontovaný součet výrobních nákladů za dané (hodnocené) období, obvykle dobu ekonomické životnosti projektu, může být vyjádřen vztahem (12).

$$N_{vr\emptyset} = a(T_i) \cdot \sum_{T=1}^{T_i} (N_p(T) + N_i(T)) \cdot (1+i)^{-T} \quad (12)$$

Kde: $N_p(T)$... investiční náklady projektu, vynaložené v jednotlivých letech (v Kč),

$N_i(T)$... provozní náklady projektu v jednotlivých letech životnosti (v Kč)
(přesněji řečeno změna provozních nákladů po realizaci projektu).

Vztah (12) je však pouze obecný. Za předpokladu konstantních provozních výdajů během doby životnosti projektu (ekvivalentní předpoklad i u efektů z realizace projektu) a doby výstavby do jednoho roku může být vztah zjednodušen dle (13).

$$N_{vr\emptyset} = a(T_i) \cdot N_i + N_p \quad (13)$$

V případě vydělení průměrných (ekvivalentních) ročních diskontovaných výrobních nákladů $N_{vr\emptyset}$ hodnotou ročního efektu z projektu, lze získat měrné (jednotkové) výrobní náklady, označované anglickým termínem „levelized cost“. Prostřednictvím této veličiny jsou často porovnávány náklady výroby/dodávky elektrické energie (nebo tepla) z různých zdrojů. Zároveň reprezentuje náklady související se širším hlediskem projektu, jelikož vztah pro jejich výpočet neuvažuje přesnou investorovu finanční situaci, specifickou strukturu projektového financování, vlivy daní atd. (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

$$n_{vr\emptyset} = \frac{a(T_i) \cdot N_i + N_p}{Q} \quad (14)$$

Kde: Q ... množství vyrobeného tepla.

Prostřednictvím tohoto vztahu lze relativně snadno zpracovávat větší množství projektů, mimo jiné právě díky nezohledňování detailní finanční situace investora. Vyjma znalosti investic je třeba znát dobu životnosti projektu a jeho provozní náklady, které by však investorovi měly být známy (po získání představy o technických a ekonomických parametrech projektu).

Mezi výhody vztahu (13) patří respektování ceny vloženého kapitálu, avšak při interpretaci je třeba vědět, jak byla tato cena určena a co je v ní zahrnuto. V případě, že se diskont použije jako hodnota před zdaněním, bude chybět při výpočtu daně (z perspektivy reálného podnikatelského prostředí). Přesnějšího výpočtu může být dosaženo stanovením diskontu po zdanění, avšak jen za předpokladu ekvivalentní míry zdanění výnosů vlastního kapitálu i zápůjčního kapitálu.

Ačkoli je vztah „nákladového“ charakteru (na aktuální bázi), číselně je jeho použití v souladu (za dobu životnosti projektu) s kritériem na bázi peněžních toků, jelikož diskontovaný součet členů $a(T_z) \cdot N_i$ (za dobu životnosti projektu) je shodný s hodnotou počátečních investičních nákladů N_i (Knápek, Starý, & Vašíček, 2014).

1.2.4 Cena jako dlouhodobá veličina

Každá ekonomická veličina by měla mít dle Knápka, Starého a Vašíčka (2014, s. 18) následující atributy:

- „Rozměr (Kč, Kč/kWh, ...),
- Rok (období, k němuž je spočtena, obvykle první ro provozu),
- Doba (za kterou byly uvažovány ekonomické důsledky investice),
- **Předpoklady o tom, jaký bude budoucí vývoj této veličiny.**

Je zřejmé, že poslední předpoklad vztah (14) nezahrnuje. Nelze tvrdit, že cena elektřiny bude po celou dobu životnosti konstantní.“

1.3 Metoda Monte Carlo

Jedná se o stochastickou metodu využívající náhodná (pseudonáhodná) čísla. K získávání výsledku tak dochází pomocí hustoty pravděpodobnosti. Hlavními tvůrci metody Monte Carlo byli Stanisław Marcin Ulam a John von Neumann, kteří metodu využili pro zkoumání chování neutronů v částicové fyzice. K prudkému rozvoji došlo během druhé poloviny čtyřicátých let, kdy začalo využívání počítačů (Tesař & Bartoš, 2006; Bartoš, 2000).

Řešení problému lze rozdělit do následujících tří kroků:

1. Důkladný rozbor problému a návrh modelu
 - Je třeba vytvořit co nejpřesnější model skutečného systému se stejnými pravděpodobnostními charakteristikami a zahrnout do něj všechny podstatné skutečnosti. Jedná se o stěžejní krok.
2. Generování hodnot náhodných veličin dle daného stochastického rozdělení
 - Dochází k cyklickému opakování tohoto kroku v závislosti na stanoveném počtu scénářů.
3. Statistické zpracování výsledků

- Hledaná hodnota je definována jedním z momentů statistických veličin, přičemž se nejčastěji jedná o očekávanou (střední) hodnotu.

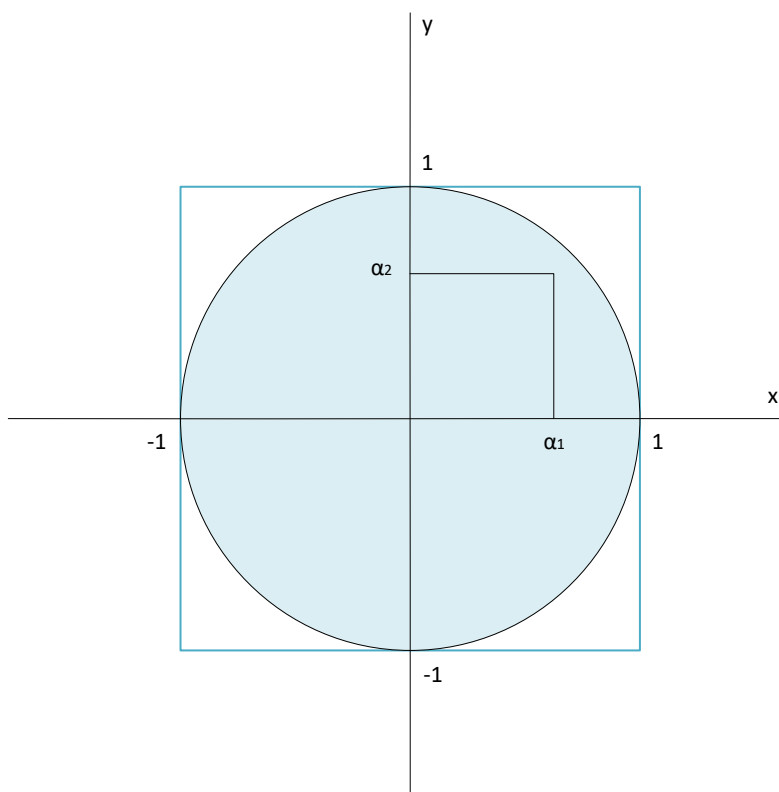
Pozn.: Lze říci, že kroky 2. a 3. jsou pouze rutinní. Řešení problému je definováno krokem 1. Jelikož je v této práci využít software pracující s metodou Monte Carlo, který poskytuje výpočetní zázemí, je kladen důraz na co nejpřesnější formulaci a popis problému (Tesař & Bartoš, 2006; Bartoš, 2000).

1.3.1 Příklad použití metody pro výpočet čísla π

Následujícím příkladem bude prezentováno použití metody Monte Carlo pro výpočet čísla π , na kterém bude demonstrován vliv počtu náhodných čísel na přesnost výsledku.

Mějme čtverec o straně velikosti 2, uvnitř kterého je vepsaný kruh o maximálním průměru. Předpokládejme, že osy kartézské soustavy souřadnic jsou rovnoběžné se stranami čtverce, přičemž počátek této soustavy bude v jeho středu. Všechny body uvnitř čtverce lze definovat uspořádanou dvojicí čísel $[\alpha_1, \alpha_2]$, které jsou náhodnými čísly, jak je znázorněno na Obr. 9. Platí tedy vztah (15).

Obr. 9: Grafické znázornění příkladu pro výpočet čísla π



Zdroj: vlastní zpracování dle Tesaře a Bartoše (2006)

$$\frac{N_{kruh}}{N_{celkem}} = \frac{S_{kruh}}{S_{ctverec}} = \frac{\pi \cdot r_k^2}{S_{ctverec}} \quad (15)$$

Kde: N_{kruh} ... počet bodů nacházejících se uvnitř kruhu (-),

N_{celkem} ... počet vygenerovaných bodů celkem (-),

S_{kruh} ... obsah kruhu (-),

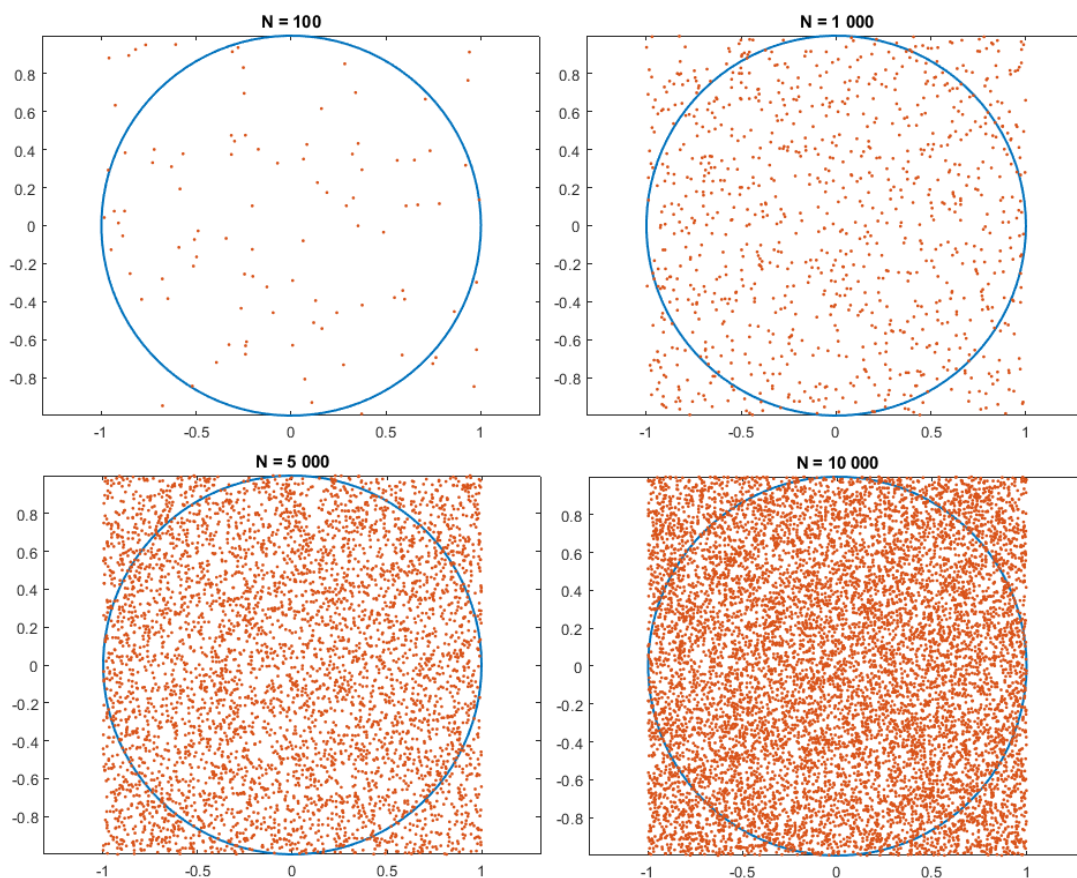
$S_{ctverec}$... obsah čtverce (-),

r_k ... poloměr kruhu (-).

Po úpravě vyjádříme π vztahem (16).

$$\pi = \frac{N_{kruh} \cdot S_{ctverec}}{r_k^2 \cdot N_{celkem}} \quad (16)$$

Obr. 10: Grafické znázornění výsledků pro výpočet čísla π



Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MATLAB*

Tab. 1: Vypočtená velikost čísla π v závislosti na počtu náhodně generovaných čísel

π	N_{celkem}	N_{kruh}
3,3200	100	83
3,1680	1 000	792
3,1648	5 000	3 956
3,1436	10 000	7 859

Zdroj: vlastní zpracování

1.3.2 Výběr softwaru pro hodnocení projektů s náhodnými parametry

Pro hodnocení případové studie popsané v kapitole 2.3 byl zvažován následující software:

- *Argo (MS Excel)*,
- *@Risk*,
- *Crystal Ball*,
- *Promethee*.

Jelikož *Crystal Ball* disponuje freeware trialovou verzí a je nadstavbou *MS Excel*, který je uživatelsky přívětivý pro práci s většími soubory dat a zároveň snadnému vykreslování a práci s grafy, byl zvolen software *Crystal Ball*.

1.3.2.1 *Crystal ball*

Crystal ball je snadno použitelný simulační toolbox, který umožňuje analýzu rizik a nejistot vycházejících z tabulkových modelů *MS Excel*. Jelikož modely v *MS Excel* jsou deterministické (což znamená, že vstupy jsou pevné – jedna hodnota pro jednu buňku), nelze najednou zobrazit více řešení. Pro zobrazení alternativních řešení je třeba změna vstupů modelu. Simulace je tedy způsob, jak rychle generovat a analyzovat mnoho možných řešení. *MS Excel* sám o sobě nemůže spouštět simulace, což je právě úkol toolboxu *Crystal ball*.

Jedná se o analytický nástroj, který lze použít k simulacím v nových i stávajících modelech jakéhokoli odvětví. Prvním krokem při jeho použití je určení stochastických vstupů pro vytvoření pravděpodobnostních rozdělení daných buněk, přičemž *Crystal ball* následně umožní tato rozdělení definovat.

Dalším krokem je určení prognózy. Prognóza je buňka obsahující rovnici, která má být měřena a analyzována. Lze definovat více stochastických vstupů i prognóz. Při spouštění simulace je třeba zvolit počet scénářů (počet předpovědí a tím i počet potenciálních výsledků) (Oracle Corporation, 2008).

2 Metodický postup řešení práce

Pro ekonomické hodnocení instalací fotovoltaických panelů v rodinných domech je klíčový výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané energetické bilance v daném rodinném domě. Energetickou bilancí se rozumí očekávaná hustota pravděpodobnosti velikosti dodávek elektrické energie do distribuční sítě, kdy výroba fotovoltaických panelů bude převyšovat spotřebu rodinného domu (případně i akumulční možnosti baterie, pokud je v instalaci integrována) a očekávaná hustota pravděpodobnosti energetické úspory (rozdíl mezi brutto a netto spotřebou), vzniklé spotřebou vyrobené energie přímo v rodinném domě. Nezáleží tedy pouze na vyrobeném množství elektrické energie, ale také na tom, zda byla tato elektrická energie využita pro přímou (nepřímou) spotřebu, nebo dodána do sítě. Zohlednění této časovosti bude provedeno rozdělením roční bilance do dílčích výpočtů po jednotlivých hodinách v průběhu kalendářního roku a následně vztaženo na dobu životnosti (dobu hodnocení) instalace, přičemž pro jednotlivé roky hodnocení bude respektováno snižování účinnosti fotovoltaických panelů.

Pro výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané energetické bilance bude vypočtena hustota pravděpodobnosti očekávané výroby elektrické energie fotovoltaickými panely, hustota pravděpodobnosti očekávané spotřeby rodinného domu a hustota pravděpodobnosti očekávaného stavu (nabití) baterie (bude vycházet z hodinové výroby a hodinové spotřeby), která je v případové studii uvažována.

Pro výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané výroby panelů bude vypočtena hustota pravděpodobnosti očekávané energie dopadajícího solárního záření (přímého i difúzního) a hustota pravděpodobnosti očekávané teploty panelu (související se změnou jeho účinnosti).

Do výpočtu hustoty pravděpodobnosti očekávané energetické bilance i hustoty pravděpodobnosti očekávaných peněžních toků bude zahrnuta provozní spolehlivost jednotlivých komponent instalace.

Pro ekonomické hodnocení byla zvolena kritéria NPV , IRR a T_{sd} , přičemž pro výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávaných peněžních toků bude odhadnuta cena elektrické energie pro dobu životnosti instalace a pro výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané NPV a T_{sd} bude odhadnuta diskontní sazba.

Pro demonstraci navrženého postupu ekonomického hodnocení byla vybrána již existující instalace fotovoltaických panelů jakožto případová studie. Součástí případové studie bude porovnání s reálnou bilancí instalace z roku 2020 a diskuze přesnosti výpočtu.

2.1 Odhady hodnot stochastických veličin

V této kapitole budou popsány způsoby odhadu případně zanedbání náhodných vstupních veličin ovlivňujících energetickou bilanci objektu s instalací fotovoltaických panelů.

Dle centrálního limitního teorému bude pro stanovení očekávané hustoty pravděpodobnosti teploty okolí, energie solárního záření a spotřeby elektrické energie objektu uvažováno normální rozdělení.

2.1.1 Energie záření dopadajícího na panel

Intenzita dopadajícího solárního záření na fotovoltaický panel se vypočte jako součet intenzit difuzního a přímého solárního záření dle vztahu (17) (Cihelka, 1994).

$$I = I_P + I_D \quad (17)$$

Kde: I_P ... intenzita přímého slunečního záření, které při průchodu atmosférou není odraženo, nebo pohlceno a znovu vyzářeno (kWh/m^2),

I_D ... intenzita difuzního solárního záření, které bylo odraženo od částic obsažených v atmosféře (vodní kapky, prach apod.) a změnilo tak svůj směr (kWh/m^2) (Cihelka, 1994).

Pozn.: Při naprosto zatažené obloze dopadá na povrch fotovoltaického panelu pouze difuzní záření, při naprosto jasné obloze pak součet difuzního a maxima přímého záření (pro danou denní hodinu) (Cihelka, 1994).

