



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Ing. Ján Poničan

Autoreferát dizertačnej práce

**Simulačný model využívania fotovoltaickej elektrárne
pre domácnosti**

na získanie akademického titulu
„d o k t o r“
(„philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: elektroenergetika
v študijnom odbore: elektrotechnika
forma štúdia: denná

Bratislava, jún 2022

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia Ústave elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky Fakulty elektrotechniky a informatiky Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Predkladateľ: Ing. Ján Poničan

Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ: prof. Ing. František Janíček, PhD.

Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti: Ing. Jozef Holjenčík, PhD.

Ústav elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Fakulta elektrotechnická
České vysoké učení technické
Technická 2, 166 27 Praha 6

Autoreferát bol rozoslaný dňa: 27.6.2022

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať: 11.8.2022 o 11:00 hod.
na STU FEI v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava 1.

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec
dekan STU FEI v Bratislave

Obsah

Obsah.....	3
Zoznam použitých skratiek	4
Úvod	5
Ciele dizertačnej práce	6
1. Štruktúra ceny elektriny s tarifného pohľadu.....	6
1.1 Koncová cena elektriny.....	6
1.2 Silová zložka	7
1.3 Distribúcia elektriny a ostatné regulované poplatky.....	9
2 Matematický model simulácie využívania fotovoltaickej elektrárne	10
2.1 Tvorba výpočtového modelu.....	10
2.2 Porovnanie kvality vstupných údajov o žiarení	13
3 Simulačná platforma možností prevádzky fotovoltaickej elektrárne.....	14
4 Ekonomické ukazovatele využívania fotovoltaickej elektrárne	15
4.1 Vplyv fixnej zložky na ziskovosť rezidenčných fotovoltaickej elektrárne na Slovensku	15
4.2 Finančný tok fotovoltaickej elektrárne.....	17
Záver	18
Vedecký a praktický prínos práce	18
Summary.....	19
Literatúra	20
Vybrané publikácie autora.....	23

Zoznam použitých skratiek

OZE	- obnoviteľný zdroj energie
ÚRSO	- Úrad pre reguláciu sieťových odvetví
IMS	- Inteligentný merací systém (v zmysle vyhlášky typ meradla elektriny)
FV	- fotovoltika, fotovoltický
FVE	- fotovoltická elektráreň
DS	- distribučná sústava/sieť
kW	- kilowatt (fyz. jednotka príkonu/výkonu)
kWh	- kilowatthodina (fyz. jednotka energie)
ZSD	- Západoslovenská distribučná, a.s., regionálny prevádzkovateľ distribučnej siete
SSD	- Stredoslovenská distribučná, a.s., regionálny prevádzkovateľ distribučnej siete
VSD	- Východoslovenská distribučná a.s., regionálny prevádzkovateľ distribučnej siete
ZSE	- Západoslovenská energetika, a.s., dodávateľ energie
SSE	- Stredoslovenská energetika, a.s., dodávateľ energie
VSE	- Východoslovenská energetika, a.s., dodávateľ energie
SPP	- Slovenský plynárenský priemysel, a.s., dodávateľ energie
TPS	- tarifa za prevádzkovanie systému
TSS	- tarifa za systémové služby
NJF	- národný jadrový fond
m.j.	- merná jednotka
IEA	- Medzinárodná agentúra pre energetiku (angl. International Energy Agency)
TDO	- typový diagram odberu (metóda výpočtu rozloženia spotreby elektriny v čase pre skupinu odberateľov)
MRK	- maximálna rezervovaná kapacita (vzťahovaná na ampérickú hodnotu hlavného ističa v A, prípadne na výkon v kW)
PDS	- prevádzkovateľ distribučnej sústavy / siete

Úvod

Výroba energie z obnoviteľných zdrojov je v súčasnej dobe vysoko aktuálnou témou, diskutujúcou na najvyšších politických úrovniach. Nové smernice Európskej komisie jasne ukazujú, akým smerom sa bude energetický sektor uberať. Ministerstvo hospodárstva SR si stanovuje za cieľ vo svojom Národnom energetickom klimatickom pláne navýšenie podielu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) na celkovej spotrebe energie SR na 19,2 % [1] v horizonte 2020-2030.