Následně se jednotlivé složky dopočtou ze vztahů (18) a (20).

$$I_P = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \cdot (\sin(h) \cdot \cos(\alpha) + \cos(h) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(a - a_s)) \quad (18)$$

Kde: I_0 ... solární konstanta, ($1\,360 \text{ W/m}^2$),

Z ... součinitel znečištění atmosféry (viz Tab. 2) (-),

ε ... součinitel závislosti výšky slunce nad obzorem a nadmořské výšce daného místa (viz vztah (19)) (-),

h ... výška slunce nad obzorem ($^\circ$),

α ... úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny ($^\circ$),

a ... azimut slunce ($^\circ$),

a_s ... azimutový úhel normály osluněné plochy ($^\circ$) (Cihelka, 1994).

$$\varepsilon = \frac{9,38076 \cdot [\sin(h) + (0,003 + \sin^2(h))^{0,5}]}{2,0015 \cdot (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (19)$$

Kde: H ... nadmořská výška daného místa (m) (Cihelka, 1994).

Tab. 2: Velikost součinitele znečištění Z

Měsíc	Z_{Venkov}	$Z_{\text{Města}}$
Leden	2,1	3,1
Únor	2,2	3,2
Březen	2,5	3,5
Duben	2,9	4
Květen	3,2	4,2
Červen	3,4	4,3
Červenec	3,5	4,4
Srpen	3,3	4,3
Září	2,9	4
Říjen	2,6	3,6
Listopad	2,3	3,3
Prosinec	2,2	3,1

Zdroj: Cihelka (1994)

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos(\alpha)) \cdot I_{Dh} + 0,5r \cdot (1 - \cos(\alpha)) \cdot (I_{Ph} + I_{Dh}) \quad (20)$$

Kde: I_{Dh} ... intenzita difuzního záření dopadající na vodorovnou plochu (viz vztah (21)) (kWh/m²),

r ... albedo (uvažováno jako 0,2 dle Cihelky (1994)) (-),

I_{Ph} ... intenzita přímého solárního záření dopadajícího na vodorovnou plochu (viz vztah (22)) (kWh/m²).

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot \left(I_0 - \left(I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \right) \right) \cdot \sin(h) \quad (21)$$

$$I_{Ph} = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\varepsilon}\right) \cdot \sin(h) \quad (22)$$

Přičemž se celková teoretická energie dopadajícího záření na panel během dne získá integrací I dle vztahu (23) (Cihelka, 1994).

$$Q_{S \text{ den teor}} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I \, d\tau \quad (23)$$

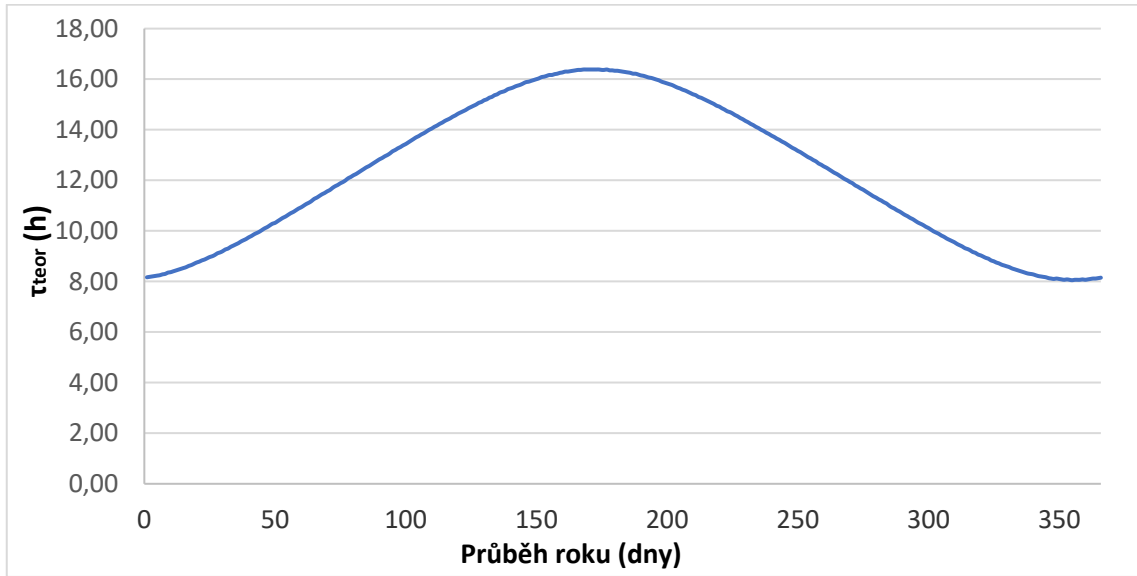
Kde: τ_1 ... čas východu slunce (h),

τ_2 ... čas západu slunce (h).

Teoretická doba přímého slunečního svitu (s nulovou oblačností) je dopočtena ze vztahu (24) (Cihelka, 1994).

$$\tau_{teor} = \tau_2 - \tau_1 \quad (24)$$

Obr. 11: Změna délky solárního dne během roku



Zdroj: vlastní zpracování dle Meteogramu (2020)

Pro výpočet celkové skutečné energie slunečního záření dopadajícího na panel během dne je třeba využít bilanční vztah (25) (Škorpík, 2009).

$$Q_{S\ den} = \tau \cdot Q_{S\ den\ teor} + (1 - \tau) \cdot Q_{D\ den} \quad (25)$$

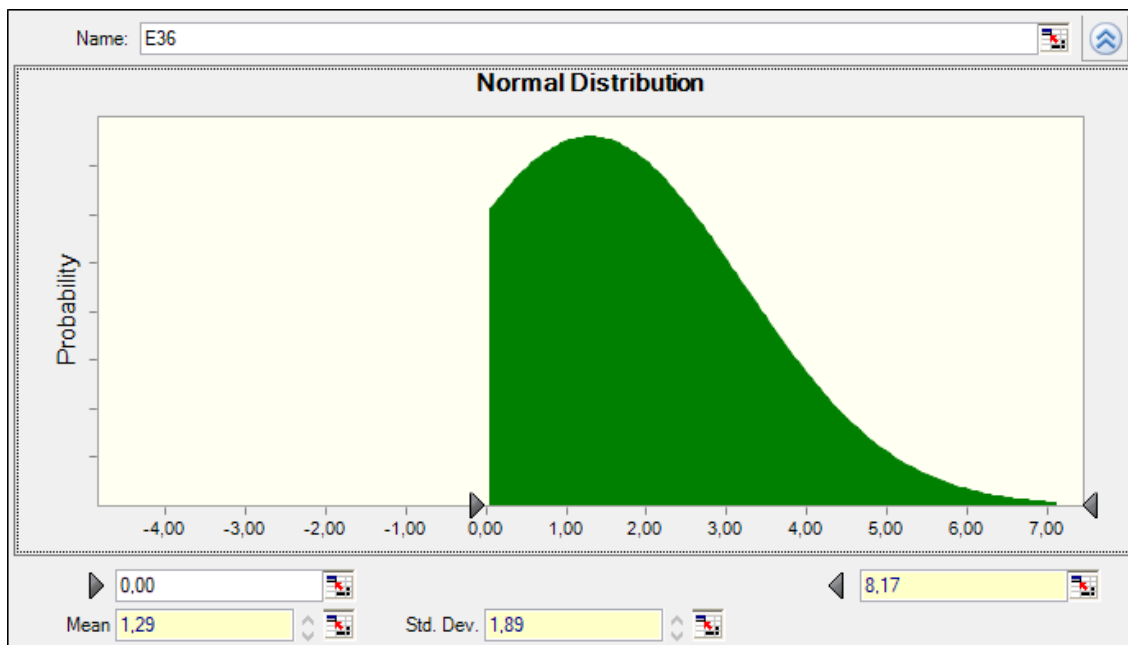
Přičemž celková denní energie difuzního záření dopadajícího na panel je dopočtena ze vztahu (26) (Škorpík, 2009).

$$Q_{D\ den} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_D d\tau \quad (26)$$

Časová konstanta τ bude symbolizovat hustotu pravděpodobnosti normálního rozdělení, popisujícího počet hodin přímého slunečního svitu během dne. Přičemž zleva bude omezena nulou (počet hodin přímého slunečního svitu nemůže být záporný) a zprava hodnotou τ_{teor} (přímý svit nemůže trvat déle, než samotný solární den).

Parametry očekávané hustoty pravděpodobnosti byly odhadnuty z historických hodnot (data z let 1971–2019) získaných z měřicí stanice ČHMÚ v Praze-Libuši. Na Obr. 12 lze vidět příklad odhadu očekávané hustoty pravděpodobnosti počtu hodin přímého slunečního svitu pro 1. 1. (ČHMÚ, 2020).

Obr. 12: Odhad očekávané hustoty pravděpodobnosti přímého slunečního svitu v hodinách pro 1. 1



Zdroj: vlastní zpracování s použitím toolboxu *Crystal ball* dle dat ČHMÚ

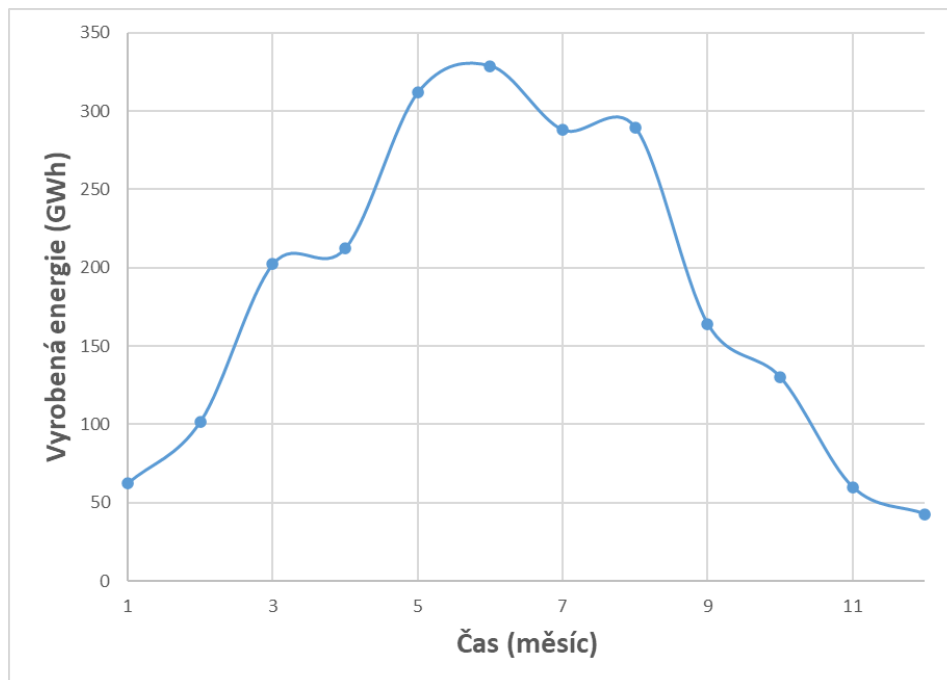
Pro přesnější výpočet je solární záření rozděleno do jednotlivých hodin opět dle normálního rozdělení tak, že teoretická hodnota přímého solárního záření je po jednotlivých hodinách násobena poměrem τ/τ_{teor} a přičtena k odpovídající hodnotě difuzního záření.

Pozn.: Výše uváděné vztahy jsou typizované pro ČR.

2.1.2 Teplota fotovoltaických panelů

Účinnost fotovoltaických panelů je mimo jiné také ovlivněna jejich teplotou, čímž vzniká paradox, kdy při větším denní energii solárního záření panel může vyrobit méně elektrické energie než při nižším díky poklesu jeho účinnosti s rostoucí teplotou. Na Obr. 13 je znázorněna hrubá výroba fotovoltaických elektráren v ČR v roce 2017. Bez vlivu teploty by se průběh na Obr. 11 a Obr. 13 hrubě shodovaly. Avšak v červenci je jasně patrný propad výroby díky přehřívání panelů (je zanedbán vliv nových instalací v průběhu roku).

Obr. 13: Celková vyrobená energie fotovoltaických elektráren v ČR v roce 2017

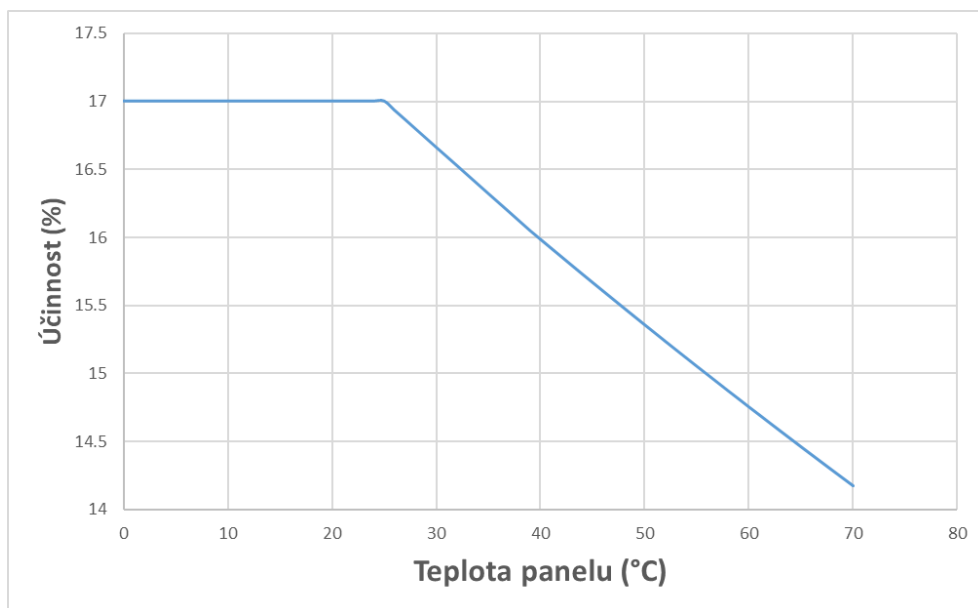


Zdroj: vlastní zpracování dle Euro (2018) a s použitím softwaru *MS Excel*

Orientační pokles účinnosti fotovoltaického panelu v závislosti na teplotě je znázorněn na Obr. 14, je patrné, že pokles účinnosti má lineární charakter. Avšak z dostupných dat z fotovoltaických panelů na střeše fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v roce 2017, znázorněných na Obr. 15 (hodinové průměry), je rovněž patrné, že rozdíl teploty okolí a teploty fotovoltaického panelu je v některých situacích maximálně kolem 10 °C. Pokusy o přesnější odhadování teploty panelu by byly výpočetně velmi náročné, jelikož tato teplota závisí na velkém množství faktorů jako teplota okolí, vlhkost vzduchu, energie dopadajícího záření, rychlost větru atd. V následujících výpočtech bude u případové studie, popsané v kapitole 2.3 z předchozích zmíněných důvodů, uvažována teplota panelů stejná jako teplota okolí.

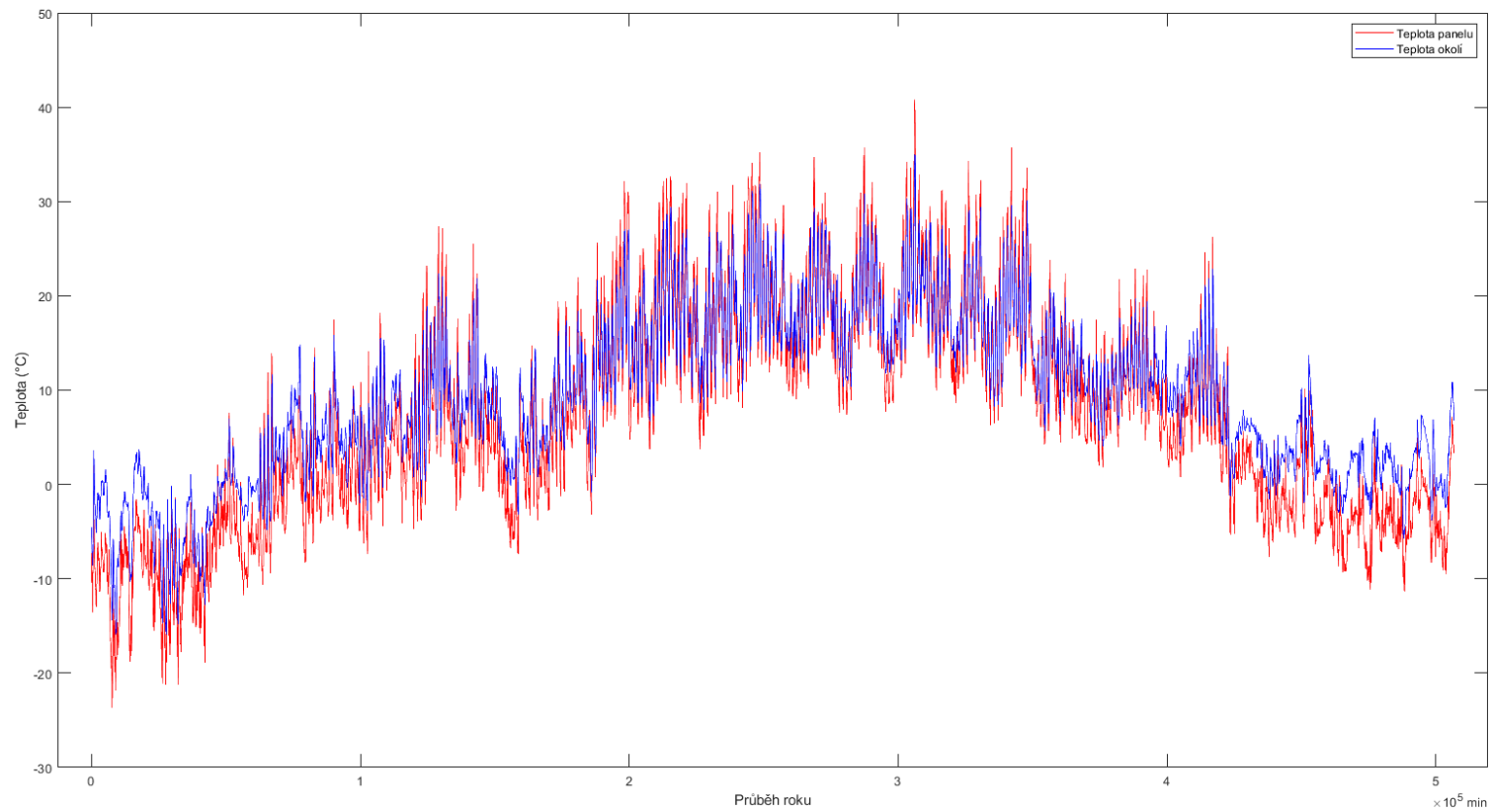
Pozn.: Rozhodnutí o uvažování stejné teploty fotovoltaických panelů jakožto teploty okolí vychází pouze z jedné sady měření fotovoltaických panelů. U jiných instalací se mohou teploty lišit více.

Obr. 14: Orientační pokles účinnosti fotovoltaického panelu v závislosti na teplotě



Zdroj: vlastní zpracování dle Euro (2018)

Obr. 15: Teplota okolí a teplota fotovoltaických panelů na střeše Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v roce 2017



Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MATLAB*

2.1.3 Teplota okolí

Litschmann a Svoboda (1999) odvodili a vyčíslili na základě Linvilla (1990), že lze vypočítat očekávanou teplotu v danou hodinu vztahy (27) a (28), přičemž uvažované jsou pouze hodiny dne s kladnou energetickou bilancí (solární den), kdy má teplota přibližně sinusový průběh.

$$T_{ti} = T_{min} + A \cdot \sin(\tau_i - \tau_{1+1}) \cdot B \quad (27)$$

Kde:

$$A = T_{max} - T_{min}; B = 90/(14,5 - \tau_{1+1}) \quad (28)$$

Kde: T_{ti} ... teplota vzduchu v i-tou hodinu (°C),

T_{min} ... minimální teplota daného dne (°C),

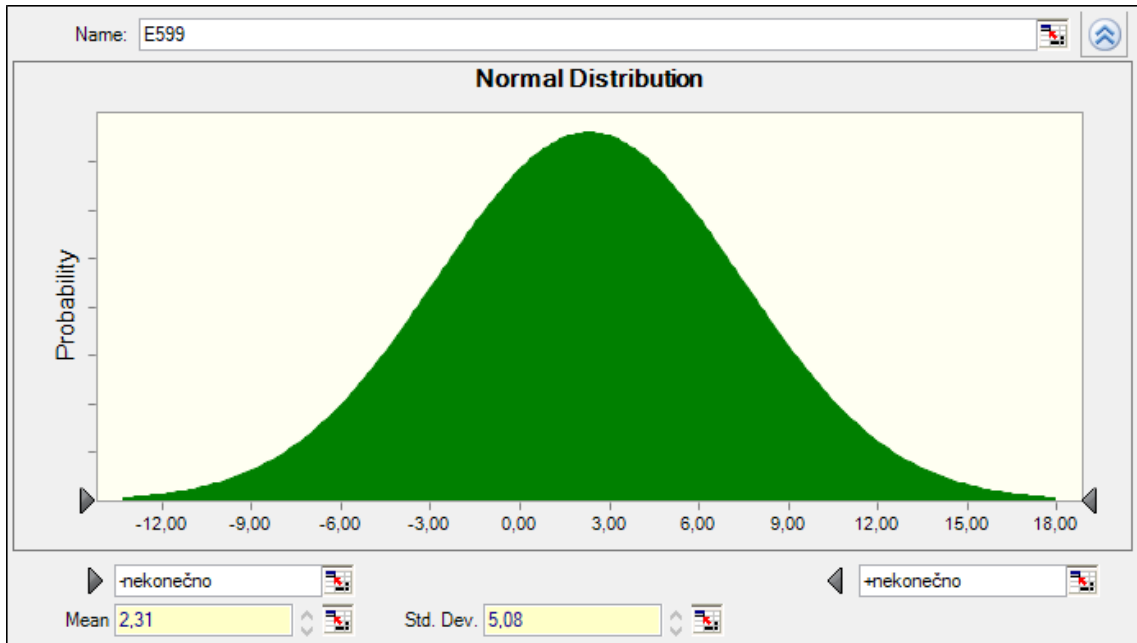
T_{max} ... maximální teplota daného dne (°C),

τ_i ... denní hodina (h),

τ_1 ... doba východu slunce (h).

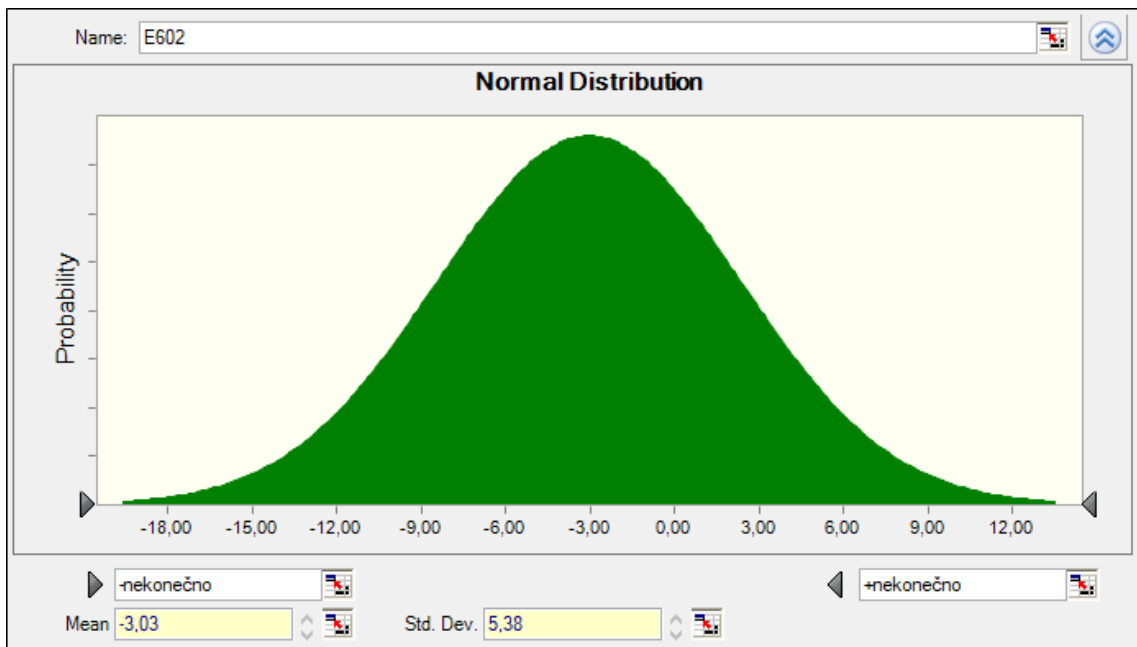
Pro odhady očekávaných hustot pravděpodobnosti maximální a minimální denní teploty byla použita data z let 1971–2019 z měřicí stanice ČHMÚ v Praze-Libuši ekvivalentním způsobem jako v kapitole 2.1.1 (Obr. 12), avšak bez omezení z oboru stran a s integrovanou podmínkou, kde minimální denní teplota v konkrétním scénáři nemůže být vyšší než maximální denní teplota ve stejném scénáři. Na Obr. 16 a Obr. 17 jsou uvedeny odhady očekávané hustoty maximální a minimální denní teploty pro 1.1.

Obr. 16: Odhad hustoty pravděpodobnosti maximální denní teploty ve °C pro 1. 1



Zdroj: vlastní zpracování s použitím toolboxu *Crystal ball* dle dat ČHMÚ

Obr. 17: Odhad hustoty pravděpodobnosti minimální denní teploty ve °C pro 1. 1



Zdroj: vlastní zpracování s použitím toolboxu *Crystal ball* dle dat ČHMÚ

2.1.4 Spotřeba objektu

Odhad očekávané hustoty pravděpodobnosti spotřeby objektu (uvažován rodinný dům) byl proveden na základě statistických ročních dat spotřeb po hodinách. Pro

zjednodušení výpočtů byly dny kalendářního roku rozděleny do čtyř typických skupin, pro které jsou následně z reprezentativního vzorku dnů vypočteny směrodatné odchylky a střední hodnoty spotřeb. Tento postup předpokládá znalost statistických dat spotřeby po hodinových intervalech za celý rok (minimálně). Pokud tato data nejsou dostupná, lze odhady spotřeb provést na základě odhadů denního využití jednotlivých spotřebičů a součtu jejich výkonů.

Skupiny pro rozdělení dnů během kalendářního roku:

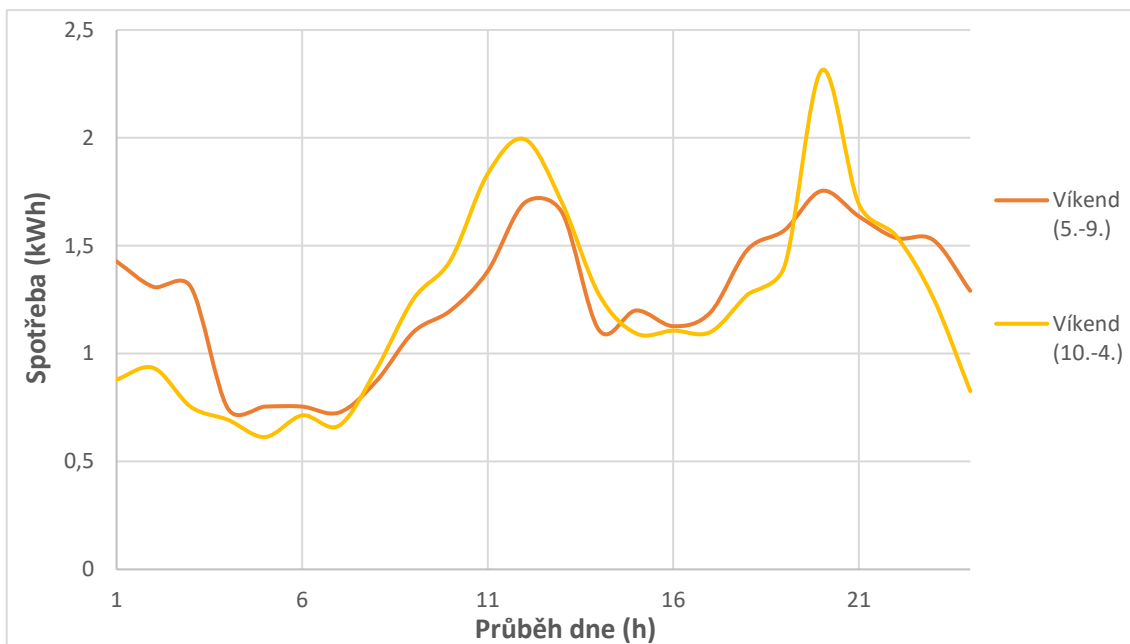
- pracovní týden květen–září,
- víkend květen–září,
- pracovní týden říjen–duben,
- víkend říjen–duben.

Toto rozdělení zohledňuje rozdíly ve spotřebě během nepřítomnosti osob v domě v pracovním týdnu, a naopak přítomnosti během víkendů, stejně jako rozdíly mezi topnou a netopnou sezonou.

V této práci byl proveden odhad spotřeby rodinného domu na základě statistických dat. Použitá data pochází z měření elektrické spotřeby rodinného domu blíže popsaného v kapitole **2.3.1**.

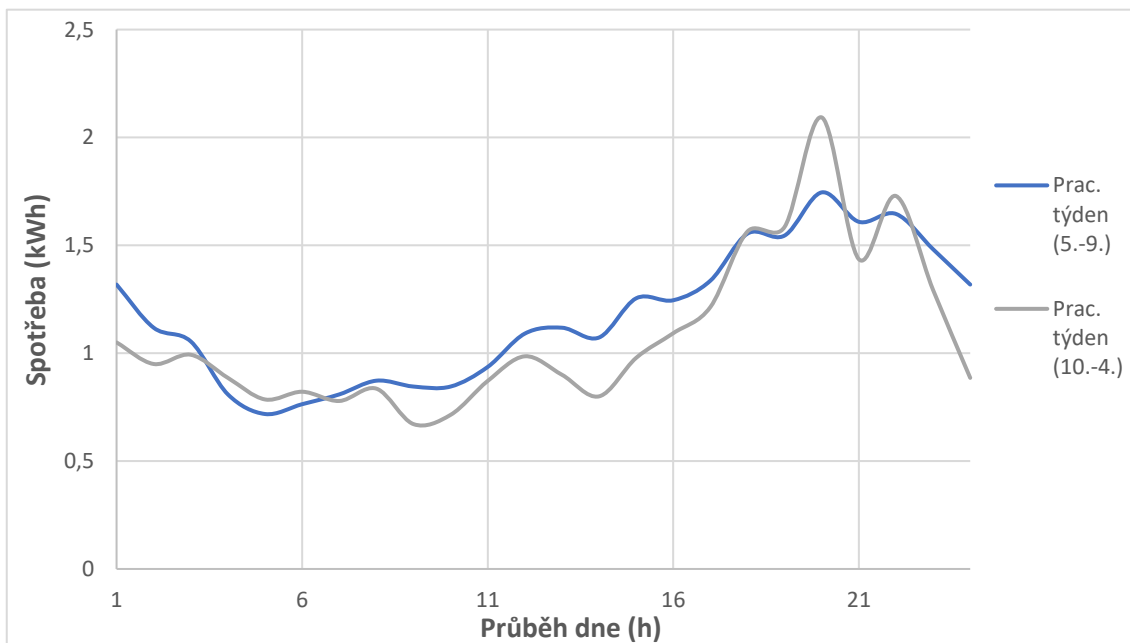
Pro znázornění rozdílů mezi jednotlivými skupinami jsou vykresleny střední hodnoty spotřeb během víkendů i pracovních dnů na Obr. 18 a Obr. 19, přičemž je jasně patrná zvýšená spotřeba elektrické energie v topné sezóně.

Obr. 18: Střední hodinové hodnoty denní spotřeby během víkendů



Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel*

Obr. 19: Střední hodinové hodnoty denní spotřeby během pracovních dnů

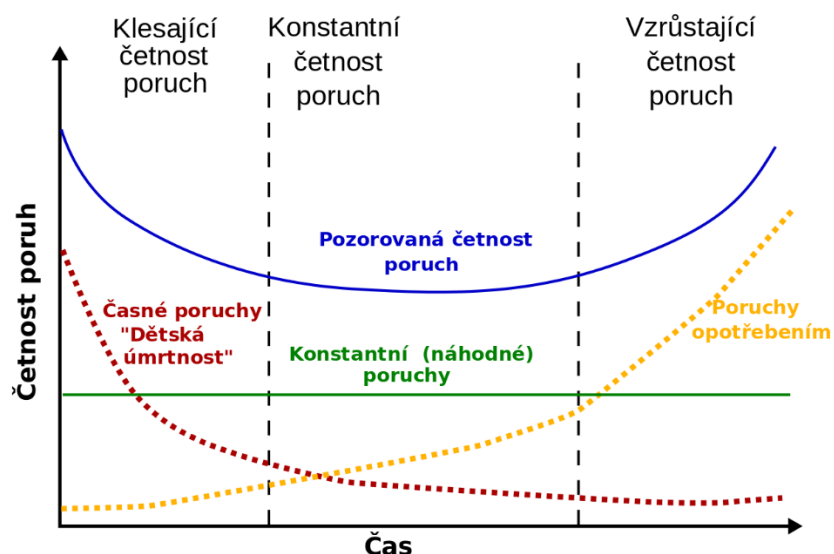


Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel*

2.1.5 Provozní spolehlivost

Očekávaná hodnota intenzity poruch je popsána vanovou křivkou znázorněnou na Obr. 20. Tato křivka je rozdělena na tři úseky vztažené na dobu životnosti zařízení, které jsou popsány níže.

Obr. 20: Znázornění vanové křivky spolehlivosti a jejích složek



Zdroj: Vanová křivka (2016)

První úsek, který začíná při uvedení zařízení do provozu, lze označit jako tzv. období „dětské úmrtnosti“, je to období častých vad a poruch, avšak je relativně krátké. Typickými příčinami poruch jsou:

- nedokonalosti konstrukce,
- neshody a nedokonalosti ve výrobě či vstupech,
- nevhodnost pro podmínky použití (Novotný, 2001).

Druhý úsek lze označit jako tzv. období „normálního“ provozního využití, kdy je intenzita poruch relativně nízká a zpravidla konstantní. Typickými příčinami poruch jsou:

- náhodné příčiny,
- nedodržení provozních podmínek a podmínek přepravy, nebo skladování (Novotný, 2001).

Třetí úsek, který je zároveň poslední částí doby životnosti, zařízení lze označit jako tzv. období „dožití a únavy“, kdy se zvyšuje intenzita poruch, jejichž typickými příčinami jsou:

- únava
- stárnutí a opotřebení (Novotný, 2001).

Hodnoty intenzit poruch jednotlivých komponent v instalaci mohou být značně rozdílné, neboť jsou ovlivněny mnoha faktory, např. výrobním postupem, kvalitou zpracování, použitou technologií, lokálními vlivy u konkrétní instalace, atp. Navíc tato oblast techniky prochází dramatickým vývojem, je tedy třeba ještě zohledňovat aktuálnost dat. Kvůli nedostupnosti hodnot intenzit poruch pro konkrétní komponenty uvažované v případové studii (ani aktuálnějších „orientačních“ hodnot intenzit poruch komponent v ekvivalentních instalacích) bude uvažována absolutní provozní spolehlivost a bezchybná montáž. Zanedbání poruch a oprav bude zohledněno v premii za riziko v kapitole 2.2.2.3.

2.2 Odhady hodnot deterministických veličin

V této kapitole budou popsány způsoby odhadu, případně zanedbání deterministických veličin, které ovlivňují rentabilitu instalace.

2.2.1 Cena elektrické energie

Koncová cena elektrické energie pro malooběratele se liší dle dodavatelů, tarifů, produktů a distribučních sazeb, v případové studii popsané v kapitole 2.3 bude uvažován jako dodavatel skupina ČEZ na distribučním území ČEZ (těsně za hranicemi Prahy). Kvůli změně určování metodiky cen od roku 2017 bude v této kapitole provedena analýza pouze cen od roku 2017.

Pro případovou studii popsanou v kapitole 2.3 a následující cenovou analýzu bude uvažována distribuční sazba *D26d* se smlouvou uzavřenou na 3 roky s fixací cen k době uzavření (s automatickým prodlužováním o 3 roky a zanedbáním roční změny regulované složky elektrické energie, která je minoritní oproti změně neregulované složky) pro produkt „Elektrina pro soláry“. Pro přesné cenové vyjádření energetické úspory je třeba porovnat celkovou energetickou náročnost objektu v distribuční sazbě *D26d* pro produkt „Elektrina pro soláry“ s připojenými fotovoltaickými panely (netto

spotřeba + dodávka do sítě) s produktem „Elektřina na 3 roky“ bez připojených fotovoltaických panelů (brutto spotřeba).