Jedným z obnoviteľných zdrojov energie, ktorého potenciál je aj na Slovensku významný, je solárna energia. Priama premena energie Slnka na elektrickú energiu fotovoltickým javom je technológia, ktorá je v súčasnosti veľmi dobre zvládnutá a aj vo svete využívaná v globálnom meradle. Fotovoltika sa vďaka jednoduchej modulácii využíva v širokej škále výkonov – od miniatúrneho FV článku, napájajúceho kalkulačku, cez niekoľko panelovú FV inštaláciu na chate alebo rodinnom dome, až po veľké elektrárne, s výkonom stoviek megawattov (MW) a pozostávajúce z tisícov FV panelov, pracujúce do prenosovej sústavy. Na Slovensku nastal v rokoch 2009-2012 významný rozvoj FV inštalácií. Jednalo sa hlavne o väčšie systémy do inštalovaného výkonu 1 MW, pracujúce do distribučnej sústavy. Veľký potenciál má taktiež aj sektor domácností, ktorý je podrobne popísaný v tejto práci. Domácnosti môžu taktiež pomôcť v navyšovaní podielu výroby OZE zo slnečnej energie, pokiaľ sú podmienky pre výstavbu nastavené správne a problematika prevádzky je jasne vysvetlená.

Cieľom tejto práce je v úvode analyzovať štruktúru ceny elektriny, jej zložky a stručne opísať spôsoby prevádzky fotovoltických elektrární. Následne vytvoriť taký matematicko-ekonomický simulačný model, pomocou ktorého bude možné odpovedať na vyššie spomenutú otázku, týkajúcu sa ekonomickej analýzy fotovoltickej inštalácie pre domácnosti. Niektorá skupina laickej verejnosti si myslí, že počas celkového životného cyklu FV panelu – od výroby, prevádzky a recyklácie sa spotrebuje viac energie, ako sa vyrobí počas celej doby jeho životnosti. Veľkou neznámou je aj ekonomika takéhoto systému. Finančná investícia do fotovoltickej elektrárne (FVE), prevádzkové náklady a zisky plynúce z jej využívania, závisia od viacerých premenných, a preto je potrebné posúdiť každú inštaláciu samostatne. Nie je správne formulovať všeobecné tvrdenie o ekonomickej návratnosti FV elektrárne, pretože okrem použitej technológie prvkov tvoriacich FV elektrárne, vstupuje do ekonomickej analýzy mnoho ďalších faktorov. Patrí medzi ne napr. diagram odberu domácnosti, geografická lokalita vzhľadom na dostupnosť slnečného žiarenia, geografická lokalita vzhľadom na prevádzkovateľa distribučnej sústavy, aktuálna uplatnená tarifná sadzba pre odberateľa, služby dodávateľa elektriny a v neposlednom rade aj ochota majiteľa zmeniť svoje návyky pri využívaní produkovanej elektriny svojou FV elektrárnou.

Ciele dizertačnej práce

Dizertačná práca sa zaoberá riešením nasledujúcich téz, ktoré budú stručne popísané nižšie:

1. Analyzujte štruktúru ceny elektriny pre domácnosti v podmienkach regulovaného prostredia zo zložkového aj z tarifného pohľadu pre účely definovania vstupných parametrov simulačného modelu.
2. Vytvorte matematický model využívania fotovoltaickej elektrárne pre vybrané lokality v Slovenskej republike pri zohľadnení dostupnosti a kvality vstupných hodnôt slnečného žiarenia a reálne nameraných údajov z vybraných lokalít.
3. Vytvorte funkčnú simulačnú platformu pre modelovanie využívania fotovoltaických elektrární do 50 kW pre posudzované spôsoby prevádzky fotovoltaickej elektrárne prosumerom.
4. Stanovte ekonomické ukazovatele a dobu návratnosti investície pre vybrané lokality, pričom zohľadnite aj príslušný tarifný systém.

1. Štruktúra ceny elektriny s tarifného pohľadu

Kvôli presnejšiemu hodnoteniu ekonomickej analýzy fotovoltaickej elektrárne pre domácnosti, je nevyhnutné sa cenou elektriny podrobne zaoberať. Pokiaľ sa potenciálny investor – domácnosť rozhodne investovať do výstavby fotovoltaickej elektrárne, napríklad na strechu svojho rodinného domu, tak ho jednoznačne zaujíma, koľko ušetrí na elektrine, ak bude spotrebovávať elektrinu, ktorú mu fotovoltaická elektráreň vyrobí. V súčasnej dobe je sektor domácností obmedzený maximálnou možnou veľkosťou FV elektrárne na maximálny inštalovaný výkon 10 kW. Toto obmedzenie vyplýva zo Zákona o energetike č. 251/2012, kde je takéto obmedzenie je dané kategóriou malý zdroj do 10 kW [2].