2.2.1.1 Distribuční sazba D26d

Konkrétní podmínky nároku na využití distribuční sazby *D26d* jsou každý rok potvrzovány (případně aktualizovány) Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Nárok má každá domácnost s nainstalovanými akumulacími kamny (bojlerem), pokud splňuje alespoň jedno z následujících kritérií:

- Celkový výkon nainstalovaných akumulacími kamen dosahuje minimálně 55 % výkonu hlavního domovního jističe (např.: jistič 3×25 A propustí výkon maximálně 17 250 W, z čehož vyplývá, že výkon akumulacími kamen musí být dohromady alespoň 9 487,5 W).
- Celkový výkon nainstalovaných akumulacími kamen odpovídá tepelným ztrátám objektu.
- Celkový výkon nainstalovaných akumulacími kamen pokryje minimálně 80 % spotřeby elektrické energie na vytápění (dokládá se průkazem energetické náročnosti budovy).

Jelikož v distribuční sazbě *D26d* pravděpodobně dojde k větší spotřebě elektrické energie než u většiny českých domácností, formou měsíčního paušálu je předplacena „rezervovaná“ kapacita elektrického vedení. Následně je však každá odebraná MWh elektrické energie zejména v nízkém tarifu levnější, z tohoto důvodu jsou akumulacími kamna ve vysokém tarifu obvykle zablokována.

Pro nízký tarif budou platit následující podmínky:

- Doba trvání minimálně 8 hodin denně.
- Maximálně rozdělen do třech vnitrodenních úseků.
- Minimální doba trvání jednoho úseku je 1 h (např. od 1:00 do 4:00, od 5:00 do 6:00 a od 20:00 do 24:00).

Přesné časy spínání na nízký tarif (jednotlivé vnitrodenní úseky) stanovuje lokální distributor dle aktuálního (nebo předpokládaného) zatížení sítě. Při sepnutí na vysoký tarif se akumulacími kamna zablokují, při sepnutí na nízký tarif naopak spustí, čímž je regulována spotřeba elektrické energie a zajišťována stabilita elektrizační soustavy (Ceny energie, 2020).

Vzhledem k tomu, že nelze určit přesné časy přepínání na nízký tarif a relativně malé kapacitě baterie (5 kWh, což pokrývá spotřebu daného objektu ve večerních hodinách asi na dobu 3 h) uvažované v případové studii v kapitole 2.3, bude vytvořená energetická úspora počítána výhradně pro vysoký tarif (VT). V Tab. 3 a Tab. 4 jsou uvedeny ceny vysokého tarifu, nízkého tarifu a paušální platby za jistič (stanovený dle případové studie na 3×25 A) D26d od roku 2017. Z Tab. 3 a Tab. 4 je patrné, že ceny za NT u obou produktů jsou v posledních letech téměř shodné, stejně jako platby za jistič. Kvůli této shodě budou v případové studii případné rozdíly obou produktů v NT a platbě za jistič zanedbány a bude vyčíslena pouze energetická úspora ve VT.

Tab. 3: Celková jednotková cena elektřiny od skupiny ČEZ v distribuční sazbě D26d pro produkt „Elektřina na 3 roky“

Datum	Cena VT (Kč/MWh)	Cena NT (Kč/MWh)	Paušální platba za jistič (Kč/měsíc)
Od 1. 1. 2017	2 332,06	1 091,72	242,00
Od 1. 4. 2018	2 476,72	1 359,58	255,31
Od 1. 1. 2019	2 503,05	1 370,58	271,04
Od 1. 3. 2019	2 934,31	2 022,29	271,04
Od 1. 11. 2019	2 934,31	2 022,29	271,04
Od 1. 1. 2020	3 075,63	2 285,67	274,67
Od 1. 3. 2020	3 075,63	2 285,67	274,67
Od 1. 10. 2020	2 942,53	2 152,57	274,67

Zdroj: ČEZ (2020)

Tab. 4: Celková jednotková cena elektřiny od skupiny ČEZ v distribuční sazbě D26d pro produkt „Elektřina pro soláry“

Datum	Cena VT (Kč/MWh)	Cena NT (Kč/MWh)	Paušální platba za jistič (Kč/měsíc)
Od 1. 5. 2017	2 120,98	1 444,28	255,31
Od 1. 4. 2018	2 302,48	1 625,78	255,31
Od 1. 1. 2019	2 328,81	1 636,78	271,04
Od 1. 3. 2019	2 691,81	1 999,78	271,04
Od 1. 11. 2019	2 944,95	2 286,88	274,67
Od 1. 1. 2020	2 944,95	2 286,88	274,67
Od 1. 10. 2020	2 823,95	2 165,88	274,67

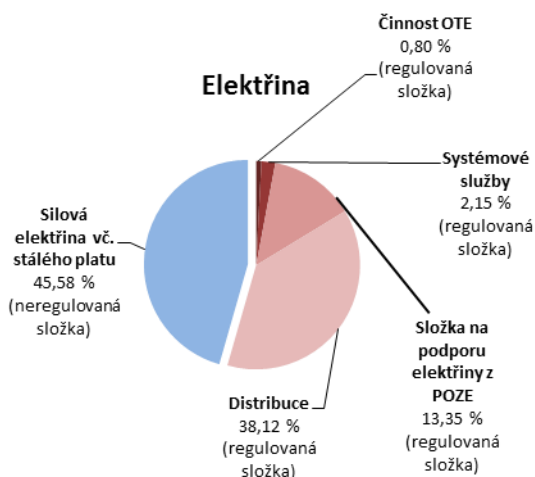
Zdroj: ČEZ (2020)

Pozn.: uvedené ceny jsou včetně *DPH*.

2.2.1.2 Odhad cen vysokého tarifu

Koncová cena elektrické energie dlouhodobě podléhá rostoucímu trendu a skládá se dle Energetického regulačního úřadu (ERÚ, 2018) z několika složek (regulovaných a neregulovaných), jež jsou graficky znázorněny na Obr. 21.

Obr. 21: Složení koncové ceny elektrické energie v roce 2019



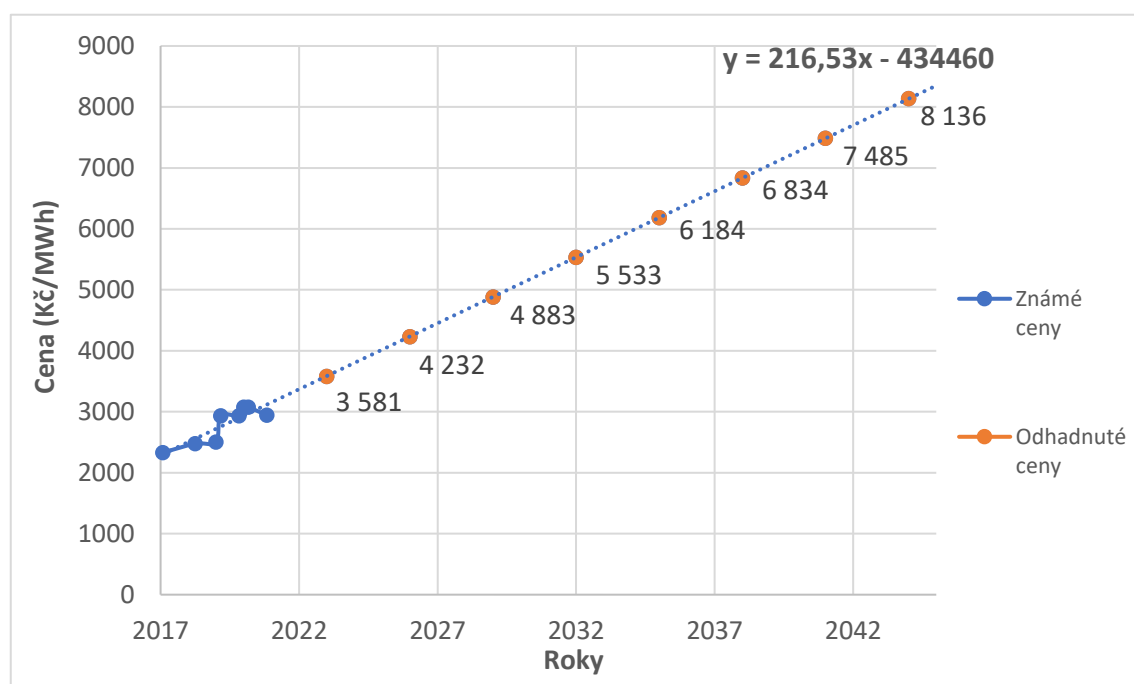
Zdroj: ERÚ (2018)

Regulované složky budou svou stabilitou zmírňovat prudké výkyvy tržních cen elektrické energie v koncové ceně. Vzhledem ke složení koncových cen a k povaze jednotlivých složek je jakékoliv dlouhodobější předpovídání koncových cen elektřiny velmi složité. Díky cenové fixaci po dobu každých tří let je pravděpodobné, že dojde k odfiltrování velkých cenových odchylek od rostoucího trendu během krátkých období. Proto byla pro odhad cen *VT* zvolena lineární regrese na základě dostupných dat z předchozích let (předpokládá koncové zdražení elektrické energie zhruba na dvojnásobnou cenu z roku 2020 v roce 2035). Vstupní data, lineární trend a jeho funkce s vyznačenými jednotlivými lety, kdy se budou ceny dle smlouvy měnit, jsou znázorněny na Obr. 22. pro produkt „Elektřina na 3 roky“ a Obr. 23 pro produkt „Elektřina pro soláry“.

Pozn.: Nárůst ceny regulované složky lze trendem predikovat přesněji než nárůst neregulované (obchodní) složky, která je prakticky nepredikovatelná (závisí na velkém množství faktorů, avšak z historických dat i aktuálních odhadů expertů lze vyvodit

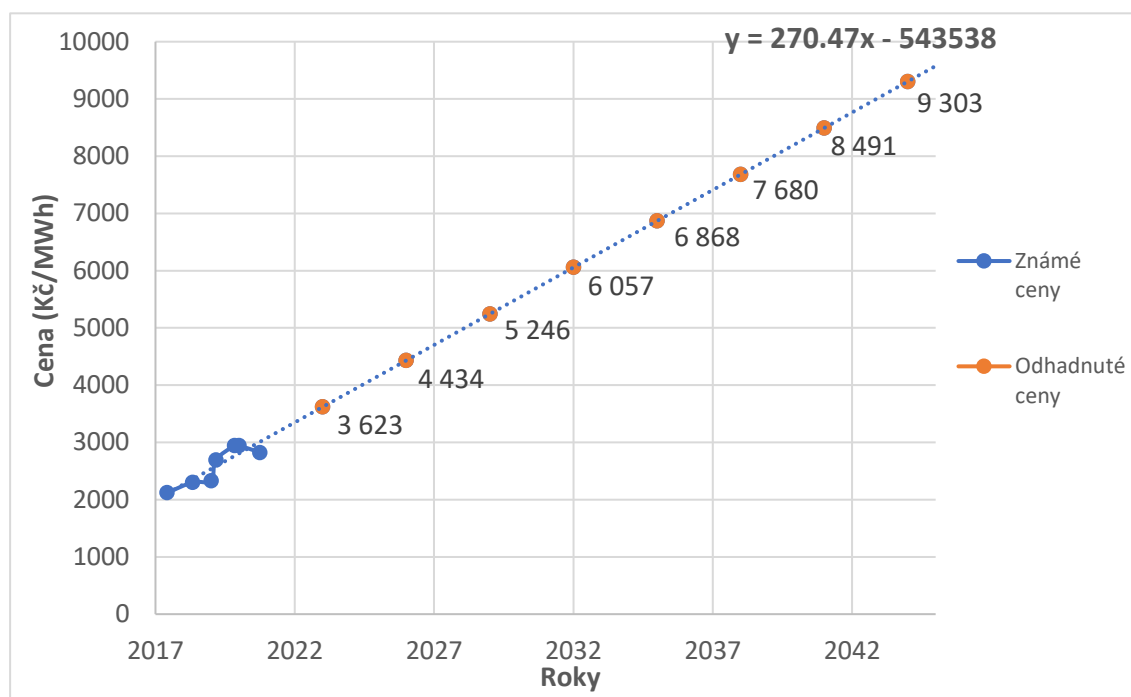
dlouhodobě rostoucí trend). Roční změna ceny regulované složky má relativně malý význam oproti ročním změnám obchodní složky, kvůli čemuž v této práci není rozdělena koncová cena na jednotlivé složky. Přesnější odhad koncových cen elektrické energie by vyžadoval rozdělení predikované koncové ceny na regulovanou a neregulovanou složku a jejich následnou podrobnou analýzu (identifikaci ovlivňujících faktorů a jejich predikci), jež by mohla svým rozsahem tvořit samostatnou práci. Navíc dochází ke změnám samotných produktů, ve kterých jsou distribuční sazby účtovány, ačkoliv v tomto ohledu je učiněn předpoklad zachování produktu, který bude určen pro objekty s instalovanými fotovoltaickými panely v koncové spotřebě pro zatraktivnění těchto instalací. V důsledku výše zmíněného je zřejmé, že navržená metodika odhadu koncových cen elektrické energie je pouze hrubého charakteru.

Obr. 22: Známa a odhadovaná koncová cena elektrické energie ve vysokém tarifu *D26d* v produktu „Elektrina na 3 roky“



Zdroj: ČEZ (2020), vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel*

Obr. 23: Známa a odhadovaná koncová cena elektrické energie ve vysokém tarifu D26d v produktu „Elektřina pro soláry“



Zdroj: ČEZ (2020), vlastní zpracování s použitím softwaru MS Excel

Z Obr. 22 a Obr. 23 je patrné, že cena VT produktu „Elektřina pro soláry“ se zvyšuje ještě rychleji než cena VT produktu „Elektřina na 3 roky“. Avšak z reálných dat z Tab. 3 a Tab. 4 je rovněž zřejmé, že jsou si aktuální ceny VT obou produktů značně podobné a cena produktu „Elektřina pro soláry“ je vždy (ve stejných obdobích) mírně nižší než cena produktu „Elektřina na 3 roky“. Za předpokladu, že toto pravidlo zůstane stejné (zřejmě je nižší cena záměrná, aby byl produkt atraktivnější), budou pro případovou studii použity odhadované ceny produktu „Elektřina na 3 roky“, a to pouze pro vyčíslení energetické úspory. Uvažované ceny pro případovou studii jsou uvedeny v Tab. 5 (první cena je z produktu „Elektřina pro soláry“).

Tab. 5: Celková odhadnutá cena v distribuční sazbě *D26d* za dobu životnosti instalace

Datum	Cena VT (Kč/MWh)
Od 1. 1. 2020	2 944,95
Od 1. 1. 2023	3 581
Od 1. 1. 2026	4 232
Od 1. 1. 2029	4 883
Od 1. 1. 2032	5 533
Od 1. 1. 2035	6 184
Od 1. 1. 2038	6 834
Od 1. 1. 2041	7 485
Od 1. 1. 2044	8 136

Zdroj: vlastní zpracování

2.2.1.3 Odhad výkupní ceny

Výkupní cena za 1 MWh dodané elektrické energie do sítě fotovoltaickými panely v domácnostech se dle aktuálně platné metodiky ČEZ vypočte jako 40 % z obchodních cen elektrické energie (bez *DPH*), které jsou v produktu „Elektrina pro soláry“ fixované na 3 roky. V Tab. 6 jsou znázorněny obchodní ceny elektrické bez *DPH* (cena vysokého i nízkého tarifu je stejná (ČEZ, 2020)).

Tab. 6: Velikost podpory za dodávku elektrické energie do sítě pro produkt „Elektrina pro soláry“

Datum	Obchodní cena bez <i>DPH</i> (Kč/MWh)	Výše podpory za dodávku (Kč/MWh)
Od 1. 5. 2017	1 000	400
Od 1. 4. 2018	1 150	460
Od 1. 1. 2019	1 150	460
Od 1. 3. 2019	1 450	580
Od 1. 11. 2019	1 650	660
Od 1. 1. 2020	1 650	660
Od 1. 10. 2020	1 550	620

Zdroj: ČEZ (2020)

Odhad byl proveden ekvivalentním způsobem jako v kapitole 2.2.1.2, výsledné odhadnuté ceny jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7: Celková odhadnutá výkupní cena v *D26d* za dobu životnosti instalace

Datum	Výše podpory za dodávku (Kč/MWh)
Od 1. 1. 2020	660
Od 1. 1. 2023	869
Od 1. 1. 2026	1 123
Od 1. 1. 2029	1 378
Od 1. 1. 2032	1 632
Od 1. 1. 2035	1 887
Od 1. 1. 2038	2 141
Od 1. 1. 2041	2 396
Od 1. 1. 2044	2 650

Zdroj: vlastní zpracování

Pozn.: Nejedná se přímo o výkup přebytků elektrické energie, ale o kompenzaci přebytků formou slevy z provozu výroby elektřiny (zaplacený jsou dodávky do maximální výše odebrané elektrické energie ze sítě) (ČEZ, 2020).

2.2.2 Diskontní sazba

Reálná diskontní sazba byla určena dle Salvy et al. (2017) ze vztahu (29).

$$i = i_{rf} + PR \quad (29)$$

Kde: i ... reálná diskontní sazba (%),

i_{rf} ... bezriziková diskontní sazba (%),

PR ... prémie za riziko (%).

Bezriziková diskontní sazba se vypočte dle Čížka (2010) ze vztahu (30).

$$i_{rf} = \left(\frac{(i_n - i_r)}{(1 + i_r)} \right) \cdot 100 \quad (30)$$

Kde: i_n ... nominální diskontní sazba (%),

i_r ... skutečná, resp. očekávána míra inflace (%).

2.2.2.1 Nominální diskontní sazby

Nominální diskontní sazba byla odhadnuta z průměrné úrokové sazby dle Hypoindexu (2018) z let 2003–2017 pomocí klouzavého průměru. Znamé i odhadnuté hodnoty nominální úrokové míry použité v případové studii v kapitole 2.3 jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8: Znamá a odhadovaná nominální diskontní sazba

Rok	i_n (%)	Rok	i_n (%)
2003	5,2	2025	3,34
2004	4,8	2026	3,24
2005	4,0	2027	3,19
2006	4,2	2028	3,16
2007	4,7	2029	3,17
2008	5,6	2030	3,20
2009	5,6	2031	3,27
2010	4,9	2032	3,37
2011	4,0	2033	3,46
2012	3,5	2034	3,43
2013	3,1	2035	3,40
2014	2,7	2036	3,38
2015	2,1	2037	3,36
2016	1,9	2038	3,34
2017	2,0	2039	3,32
2018	3,89	2040	3,31
2019	3,80	2041	3,31
2020	3,73	2042	3,31
2021	3,71	2043	3,32
2022	3,68	2044	3,33
2023	3,61	2045	3,34
2024	3,48		

Zdroj: vlastní zpracování dle Hypoindexu (2018)

2.2.2.2 Meziroční míra inflace

Meziroční míra inflace byla odhadnuta dle Českého statistického úřadu (ČSÚ, 2020) z let 1998–2019 pomocí klouzavého průměru. Známé i odhadnuté hodnoty inflace pro případovou studii popsanou v kapitole 2.3 jsou uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9: Známá a odhadovaná meziroční míra inflace

Rok	i_r (%)	Rok	i_r (%)
1998	6,8	2022	2,25
1999	2,5	2023	2,17
2000	4,0	2024	2,08
2001	4,1	2025	2,15
2002	0,6	2026	2,20
2003	1,0	2027	2,17
2004	2,8	2028	2,17
2005	2,2	2029	2,19
2006	1,7	2030	2,04
2007	5,4	2031	1,97
2008	3,6	2032	2,02
2009	1,0	2033	2,01
2010	2,3	2034	1,99
2011	2,4	2035	1,97
2012	2,4	2036	1,99
2013	1,4	2037	2,08
2014	0,1	2038	2,17
2015	0,1	2039	2,18
2016	2,0	2040	2,17
2017	2,4	2041	2,18
2018	2,0	2042	2,13
2019	3,2	2043	2,11
2020	2,45	2044	2,11
2021	2,26	2045	2,10

Zdroj: vlastní zpracování, ČSÚ (2020)

Použití klouzavého průměru pro předpověď nominální úrokové sazby a míry inflace eliminuje kladné i záporné těžko předvídatelné větší odchylky od střední hodnoty, což

by nemělo razantně snižovat přesnost výpočtu v dlouhodobějším horizontu při hodnocení instalace.

2.2.2.3 Prémie za riziko

Prémie za riziko se opět dle Salvy et al. (2017) vypočte po úpravě vztahem (31).

$$PR = R_{cont} + R_{end} + R_{fin} + R_{sist} + R_{ass} + R_{gest} \quad (31)$$

Kde: R_{cont} ... riziko kontextu související s geografickým umístěním instalace (%),

R_{end} ... endogenní riziko související s technickými parametry instalace (%),

R_{fin} ... finanční riziko související se specifickou investicí (%),

R_{sist} ... systémové riziko související s domácím stavem ekonomiky (%),

R_{ass} ... riziko související s pojištěním instalace (%),

R_{gest} ... riziko související se správou instalace (%).

V důsledku značně omezené dostupnosti dat byly vybrány pro případovou studii průměrné hodnoty výše zmíněných rizik (dosazované do vztahu (29) pro každý rok životnosti instalace). Procentuální rozsahy a průměry rizik jsou uvedeny v Tab. 10. Jelikož R_{cont} je dáno náhodnými parametry popsány v kapitole 2.1, bude uvažováno jako zahrnuté. Ekvivalentně nebude uvažováno ani R_{fin} , které souvisí finanční rizikovostí investice, jelikož bude uvažování financování instalace v případové studii popsané v kapitole 2.3 z vlastních zdrojů.

Tab. 10: Procentuální rozsahy a průměry dosazovaných rizik

Typ rizika	Rozsah (%)	Průměr (%)	Uvažováno (%)
R_{cont}	0,25–2,50	1,38	0
R_{end}	0,30–2,00	1,15	1,15
R_{fin}	0,50–1,50	1,00	0
R_{sist}	0,50–2,00	1,25	1,25
R_{ass}	0,20–1,00	0,60	0,60
R_{gest}	0,20–1,00	0,60	0,60
Celkem		5,98	3,6

Zdroj: Salvo et al. (2017)

2.2.2.4 Reálná diskontní sazba

Reálná diskontní sazba i dpočtená vztahy (29) – (31) pro jednotlivé roky životnosti instalace je uvedena v Tab. 11.

Tab. 11: Reálná dpočtená diskontní sazba pro jednotlivé roky životnosti instalace

Rok	i (%)	Rok	i (%)
2020	4,84	2033	5,02
2021	5,02	2034	5,01
2022	5,00	2035	5,00
2023	5,01	2036	4,95
2024	4,97	2037	4,85
2025	4,77	2038	4,74
2026	4,61	2039	4,71
2027	4,59	2040	4,71
2028	4,57	2041	4,70
2029	4,55	2042	4,75
2030	4,73	2043	4,77
2031	4,87	2044	4,79
2032	4,92	2045	4,81

Zdroj: vlastní zpracování

2.3 Případová studie

Pro případovou studii byla vybrána již existující instalace kvůli snadné dostupnosti parametrizace, cen komponent a možnosti porovnání výsledků s reálnou bilancí instalace.

2.3.1 Parametry objektu

Objektem případové studie je rodinný dvoupatrový dům (s obyvatelným podkrovím) o celkové obytné výměře přibližně 350 m², se třemi stálými residenty. Dům je zateplený 5 cm silnou vrstvou polystyrenu. Vytápění je zajišťováno plynovým kotlem (podlahové topení v přízemí, jinak radiátory), ohřev teplé užitkové vody je realizován kombinací plynového kotle a elektrické energie (obvykle ohřívána pomocí fotovoltaických panelů).

2.3.2 Měřicí stanice

Pro odhady náhodných veličin byla využita data z měřicí stanice v Praze-Libuši, dostupná na webových stránkách *Českého hydrometeorologického ústavu* (ČHMÚ, 2020). Základní informace o lokalitě a měřicí stanici jsou uvedeny v Tab. 12, Tab. 13 a Tab. 14.

Tab. 12: Základní informace o stanici

Zeměpisná šířka	50° 00' 28" N
Zeměpisná délka	14° 26' 49" E
Nadmořská výška	302 m
Počátek pravidelných měření	1. 1. 1971
Datum automatizace	1. 1. 2000
Zeměpisná šířka	50° 00' 28" N

Zdroj: ČHMÚ (2020)

Tab. 13: Dlouhodobé průměry

Charakteristika	1961–1990	1971–2000	1981–2010
Průměrná roční teplota vzduchu	+8,6 °C	+9,0 °C	+9,4 °C
Průměrný roční srážkový úhrn	535,5 mm	515,3 mm	520,6 mm
Průměrný roční úhrn doby trvání slunečního svitu	1 596,3 h	1 615,2 h	1 676,2 h
Průměrná roční teplota vzduchu	+8,6 °C	+9,0 °C	+9,4 °C
Průměrný roční srážkový úhrn	535,5 mm	515,3 mm	520,6 mm

Zdroj: ČHMÚ (2020)

Tab. 14: Rekordní hodnoty vybraných meteorologických prvků

Charakteristika	Nejnižší	Datum	Nejvyšší	Datum
Absolutní naměřená teplota	-25,0 °C	9. leden 1985	+39,6 °C	20. srpen 2012
Průměrná denní teplota	-20,8 °C	8. leden 1985	+31,4 °C	8. srpen 2015
Průměrná měsíční teplota	-6,7 °C	leden 1987	+23,6 °C	srpen 2015
Průměrná sezónní teplota v zimě	-3,4 °C	1984/1985	+4,4 °C	2006/2007
Průměrná sezónní teplota v létě	+15,9 °C	1978	+21,7 °C	2019

Průměrná roční teplota	+7,5 °C	1980, 1996	+11,3 °C	2018
Roční počet tropických dnů	1 d	1977	34 d	2015
Roční počet ledových dnů	2 d	1974, 2015	59 d	2010
Roční úhrn srážek			82,0 mm	19. červenec 1981
Měsíční úhrn srážek	0,6 mm	listopad 2011	210,8 mm	červenec 1981
Roční úhrn srážek	300,2 mm	2003	874,7 mm	2002
Výška sněhové pokrývky			33 cm	18. leden 2010
Výška nové sněhové pokrývky			20 cm	13. březen 1988
Měsíční úhrn slunečního svitu	16,1 h	prosinec 2005	341,5 h	červen 2019
Roční úhrn slunečního svitu	1 344,6 h	1977	2 161,5 h	2003
Staniční tlak vzduchu	934,5 hPa	26. únor 1989	1 008,8 hPa	16. únor 2008
Tlak vzduchu přepočtený na hladinu moře	969,3 hPa	26. únor 1989	1 048,3 hPa	16. únor 2008

Zdroj: ČHMÚ (2020)

2.3.3 Komponenty instalace

2.3.3.1 Fotovoltaické panely

Jako fotovoltaické panely v případové studii byly instalovány panely *Solarwatt ECO 60M* v počtu 16 kusů. Vybrané technické specifikace jsou uvedeny v Tab. 15 (SolarWatt, 2020).

Tab. 15: Vybrané technické specifikace fotovoltaických panelů Solarwatt ECO 60M

Jmenovitý výkon	285 Wp (při 25 °C a 1 000 W/m ²)
Jmenovitá účinnost	17,6 % (při 25 °C)
Rozsah provozní teploty	-40 ... +85 °C
Rozsah teploty okolí	-40 ... +45 °C
Teplotní koeficient	-0,42 %/K
Fotovoltaické články	60 monokrystalických článků

Rozměry článku	157 × 157 mm
Celková plocha článků	1,47894 m ²
Celkový jmenovitý výkon	4,560 kWp
Záruční doba	12 let

Zdroj: SolarWatt (2020)

2.3.3.2 *Střídač a baterie*

Jako střídač v případové studii byl instalován střídač *SONNEN Hybrid 8.13/5* spojený s baterií. Vybrané technické specifikace jsou uvedeny v Tab. 16 (Sonnen, 2019).

Tab. 16: Vybrané technické specifikace střídače a baterie SONNEN Hybrid 8.13/5

Střídač	
Jmenovitý výkon	5,5 kW
Jmenovité napětí	400 V
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Nabíjecí/vybíjecí výkon	2,5 kW
Maximální účinnost	96 %
Záruční doba	10 let
Baterie	
Kapacita baterie	5 kWh
Využitelná kapacita	4,5 kWh
Technologie	LiFePO ₄
Hloubka vybití	90 %
Počet cyklů	10 000
Maximální účinnost	98 %
Záruční doba	10 let

Zdroj: Sonnen (2019)

2.3.3.3 *Upevňovací systém a elektroizolační práce*

Jako upevňovací systém pro případovou studii byl instalován systém *K2*. Vybrané technické specifikace jsou uvedeny v Tab. 17 (EH Smith Sustainable Products, 2020).

Tab. 17: Vybrané technické informace upevňovacího systému K2

Umístění	šikmá střecha
Fotovoltaické panely	vhodné pro všechny standardní fotovoltaické panely
Materiál	nerezová ocel 1.4301
Spojení se střechou	spojení šrouby
Záruční doba	12 let

Zdroj: EH Smith Sustainable Products (2020)

2.3.3.4 Celková cena

Celková cena instalace včetně montáže firmou Novotný elektronik byla **348 968 Kč** vč. *DPH* a nevratná investiční dotace z programu nová zelená úsporám pro fotovoltaické instalace v rodinných domech byla **170 000 Kč**.

Pozn.: Po skončení doby životnosti projektu je uvažována nulová zbytková hodnota instalace.

2.3.4 Předpoklady

U navrženého postupu výpočtu budou uvažovány následující předpoklady:

- Financování vlastními zdroji (není uvažováno financování úvěrem).
- Teplota panelů je stejná jako teplota okolí.
- Správná montáž a žádné výrobní vady.
- Sklon panelů 45° a orientace na jih.
- Není uvažován vliv povětrnostních podmínek.
- Nulová zbytková hodnota komponent po skončení doby životnosti instalace.
- Životnost instalace 25 let (snížení účinnosti panelů po deseti letech na 90 % a po pětadvaceti letech na 80 %).
- Není uvažován rostoucí instalovaný výkon objektu v průběhu životnosti instalace.
- Je uvažován dokonale symetrický trojfázový odběr a dodávka do sítě.
- Spotřeba v nízkém tarifu je uvažována vždy s vybitou baterií, resp. baterie a aktuální výroba fotovoltaických panelů pokrývá vždy vysoký tarif.
- Uvedení do provozu k 1. 1. 2020.

- Hodnotícími kritérii jsou čistá současná hodnota instalace (NPV), vnitřní výnosové procento (IRR) a diskontovaná doba návratnosti (T_{sd}).
- Uvažována maximální účinnost baterie a střídače.
- Nejsou uvažovány stejnosměrné spotřebiče napájené z fotovoltaických panelů.
- Dodavatelem elektřiny je skupina ČEZ v distribuční sazbě D26d v produktu „Elektřina pro soláry“.
- Objekt se nachází v okolí měřicí stanice ČHMÚ stanice Praha-Libuš.

2.3.5 Návrh postupu výpočtu

Pro ekonomické hodnocení případové studie byl navrhnut následující postup:

1. Výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané celkové energie dopadajícího solárního záření na plochu fotovoltaických článků po jednotlivých hodinách v průběhu roku.
2. Výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané teploty okolí po jednotlivých hodinách v průběhu roku.
3. Výpočet hustoty pravděpodobnosti očekávané spotřeby rodinného domu po jednotlivých hodinách v průběhu roku.
4. Výpočet vyrobené elektrické energie fotovoltaickými panely, výpočet aktuálního stavu baterie při zohlednění aktuální spotřeby domu (za respektování účinnosti jednotlivých komponent, kdy u přímé spotřeby je zohledněna pouze účinnost střídače, u nepřímé spotřeby kromě účinnosti střídače i účinnost baterie) pro jednotlivé hodiny v průběhu roku s využitím bodů 1., 2. a 3. pro více scénářů.
5. Výpočet ročních bilancí spotřebované elektrické energie a dodané elektrické energie do sítě (za respektování měnící se účinnosti fotovoltaických panelů) pro všechny scénáře z bodu 4.
6. Odhad vývoje výše podpory dodávek do sítě a cen elektrické energie v průběhu životnosti instalace.
7. Stanovení peněžních toků během jednotlivých let životnosti instalace (za respektování měnících se cen elektrické energie) pro všechny scénáře z bodu 5.
8. Výpočet čisté současné hodnoty investice dle vztahu (3) (za respektování reálné diskontní sazby) pro všechny scénáře z bodu 7.
9. Výpočet očekávané (střední) hodnoty $E(NPV)$.

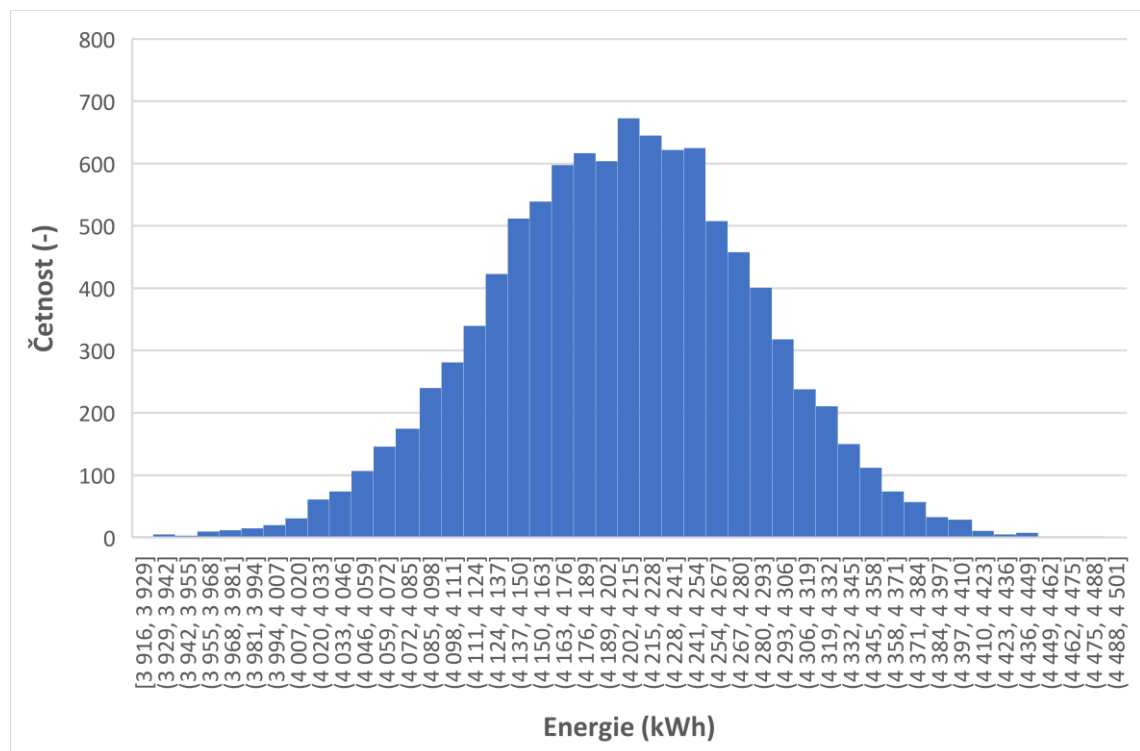
10. Výpočet vnitřního výnosového procenta investice dle vztahu (4) pro všechny scénáře z bodu 7.
11. Výpočet očekávané (střední) hodnoty $E(IRR)$.
12. Výpočet diskontované doby návratnosti investice dle vztahu (3) (za respektování reálné diskontní sazby) pro všechny scénáře z bodu 7.
13. Výpočet očekávané (střední) hodnoty $E(T_{sd})$