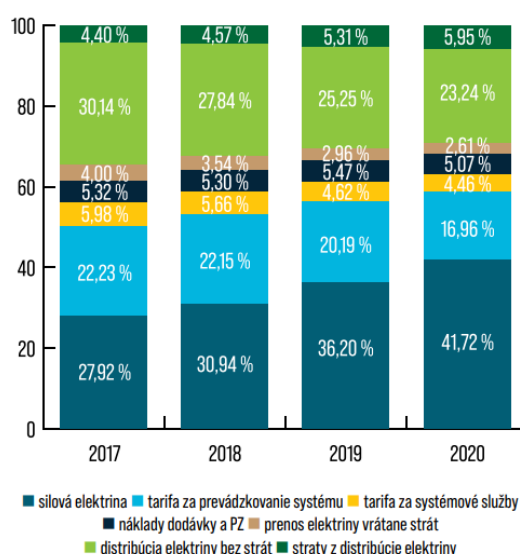
1.1 Koncová cena elektriny

Koncová (integrovaná) cena elektriny je celková cena za elektrinu, ktorú odberateľ platí. Je určovaná Úradom pre reguláciu sieťových odvetví a skladá sa z viacerých dielčích položiek. Úrad cenu určuje samostatne za dodávku elektriny, za prístup do distribučnej sústavy a za distribúciu elektriny [3]. Takéto delenie vyplýva zo Zákona o energetike. Zákon definuje povinnosť dodávateľa elektriny úplne informovať odberateľa elektriny v domácnosti o skladbe jednotlivých zložiek ceny za dodávku elektriny vo vyúčtovacej faktúre.

Na Obr. 1 nižšie je znázornená štruktúra koncovej ceny elektriny pre domácnosti v rokoch 2017 – 2020 dostupná z výročnej správy ÚRSO [3]. Je možné vidieť značný medziročný nárast silovej zložky koncovej ceny elektriny pre odberateľov v domácnosti v tomto období. Presný pomer cien jednotlivých zložiek pre konkrétnu domácnosť však významne súvisí s tým, aký typ tarifnej sadzby

má domácnosť priznaný, pretože mesačný poplatok za prístup do distribučnej sústavy sa v rámci tarifných skupín výrazne odlišuje. Cena za dodávku elektriny – teda silová zložka koncovej ceny elektriny, tvorila v roku 2020 približne 42 % z celkovej platby za elektrinu pre domácnosti [3].

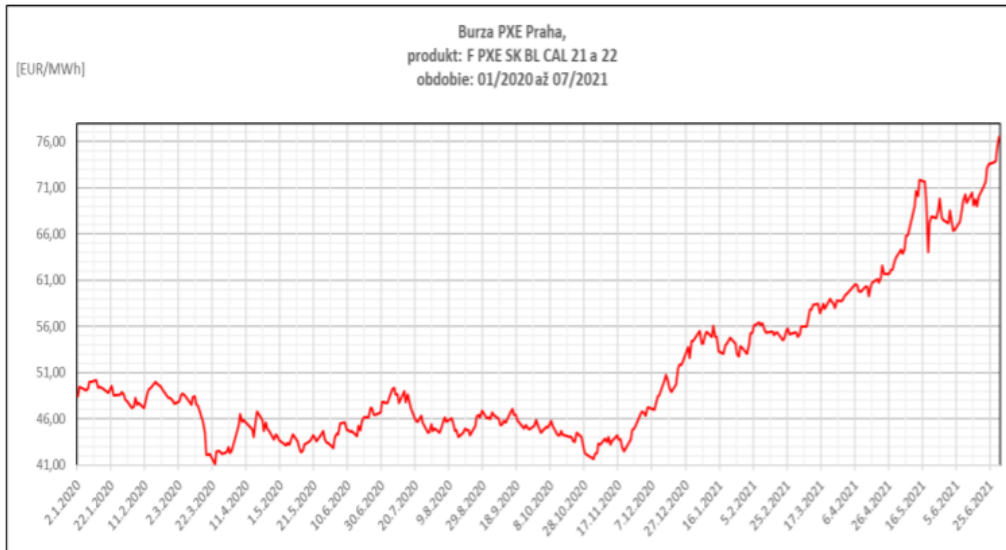
Vzhľadom na súčasnú situáciu na trhu s elektrinou, je možné očakávať, že tento trend bude pre aktuálnejšie obdobie (roky 2021 a 2022) ešte intenzívnejší. V čase písania tejto práce však ešte neboli k dispozícii výročné správy pre aktuálnejšie obdobie. Priemerný medziročný nárast silovej zložky koncovej ceny elektriny pre odberateľov v domácnosti bol v rokoch 2017 – 2020 približne 14 %.