3 Výsledky

3.1 Energetická bilance

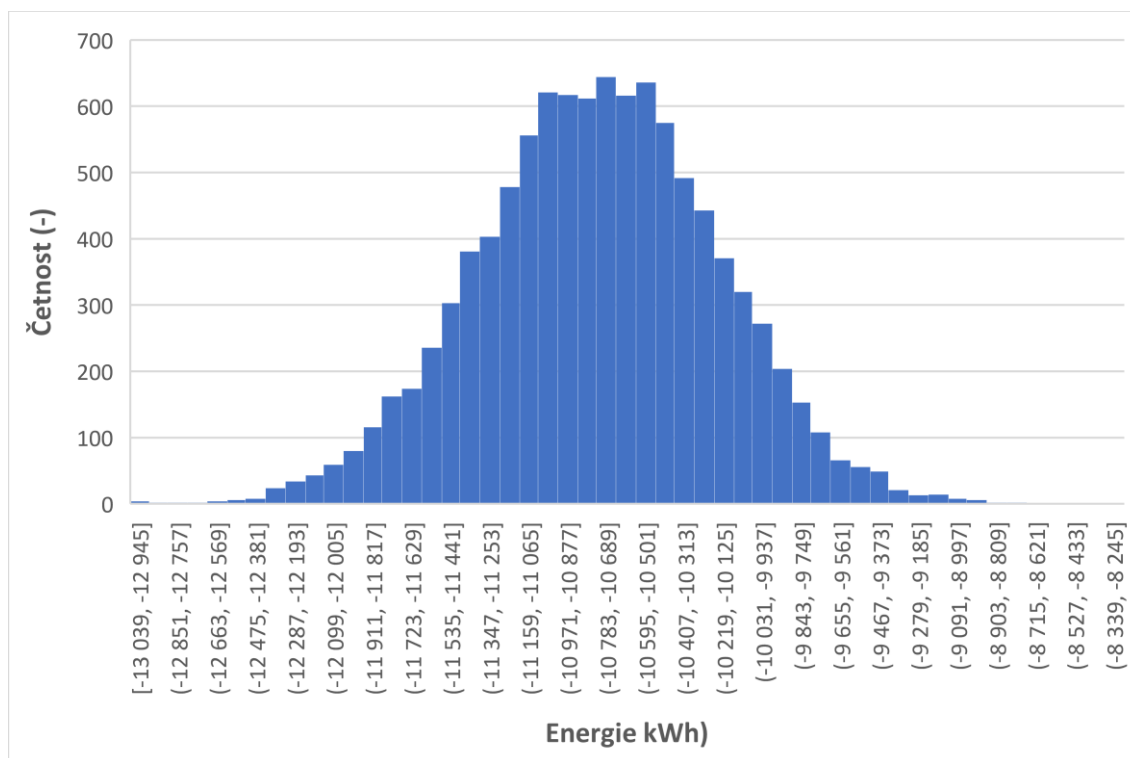
S přihlédnutím ke změně účinnosti fotovoltaických panelů v průběhu let budou v této kapitole uvedeny histogramy pro první rok životnosti instalace. Vliv na změnu netto spotřeby během životnosti instalace je demonstrován na Obr. 29. Výpočet byl proveden pro 10 000 scénářů, což byl maximální možný počet, který umožňoval použitý výpočetní hardware.

Obr. 24: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční výroby fotovoltaických panelů (1. rok)



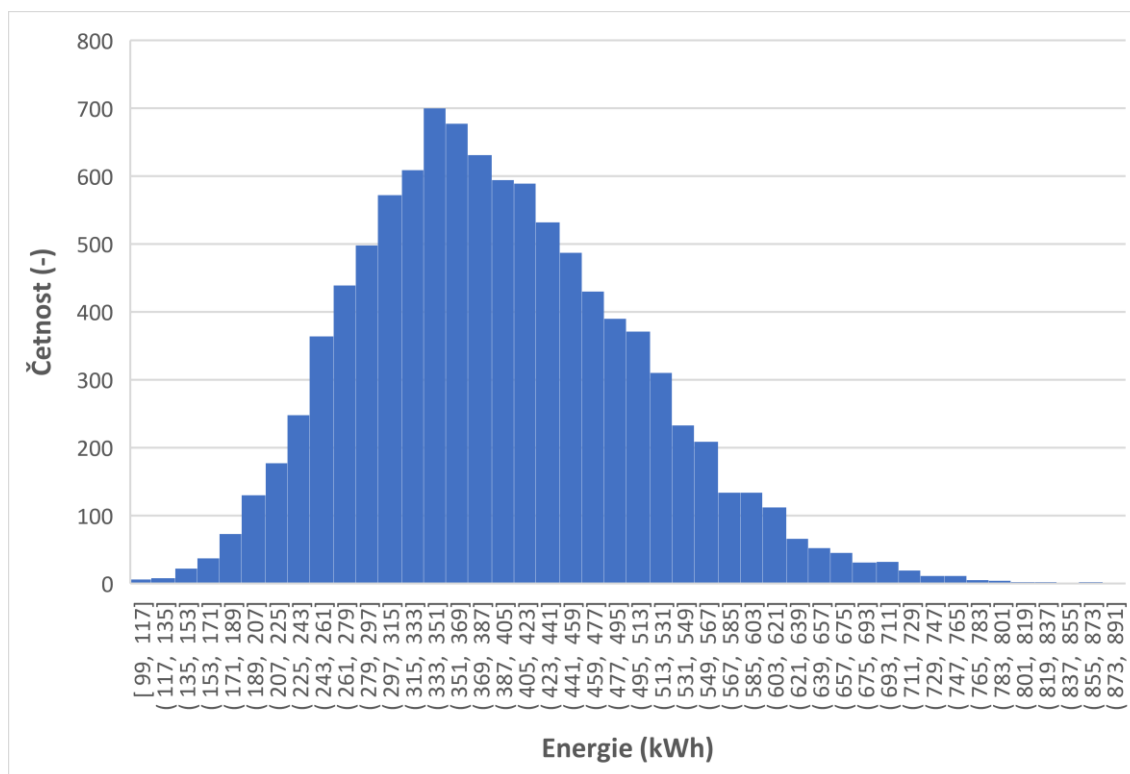
Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

Obr. 25: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční spotřeby brutto



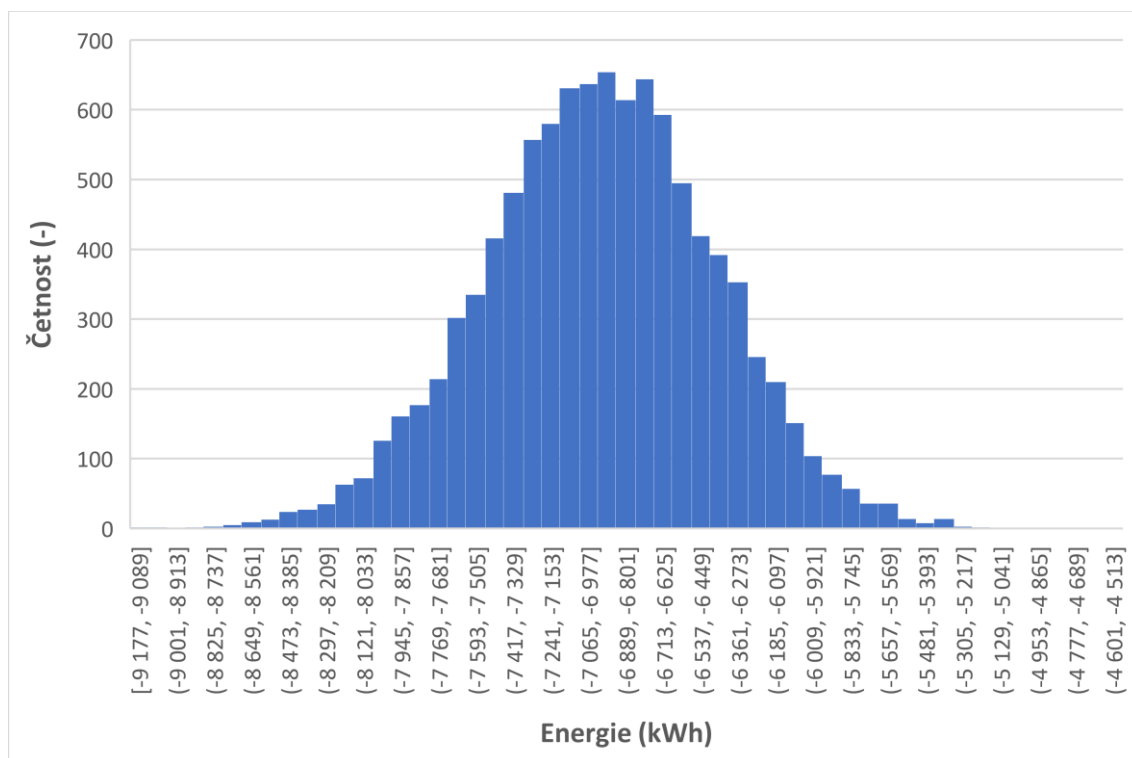
Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

Obr. 26: Hustota pravděpodobnosti očekávaných ročních dodávek do sítě (1. rok)



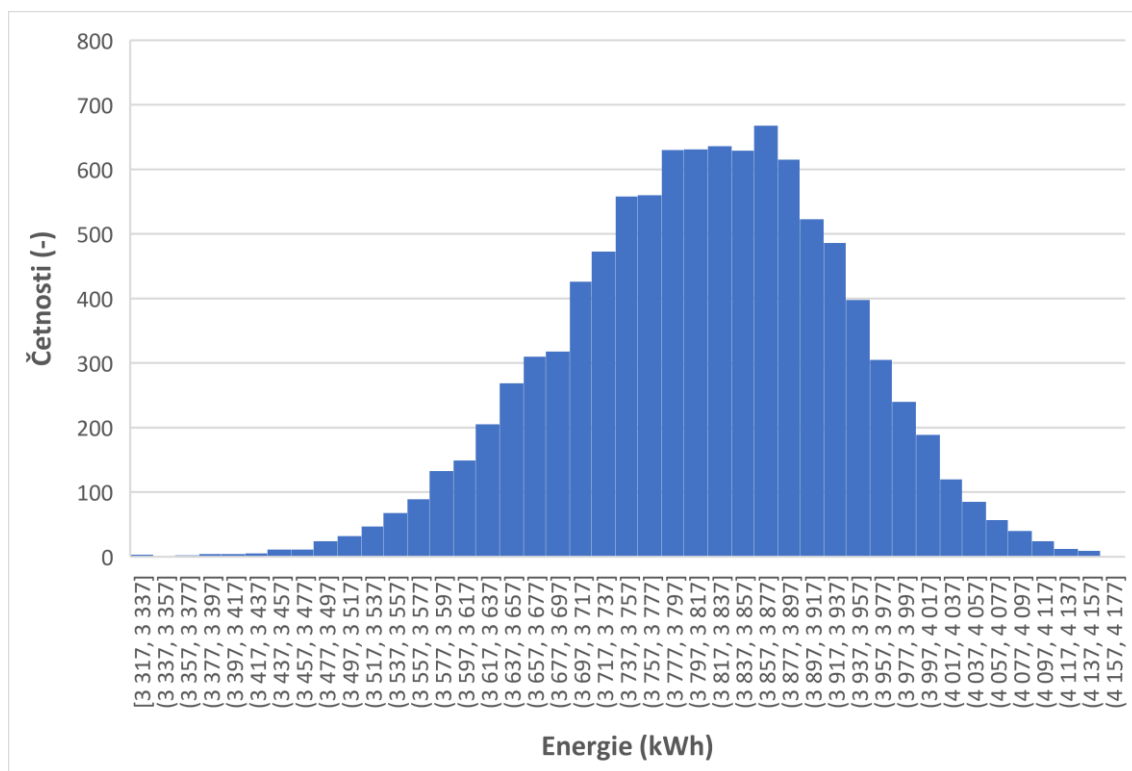
Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

Obr. 27: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční spotřeby netto (1. rok)



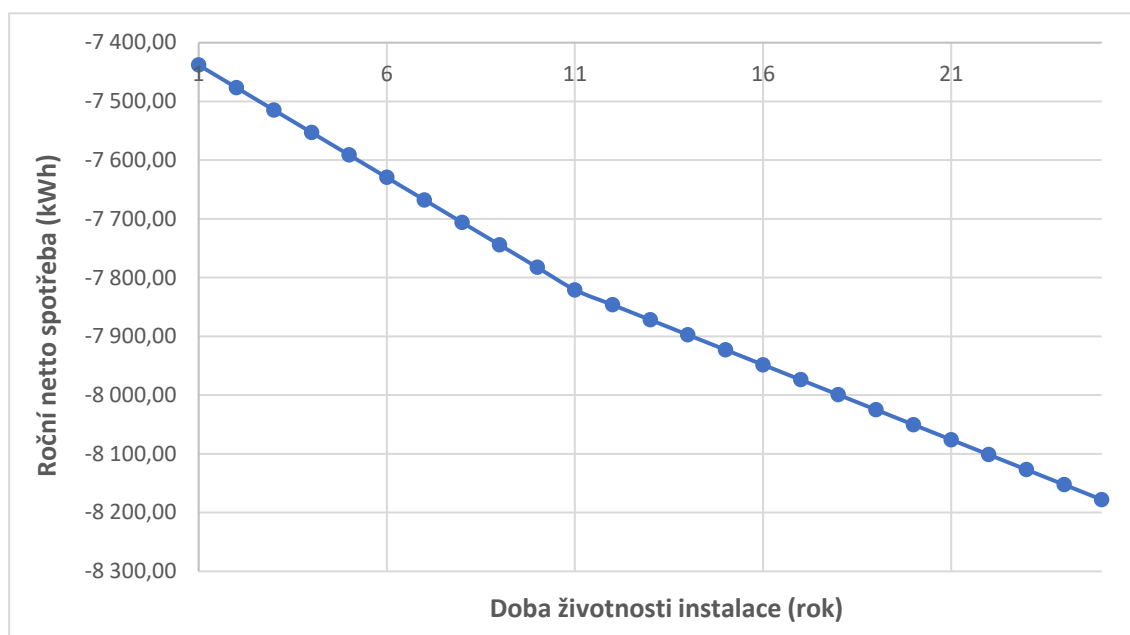
Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

Obr. 28: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční úspory (1. rok)



Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

Obr. 29: Znázornění vlivu poklesu účinnosti fotovoltaických panelů na netto spotřebu v průběhu doby životnosti instalace (1 scénář)



Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

3.2 Výpočet peněžních toků

Celkové roční peněžní toky byly stanoveny z následujícího vztahu (32), který je modifikací vztahu (1) za předpokladů uvedených v kapitole 2.3.4.

$$CF(t) = E_P(t) \cdot c_P(t) + (E_n(t) - E_b(t)) \cdot c_{VT}(t) \quad (32)$$

Kde: E_b ... celkové roční množství spotřebované energie – brutto (MWh),

c_{VT} ... roční cena ve vysokém tarifu (Kč/MWh),

E_P ... celkové roční množství energie dodané do sítě (MWh),

c_P ... roční výše podpory za energii dodanou do sítě fotovoltaickými panely (Kč/MWh),

E_n ... celkové roční množství spotřebované energie se zapojenými fotovoltaickými panely – netto (MWh),

t ... rok životnosti (hodnoceného období),

DOT ... je nevratná investiční dotace (Kč).

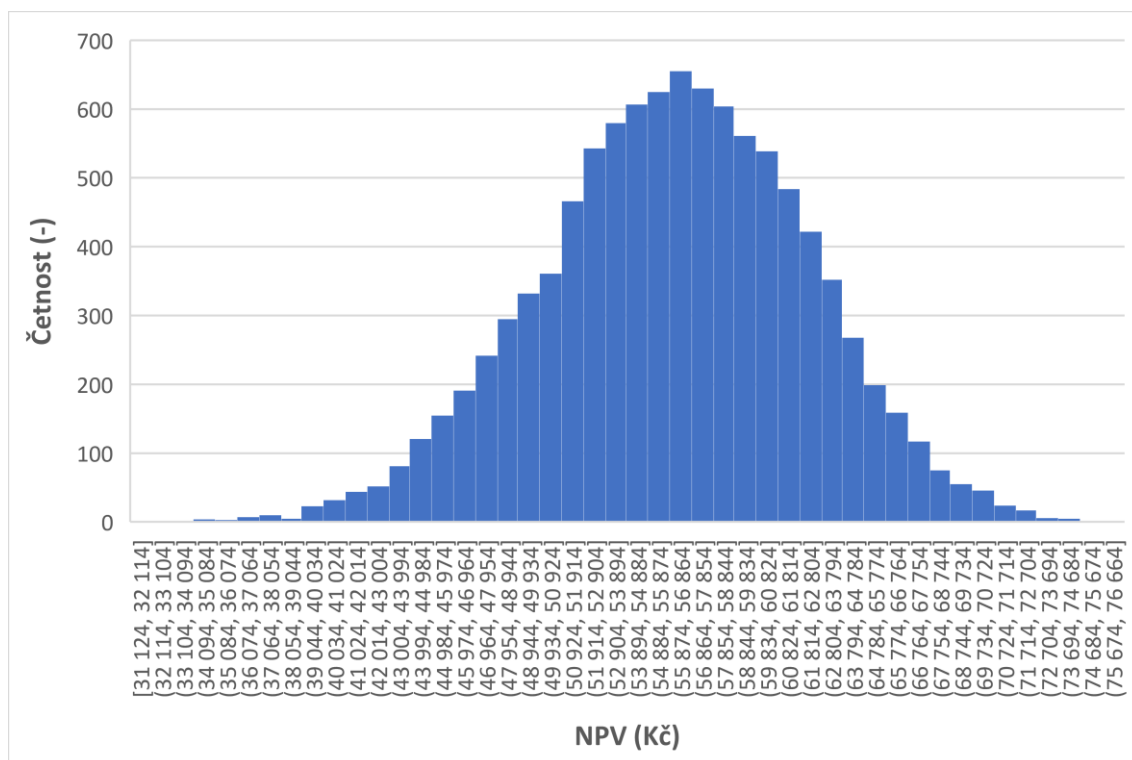
Pozn.: Pro první rok se bude přičítat nevratná investiční dotace DOT .

Tento zjednodušený vztah byl použit v souvislosti s hlavním cílem práce, tedy návrhem postupu ekonomického hodnocení fotovoltaických instalací v rodinných domech, kdy byla vyvíjena snaha o co nejpřesnější kvantifikaci příjmů a nákladů instalací plynoucích z jejich energetických bilancí, nikoli o posuzování různých variant jejich financování. Financování bylo tedy uvažováno v nejjednodušší možné podobě.

3.3 Výpočet NPV

Výpočet *NPV* byl proveden dle vztahu (3). Z Obr. 30 je patrné, že i při zohlednění prémie za riziko je očekávaná hustota pravděpodobnosti *NPV* u všech scénářů kladná. Z toho lze usoudit, že instalace bude rentabilní. Očekávaná hodnota $E(NPV)$ instalace byla vypočtena na **56 059 Kč**.

Obr. 30: Očekávaná hustota pravděpodobnosti *NPV* instalace

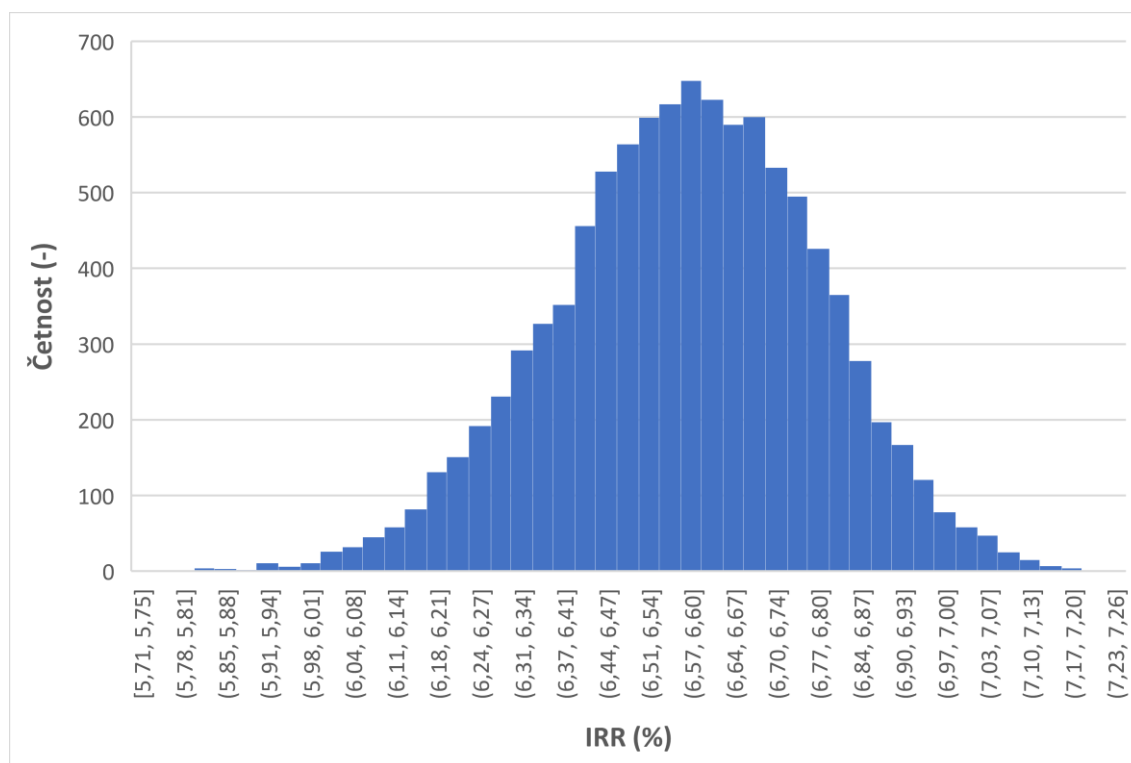


Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

3.4 Výpočet IRR

Výpočet *IRR* byl proveden dle vztahu (4). Na Obr. 31 je znázorněna očekávaná hustota pravděpodobnosti *IRR*. Očekávaná hodnota $E(IRR)$ instalace byla vypočtena na **6,57 %**.

Obr. 31: Očekávaná hustota pravděpodobnosti *IRR* instalace

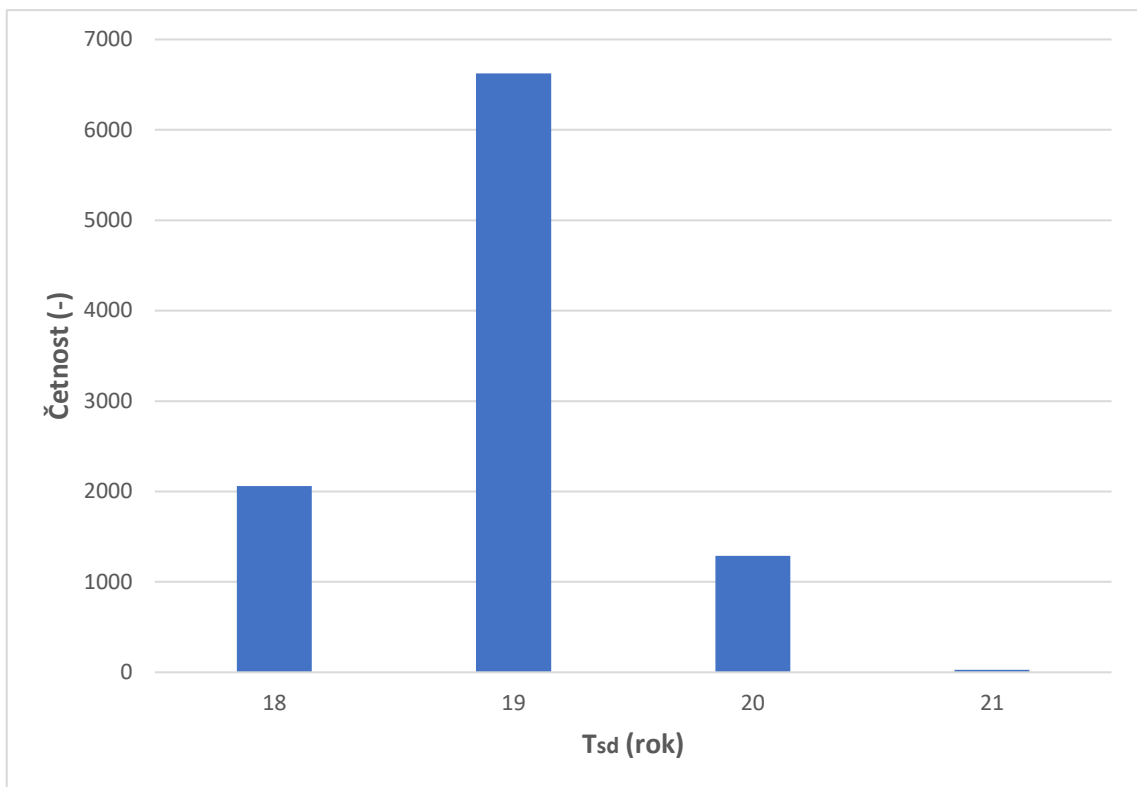


Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

3.5 Výpočet T_{sd}

Výpočet T_{sd} byl proveden dle vztahu (7). Na Obr. 32 je znázorněna očekávaná hustota pravděpodobnosti T_{sd} . Očekávaná hodnota $E(T_{sd})$ instalace byla vypočtena na **18,92 roku**.

Obr. 32: Očekávaná hustota pravděpodobnosti T_{sd} instalace

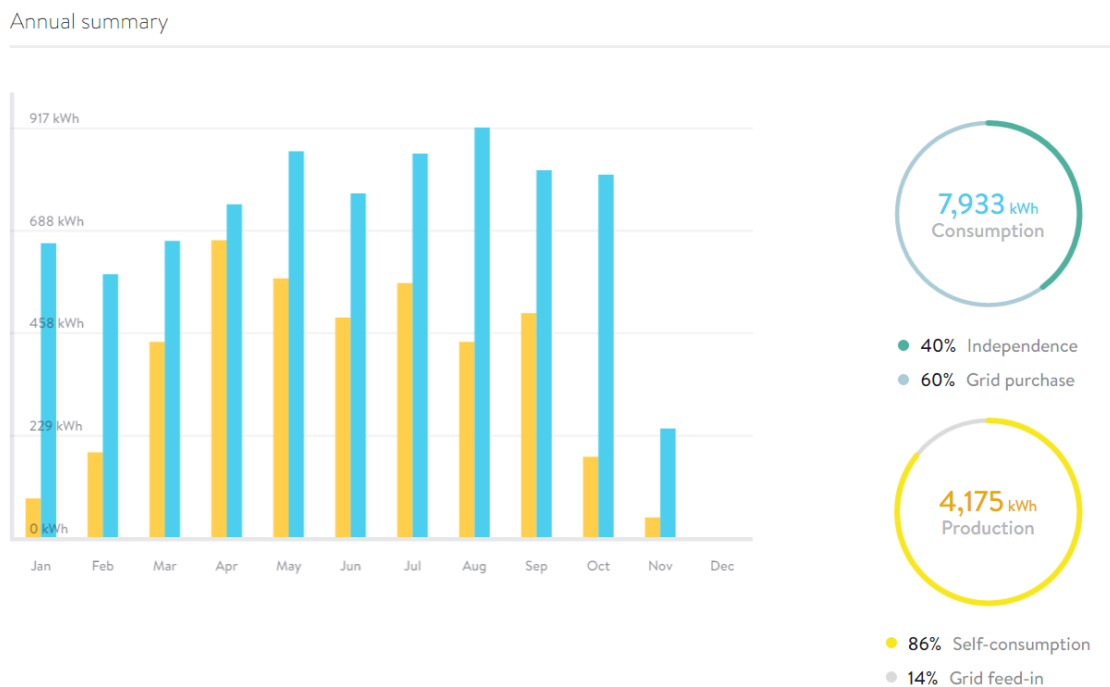


Zdroj: vlastní zpracování s použitím softwaru *MS Excel* na základě dat z toolboxu *Crystal ball*

4 Diskuze výsledků

Z reálné bilance na Obr. 33 je patrné, že v roce 2020 bude dodávka instalace do sítě zhruba 600 kWh, celková výroba fotovoltaických panelů kolem 4 300 kWh a brutto spotřeba kolem 9 000 kWh, což odpovídá vypočteným očekávaným hustotám pravděpodobnosti, uvedeným v kapitole 3.

Obr. 33: Reálná bilance instalace v roce 2020 (k 10. 11. 2020)



Zdroj: Sonnen (2020)

Kvůli nedostupnosti dlouhodobějších dat se však jedná pouze o orientační kontrolu (bilance se může odchýlit kvůli např. delší nepřítomnost residentů v objektu – dovolená).

Větší přesnosti při výpočtu energetické bilance by se dalo obecně docílit analýzou rozsáhlejších souborů dat. Příkladem může být kategorizace spotřeby objektu, např. na pracovní dny a víkendy po jednotlivých měsících kalendářního roku a přesnější vyjádření energie solárního záření dopadajícího na panel v průběhu roku. K dalšímu podstatnému zpřesnění by přispěla znalost spolehlivosti komponent, případně frekvence oprav podobných instalací. Dala by se pak odhadnout hustota pravděpodobnosti očekávané četnosti nutných oprav, popř. výměn komponent instalace, což by zpřesnilo

jak výpočet bilance kvůli měnící se účinnosti a odstávkám, tak výpočet peněžních toků kvůli dodatečným nákladům.

Obecně by se dal také výpočet bilance zpřesnit větším množstvím výpočetních scénářů, případně zkrácením časových intervalů bilancí, například na minuty. V tomto ohledu by bylo navíc efektivní nechat proběhnout výpočet po celou dobu životnosti instalace (nejen první rok) se spojitým snižováním účinnosti panelů. Vzhledem k tomu, že snižující se účinnost panelů je v bilancích uvažována jako roční úbytky vyrobené elektrické energie bez ohledu na akumulaci v baterii (viz Obr. 29), vznikne chyba výpočtu daná rychlejším poklesem skutečné dodávky do sítě během let, než poklesem energetické úspory (křivka na Obr. 29 nebude lineární).

Při návrhu postupu výpočtu byl kladen důraz na „rozumnou“ míru zahrnutí jevů ovlivňujících energetickou bilanci v kontrastu s „nerozumným“ zvyšováním složitosti vlastního výpočtu, díky čemuž bylo zahrnutí některých jevů zjednodušeno nebo zanedbáno. Výpočet byl poté optimalizován pro dosažení co nejkratšího výpočetního času, i přesto byla časová náročnost kolem 100 hodin. Zde je prostor pro další práci na výpočetních optimalizacích, případně volbu jiného softwaru.

Co se týče výpočtu diskontovaných peněžních toků, NPV a T_{sd} , značný vliv má velikost diskontní sazby, resp. určení prémie za riziko. Zvolený způsob určení prémie za riziko je zjednodušený kvůli nedostupnosti dat pro přesnější kvantifikaci, při přesnější kvantifikaci rizik by se mohla očekávaná rentabilita instalace měnit. Podobný vliv na výpočet peněžních toků by mohla mít i lepší predikce vývoje cen elektrické energie během doby životnosti instalace.

Značný vliv na výpočet peněžních toků bude mít také symetričnost odběrů a dodávek, která však bez důkladného fázového měření nelze zohlednit. Mohou tak vznikat situace, kdy je např. celková bilance elektrické energie kladná (energie je dodávána do sítě), avšak zapnutí jednofázového spotřebiče s větším výkonem způsobí odběr ve fázi, na kterou je připojen a díky velkým rozdílům mezi cenou za elektrickou energii odebranou ze sítě a podporou dodávek mohou být v dané situaci i přes kladnou bilanci výdaje vyšší než příjmy.

Závěr

V této práci byl navržen postup ekonomického hodnocení instalací fotovoltaických panelů pro rodinné domy s využitím metody Monte Carlo a následně demonstrativně použit pro hodnocení případové studie.

Pro realizaci tohoto cíle byla nejprve provedena rešerše fotovoltaických panelů, topologií jejich instalací v rodinných domech a klíčových komponent těchto instalací. Díky této rešerši byly identifikovány a odhadnuty stochastické (teplota okolí / fotovoltaického panelu, celková energie dopadajícího solárního záření na panel, spotřeba domu) a deterministické (diskontní sazba, cena elektrické energie) veličiny a další faktory (změna účinnosti fotovoltaických panelů v průběhu životnosti instalace, časovost výroby) ovlivňující energetickou bilanci a peněžní toky v průběhu doby životnosti těchto instalací.

Po následné rešerši obecných způsobů hodnocení energetických projektů byla pro hodnocení instalace vybrána kritéria čisté současné hodnoty, vnitřního výnosového procenta a diskontované doby návratnosti. Zatímco čistá současná hodnota a diskontovaná doba návratnosti umožňuje do hodnocení zahrnout změnu hodnoty peněz v čase (při stanovené diskontní sazbě), vnitřní výnosové procento udává výnosnost instalace pro porovnání s ostatními projekty.

Pro hodnocení instalace v případové studii byl použit software *MS Excel* a do něj instalovatelný toolbox *Crystal ball* od společnosti Oracle. Prostřednictvím *Crystal ball* byly definovány očekávané hustoty pravděpodobnosti stochastických veličin a pro 10 000 scénářů vypočtena roční energetická bilance instalace. Pro tyto scénáře byly následně dopočteny očekávané roční energetické bilance ostatních let životnosti instalace a z nich dopočteny roční peněžní toky a vybraná hodnotící kritéria.

Z výsledků hodnotících kritérií je patrné, že instalace je rentabilní při očekávaných hodnotách $E(NPV) = 56\,059$ Kč a $E(T_{sd}) = 18,92$ roku s očekávanou výnosností $E(IRR) = 6,57$ %. Diskuze významu výsledků, jakož i přesnosti a limitů výpočtu je uvedena v kapitole 4.

Přínosem této práce je návrh potenciálního využití metody Monte Carlo pro hodnocení instalací fotovoltaických panelů v rodinných domech a s tím spojený návrh metodiky

odhadu stochastických a deterministických vstupních veličin. Další optimalizace výpočtu, případně přesnější odhady vstupních veličin mohou být náplní budoucí práce.

Seznam použitých zdrojů

Bedáňová, I. (2015). *Popisné charakteristiky statistických souborů*. Dostupné z <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn1/strednih.htm>

Ceny energie (2020). *D26d: Distribuční sazba, ve které se akumulují peníze*. Dostupné 8. 8. 2020 z <https://www.cenyenergie.cz/d26d/#/promo-ele-mini>

Cihelka, J. (1994). *Solární tepelná technika*. Praha: T. Malina.

Česká společnost pro větrnou energii (2020). *Energetický mix ČR 2010–2019*. Dostupné 12. 8. 2020 z <https://csve.cz/cz/clanky/energeticky-mix-cr/485>

ČEZ (2020). *Ceníky*. Dostupné 18. 8. 2020 z <https://www.cez.cz/cs/podpora/ceniky.html>

ČHMÚ (2020). *Historická data – meteorologie a klimatologie*. Dostupné 5. 9. 2020 z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>

Čížek, B. (2010). *Diskontní sazba (Discount Rate)*. Dostupné 19. 8. 2020 z <http://www.finance-management.cz/080vypisPojmu.php?IdPojPass=116>

ČSÚ (2020). *Míra inflace v ČR v květnu 2020*. Dostupné 31. 7. 2020 z <https://www.kurzy.cz/zpravy/547597-mira-inflace-v-cr-v-kvetnu-2020/>

EH Smith Sustainable Products (2020). *K2 Solar Fastener Systém*. Dostupné 17. 8. 2020 z <http://www.sustainablebuildingmaterials.co.uk/product-details/7451371/k2-solar-fastener-system>

Envi energy Czech (2018). *Hybridní fotovoltaické elektrárny*. Dostupné 15. 8. 2020 z <https://www.envienergyczech.cz/druhy-systemu/hybridni-systemy>

ERÚ (2018). *ERÚ zveřejnil regulované ceny v elektroenergetice a plynárenství pro rok 2019*. Dostupné 28. 8. 2020 z https://www.eru.cz/-/regulovane_ceny_2019

Euro (2018). *Energetický paradox: Vysoké teploty snižují účinnost solárních panelů*. Dostupné 3. 9. 2020 z <https://www.euro.cz/udalosti/energeticky-paradox-vysoke-teploty-snizuji-ucinnost-solarnich-panelu-1415546>

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky (2017). *Přeměna sluneční energie v energii elektrickou*. Dostupné 14. 8. 2020 z <https://www.fzu.cz/aktuality/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>

Guštar, M. (2000). *Generování náhodně proměnných veličin v metodě Monte Carlo*. Dostupné z <https://web.archive.org/web/20050205181708/http://www.sbra-anthill.com/doc/2000a.pdf>

Hospodářské noviny (2019). *ČEZ odstaví nejvíc uhelných elektráren v historii. Bloky o výkonu více než jeden gigawatt nahradí ekologické zdroje*. Dostupné 2. 8. 2020 z <https://byznys.ihned.cz/c1-66542160-cez-odstavi-uhelne-elektrarny-s-vykonem-pres-gigawatt-od-pristiho-roku-je-maji-zacit-nahrazovat-ekologictejsi-zdroje>

Hypindex (2018). *Úrokové sazby nemusí být tak vysoké, jak vypadají*. Dostupné 12. 8. 2020 z <https://www.hypindex.cz/clanky/urokove-sazby-nemusi-byt-vysoke-vypadaji/>

Knápek, J., Starý O., & Vašíček J. (2014). *Zásady hodnocení ekonomické efektivity energetických projektů*. Dostupné 21. 8. 2020 z: <http://efekt.xf.cz/metodikaEFEKT.pdf>

Knihomilka (2013). *Polovodiče*. Dostupné 5. 9. 2020 z <https://knihomilka.webnode.cz/news/polovodice/>

Korous, M., Šerý, M., & Patočka, J. (2000). *Přechod PN*. Dostupné z <http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/SERYM/principy/polovodice/polovodice02.html>

Linville, D. E. (1990). Calculating Chilling Hours and Chill Units from Daily Maximum and Minimum Temperature Observations. *American Society for Horticultural Science*, 25(1), 14–16. Dostupné z <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/25/1/article-p14.xml>

Litschmann, T. & Svoboda, A. (1999). Metodika výpočtu sum hodinových teplot vzduchu z denních teplotních extrémů a jejich využití v ovocnictví. *Vědecké práce ovocnářské*, 16, 77–82. Dostupné z <http://www.amet.cz/denchod.html>

Lukáč, P. (2020). *Povolenky na emise rychle zdražují. Ocelárny i teplárny mají problém*. Dostupné 15. 8. 2020 z <https://archiv.ihned.cz/c1-66790360-povolenky-na-emise-rychle-zdrazuji-ocelarny-i-teplarny-maji-problem>

Matajs, V. (2015). *Jak funguje ostrovní fotovoltaický systém?* Dostupné 31. 7. 2020 z <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-ostrovní-off-grid-fotovoltaický-system/>

Matajs, V. (2018). *Na čem vydělává majitel fotovoltaické elektrárny?* Dostupné z <https://www.solarniexperti.cz/jak-funguje-stresni-fotovoltaicka-elektrarna/>

- Meteogram (2020). *Tabulka s časy východu a západu slunce – 2020 – Prague*. Dostupné 9. 9. 2020 z <https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>
- Murtinger, K., Beranovský J., & Tomeš, M. (2007). *Fotovoltaika – elektřina ze slunce*. Elektřina ze slunce. Brno: Eragroup.
- Nazeleno.cz (2011). *Ztráty a rizika provozu fotovoltaické elektrárny*. Dostupné 21. 8. 2020 z <https://www.nazeleno.cz/energie/fotovoltaika/ztraty-a-rizika-provozu-fotovoltaicke-elektrarny.aspx>
- Nos, F. (2017). *Co všechno obsahuje běžná fotovoltaická elektrárna?* Dostupné 21. 8. 2020 z <https://www.estav.cz/cz/6450.co-vsechno-obsahuje-bezna-fotovoltaicka-elekrarna-jake-potrebujete-komponenty>
- Novotný, R. (2001). *Analýzy vad při zabezpečování spolehlivosti elektronických součástí*. Dostupné 18. 8. 2020 z <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01028/index.html>
- Oracle Corporation (2008). *One-Minute Spotlight*. Dostupné 31. 8. 2020 z <https://www.oracle.com/technetwork/middleware/crystalball/overview/crystal-ball-131398.pdf>
- Salvo, F. et al. (2017) Economic Valuation of Ground Mounted Photovoltaic Systems. *Buildings*, 7(2). Dostupné z <https://www.mdpi.com/2075-5309/7/2/54/pdf>
- Solar Kerberos (2020). *Víte, co je to MPPT?* Dostupné 31. 7. 2020 z <https://www.solar-kerberos.cz/cz/produkt/blog/211-vite-co-je-to-mppt>
- Solarcontrols. (2013). *Základní popis funkce: Účel použití WATTrouteru*. Dostupné 7. 8. 2020 z https://solarcontrols.cz/cz/watrouter_function.html
- SolarWatt (2020). Dostupné 20. 8. 2020 z <https://www.solarwatt.com/>
- Sonnen (2019). *Operating instructions / for operators – sonnenBatterie hybrid 8.1*. Dostupné 17. 8. 2020 z https://www.myenergy.dk/wp-content/uploads/2020/01/Operating-instructions-sonnenBatterie-hybrid-8.13_22286_AU465EN-2.pdf
- Sonnen (2020). *Analysis*. Dostupné 20. 9. 2020 z <https://my.sonnen.de/demo/analysis>
- Škorpík, J. (2009). Sluneční záření jako zdroj energie. *Transformační technologie*. Dostupné z <https://www.transformacni-technologie.cz/02.html#1214>

Tesař, J. & Bartoš, P. (2006). *Metoda Monte Carlo a programovací jazyk MATLAB při přípravě učitelů na pedagogických fakultách*. Dostupné z http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/MATLAB06/prispevky/tesar_bartos/tesar_bartos.pdf

Tzb-info (2018). *Měnit nebo neměnit FV panely?* Dostupné 29. 7. 2020 z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/18237-menit-nebo-nemenit-fv-panely>

Vaněček, M. (2017). *Přeměna sluneční energie v energii elektrickou*. Dostupné z <https://www.fzu.cz/aktuality/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>

Vanová křivka (2016). In *Wikipedia*. Dostupné z https://cs.wikipedia.org/wiki/Vanov%C3%A1_k%C5%99ivka#/media/Soubor:Bathtub_curve_cs.svg

Vobořil, D. (2016). *Fotovoltaické elektrárny – princip funkce a součásti, elektrárny v ČR*. Dostupné 21. 8. 2020 z <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>

Seznam tabulek

Tab. 1: Vypočtená velikost čísla π v závislosti na počtu náhodně generovaných čísel ..35	
Tab. 2: Velikost součinitele znečištění Z39	
Tab. 3: Celková jednotková cena elektřiny od skupiny ČEZ v distribuční sazbě $D26d$ pro produkt „Elektřina na 3 roky“53	
Tab. 4: Celková jednotková cena elektřiny od skupiny ČEZ v distribuční sazbě $D26d$ pro produkt „Elektřina pro soláry“53	
Tab. 5: Celková odhadnutá cena v distribuční sazbě $D26d$ za dobu životnosti instalace57	
Tab. 6: Velikost podpory za dodávku elektrické energie do sítě pro produkt „Elektřina pro soláry“57	
Tab. 7: Celková odhadnutá výkupní cena v $D26d$ za dobu životnosti instalace58	
Tab. 8: Známá a odhadovaná nominální diskontní sazba59	
Tab. 9: Známá a odhadovaná meziroční míra inflace60	
Tab. 10: Procentuální rozsahy a průměry dosazovaných rizik.....61	
Tab. 11: Reálná dopočtená diskontní sazba pro jednotlivé roky životnosti instalace.....62	
Tab. 12: Základní informace o stanici.....63	
Tab. 13: Dlouhodobé průměry63	
Tab. 14: Rekordní hodnoty vybraných meteorologických prvků63	
Tab. 15: Vybrané technické specifikace fotovoltaických panelů Solarwatt ECO 60M..64	
Tab. 16: Vybrané technické specifikace střídače a baterie SONNEN Hybrid 8.13/5.....65	
Tab. 17: Vybrané technické informace upevňovacího systému K2.....66	

Seznam obrázků

Obr. 1: PN přechod zapojený v propustném (nahore) a závěrném směru (dole).....	14
Obr. 2: Sluneční spektrum po průchodu atmosférou pod úhlem 48°	15
Obr. 3: Schématické znázornění ongrid systému.....	16
Obr. 4: Schématické znázornění offgrid systému	17
Obr. 5: Schématické znázornění hybridního systému	18
Obr. 6: Optimální výkon fotovoltaického panelu při různých intenzitách solárního záření.....	19
Obr. 7: Hot spot zachycený termokamerou	22
Obr 8: Třetinová vada zachycená termo kamerou	23
Obr. 9: Grafické znázornění příkladu pro výpočet čísla π	33
Obr. 10: Grafické znázornění výsledků pro výpočet čísla π	34
Obr. 11: Změna délky solárního dne během roku	41
Obr. 12: Odhad očekávané hustoty pravděpodobnosti přímého slunečního svitu v hodinách pro 1. 1	42
Obr. 13: Celková vyrobená energie fotovoltaických elektráren v ČR v roce 2017.....	43
Obr. 14: Orientační pokles účinnosti fotovoltaického panelu v závislosti na teplotě.....	44
Obr. 15: Teplota okolí a teplota fotovoltaických panelů na střeše Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v roce 2017	45
Obr. 16: Odhad hustoty pravděpodobnosti maximální denní teploty ve °C pro 1. 1.....	47
Obr. 17: Odhad hustoty pravděpodobnosti minimální denní teploty ve °C pro 1. 1	47
Obr. 18: Střední hodinové hodnoty denní spotřeby během víkendů	49
Obr. 19: Střední hodinové hodnoty denní spotřeby během pracovních dnů	49
Obr. 20: Znázornění vanové křivky spolehlivosti a jejích složek.....	50
Obr. 21: Složení koncové ceny elektrické energie v roce 2019.....	54

Obr. 22: Známa a odhadovaná koncová cena elektrické energie ve vysokém tarifu <i>D26d</i> v produktu „Elektřina na 3 roky“	55
Obr. 23: Známa a odhadovaná koncová cena elektrické energie ve vysokém tarifu <i>D26d</i> v produktu „Elektřina pro soláry“	56
Obr. 24: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční výroby fotovoltaických panelů (1. rok).....	69
Obr. 25: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční spotřeby brutto	70
Obr. 26: Hustota pravděpodobnosti očekávaných ročních dodávek do sítě (1. rok)	70
Obr. 27: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční spotřeby netto (1. rok).....	71
Obr. 28: Hustota pravděpodobnosti očekávané roční úspory (1. rok)	71
Obr. 29: Znázornění vlivu poklesu účinnosti fotovoltaických panelů na netto spotřebu v průběhu doby životnosti instalace (1 scénář)	72
Obr. 30: Očekávaná hustota pravděpodobnosti <i>NPV</i> instalace	73
Obr. 31: Očekávaná hustota pravděpodobnosti <i>IRR</i> instalace	74
Obr. 32: Očekávaná hustota pravděpodobnosti <i>T_{sd}</i> instalace	75
Obr. 33: Reálná bilance instalace v roce 2020 (k 10. 11. 2020)	76

Seznam symbolů a zkratek

a ... azimut slunce

A ... solární konstanta pro výpočet denní teploty

a_s ... azimutový úhel normály osluněné plochy

$a(T_i)$... roční anuita

α ... úhel sklonu osluněné plochy od vodorovné roviny

B ... solární konstanta pro výpočet denní teploty

c_p ... roční výše podpory za energii dodanou do sítě fotovoltaickými panely

c_{VT} ... roční cena ve vysokém tarifu

CF ... peněžní tok

$\check{C}EZ$... České elektrárenské závody

$\check{C}HMÚ$... Český hydrometeorologický ústav

d_z ... sazba daně z příjmů

D_z ... daň z příjmu investora

DOT ... nevratná investiční dotace

DPH ... daň z přidané hodnoty

$D26d$... označení distribuční sazby

E ... očekávaná (střední) hodnota

E_b ... celkové roční množství spotřebované energie – brutto

E_c ... celkové množství vyrobené energie

E_n ... celkové roční množství spotřebované energie se zapojenými fotovoltaickými panely – netto

E_p ... celkové roční množství energie dodané do sítě

$ERÚ$... Energetický regulační úřad

ε ... součinitel závislosti výšky slunce nad obzorem a nadmořské výšce daného místa

h ... výška slunce nad obzorem

H ... nadmořská výška

i ... reálná diskontní sazba

i_r ... skutečná, resp. očekávaná míra inflace

i_n ... nominální diskontní sazba

i_{rf} ... bezriziková diskontní sazba

I ... intenzita dopadajícího solárního záření

I_D ... intenzita difuzního solárního záření

I_p ... intenzita přímého slunečního záření

I_0 ... solární konstanta

I_{Dh} ... intenzita difuzního záření dopadající na vodorovnou plochu

I_{ph} ... intenzita přímého solárního záření dopadajícího na vodorovnou plochu

IN ... investiční výdaje (na počátku hodnoceného období)

IRR ... Internal Rate of Return – vnitřní výnosové procento

$Li-ion$... lithium-iontové baterie

$LiFePO_4$... lithium-železo-fosfátová baterie

$MPPT$... Maximum Power Point Tracker

MS ... Microsoft

N ... vrstva polovodiče s celkovou negativní polaritou

N_i ... investiční výdaje (včetně úroků v době výstavby)

N_o ... daňové odpisy

N_p ... provozní výdaje (náklady opravy, údržbu apod.)

N_u ... úroky z úvěru (nákladové úroky uvedení do provozu)

$N_{\dot{u}}$... účetní náklady

N_{pn} ... provozní náklady

N_{pr} ... roční provozní náklady (stálé i proměnné)

$N_i(T)$... investiční náklady projektu, vynaložené v jednotlivých letech
 $N_p(T)$... provozní náklady projektu v jednotlivých letech životnosti
 N_{odp} ... roční odpisy stanovené jako podíl investičních výdajů a doby životnosti
 $n_{vl\emptyset}$... průměrné vlastní (měrné) náklady
 $N_{vr\emptyset}$... měrné (výrobní) náklady – „levelized cost“
 N_{kruh} ... počet bodů nacházejících se uvnitř kruhu
 N_{celkem} ... počet vygenerovaných bodů celkem
 NT ... nízký tarif
 NaS ... sodíko-sírové baterie
 NPV ... Net Present Value – čistá současná hodnota
 O, P ... odpočitatelné položky, popř. úprava o daňové ztráty minulých let, připočitatelné položky k základu daně
 P ... vrstva polovodiče s celkovou pozitivní polaritou
 π ... Ludolfovo číslo
 PN ... místo styku polovodičových vrstev N a P
 PR ... prémie za riziko
 Q ... celkové množství vyrobeného tepla
 $Q_{D\ den}$... celková energie dopadajícího difuzního solárního záření během dne
 $Q_{S\ den}$... celková skutečná energie dopadajícího solárního záření během dne
 $Q_{S\ den\ teor}$... celková teoretická energie dopadajícího solárního záření během dne
 r ... albedo
 r_k ... poloměr kruhu
 R_{ass} ... riziko související s pojištěním instalace
 R_{end} ... endogenní riziko související s technickými parametry instalace
 R_{fin} ... finanční riziko související se specifickou investicí
 R_{cont} ... riziko kontextu související s geografickým umístěním instalace

R_{gest} ... riziko související se správou instalace
 R_{sist} ... systémové riziko související s domácím stavem ekonomiky
 S_{pl} ... úmor úvěru v době jeho splácení
 S_{kruh} ... obsah kruhu
 $S_{ctverec}$... obsah čtverce
 t ... rok životnosti (hodnoceného období)
 T_i ... rok během životnosti projektu
 T_s ... prostá doba návratnosti
 $T_{\check{z}}$... doba životnosti projektu
 T_{sd} ... diskontovaná doba návratnosti
 T_{ti} ... teplota vzduchu v i -tou hodinu
 T_{max} ... maximální teplota daného dne
 T_{min} ... minimální teplota daného dne
 τ ... skutečná doba přímého slunečního svitu
 τ_i ... denní hodina
 τ_1 ... čas východu slunce
 τ_2 ... čas západu slunce
 τ_{teor} ... teoretická doba přímého slunečního svitu
 U ... investiční úvěr
 V ... příjmy (tržby, úspory) plynoucí z realizace hodnocené investice
 VT ... vysoký tarif
 VRF ... vanadové redoxní průtočné baterie
 Z ... součinitel znečištění atmosféry
 $(1 + i)^{-t}$... odúročitel při diskontní (úrokové) sazbě i

Seznam příloh

Příloha A: Výchozí a odhadnutá data, výpočet případové studie v *MS Excel* na přiloženém *CD*

Abstrakt

Vinš, M. (2020). *Využití simulace Monte Carlo při hodnocení projektu* (Diplomová práce), Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta ekonomická, Česko.

Klíčová slova: Cena elektrické energie, Crystal ball, Diskontní sazba, Ekonomické hodnocení projektu, Fotovoltaické panely, Monte Carlo, Odhad, Okolní teplota, Rodinný dům, Solární záření, Spotřeba domu.

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem postupu ekonomického hodnocení instalací fotovoltaických panelů v rodinných domech s využitím metody Monte Carlo. Obecně popisuje fotovoltaické panely a jejich instalace v rodinných domech, ekonomický postup pro hodnocení energetických projektů a jejich provozu a metodu Monte Carlo. Identifikuje a následně odhaduje vstupní stochastické a deterministické veličiny, jakož i další dominantní faktory, které mají na ekonomické hodnocení vliv, a následně navržený postup aplikuje na ekonomickém hodnocení případové studie.

Abstract

Vinš, M. (2020). *Use of Monte Carlo Simulation in Project Evaluation* (Master's Thesis). University of West Bohemia, Faculty of Economics, Czech Republic.

Keywords: Electricity Price, Crystal Ball, Discount Rate, Economic Evaluation of Project, Photovoltaic Panels, Monte Carlo, Estimate, Ambient Temperature, Household, Solar Radiation, House Consumption.

The master thesis deals with the design of the procedure of economic evaluation of photovoltaic panel installations in households using the Monte Carlo method. It generally describes photovoltaic panels and their installations in households, the economic procedure for the evaluation of energy projects and their operation, and the Monte Carlo method. It identifies and then estimates the input stochastic and deterministic quantities, as well as other dominant factors that affect the economic evaluation and applies the subsequently proposed procedure to the economic evaluation of the case study.