Obr. 1 Štruktúra koncovej ceny elektriny pre domácnosti v rokoch 2017 – 2020 [3]

1.2 Silová zložka

Cena silovej elektriny sa odvíja od reálnych nákladov zariadenia na výrobu elektriny, t.j. investičných nákladov, prevádzkových nákladov a zisku výrobcu elektriny. So silovou elektrinou sa obchoduje na burze ako s inými komoditami, a tak sa jej cena neustále mení. Na Slovensku sa silová elektrina nakupuje alebo predáva na Pražskej burze, kde ju dodávateľia nakupujú pre svoju bilančnú skupinu odberateľov. Silovú elektrinu nakupujú vo forme rôznych „produktov“, ktoré v sebe zahŕňajú charakter správania sa odberateľov. Z toho dôvodu je cena silovej elektriny v rámci vysokej, resp. nízkej tarifnej sadzby závislá aj od samotného typu tarify (pre domácnosti napr. D1, D2, D3, atď.). Na Obr. je znázornený vývoj priemerných (aritmetický priemer) denných cien elektriny na burze (produkt F PXE SK BL Cal-t), v sledovanom období – od začiatku roka 2020 až do polovice roka 2021. Z vývoja tejto ceny Úrad pre reguláciu sieťových odvetví (ÚRSO) v zmysle § 28 ods. 3, § 32 ods. 1 a § 35 ods. 1 vyhlášky č. 018/2017 Z. z. je pre cenovú reguláciu dodávky elektriny na rok 2022 podstatná úroveň aritmetického priemeru denných cien F PXE SK BL Cal-22 za obdobie od 1. januára roku 2021 do 30. júna roku 2021. Priemerná cena silovej elektriny bola v sledovanom období na úrovni 61,21 €.MWh⁻¹ [4].



Obr. 2 Vývoj priemerných denných cien elektriny na Pražskej burze (produkt F PXE SK BL Cal-t) [4]

Dodávka elektriny (uvádzané aj ako „dodávka silovej elektriny“) reprezentuje tú časť z koncovej ceny pre odberateľa, s ktorou môžu alternatívni dodávateľia elektriny pohybovať v rámci dovolených hraníc a navzájom si tak konkurovať na trhu pre domácnosti a malé podniky. V súčasnej dobe ÚRSO schvaľuje jej maximálnu cenu. Táto položka obsahuje ďalšie dielčie zložky – fixnú a variabilnú. ÚRSO nastavuje maximálnu výšku tejto ceny, pričom alternatívni dodávateľia môžu medzi sebou konkurovať a ponúknuť nižšiu cenu. Takáto regulácia sa však, ako už bolo spomenuté, týka len odberateľov v domácnosti a malých podnikov so spotrebou do 30 MWh. Ide o variabilnú zložku ceny, nakoľko jej výška priamo súvisí s množstvom odobranej elektriny odberateľom. Táto cena môže byť uvádzaná ako jednotarifná alebo dvojtarifná. Maximálna cena za dodávku elektriny, ktorú stanovuje ÚRSO, je vypočítaná podľa vyhlášky 18/2017 Z. z. §32¹, kde je vysvetlený postup výpočtu. Vo všeobecnosti je možné v zmysle vyhlášky definovať parametre, vstupujúce do výpočtu cenovej regulácie maximálnej ceny za elektrinu pre domácnosti podľa vzťahu (1) [5].

$$CE_{(TP)} = K_{DI(TP)} * \left[CE_{PXE,t} * \left(1 + \frac{k_t}{100} \right) + O_t \right] + PZ_t \quad (1)$$

kde $CE_{(TP)}$ je cena za elektrinu (variabilná časť), závislá od tarifného pásma, v $\text{€} \cdot \text{MWh}^{-1}$,
 $K_{DI(TP)}$ – koeficient odberu elektriny, závislý od tarifného pásma,
 $CE_{PXE,t}$ – aritmetický priemer cien burzovej ceny elektriny (produkt F PXE SK BL Cal-t),
za obdobie prvého polroku predchádzajúceho roku v $\text{€} \cdot \text{MWh}^{-1}$,
 k_t – koeficient na rok (určený cenovým rozhodnutím, maximálne 10 %),
 O_t – náklady regulovaného subjektu na odchýlku súvisiace s dodávkou elektriny,
 PZ_t – primeraný zisk dodávateľa v roku t.

¹ Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví z 8. februára 2017, ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike a niektoré podmienky vykonávania regulovaných činností v elektroenergetike. (§32)

1.3 Distribúcia elektriny a ostatné regulované poplatky

Distribúcia elektriny a regulované poplatky (niekedy uvádzané aj ako „služby distribúcie“, alebo iba „distribúcia“) je uvedená vo vyúčtovacej faktúre, a taktiež v sebe zahŕňa mnohé ďalšie položky. Všetky dielčie položky sú regulované ÚRSO, prípadne sú upravované inými právnymi predpismi a ich cena je pevne určená na mernú jednotku. S cenou týchto položiek dodávateľ nemôžu hýbať, a preto nie je predmetom konkurencie na trhu. Tak isto ako aj dodávka elektriny, aj distribúcia elektriny a regulované položky obsahuje jednotlivé dielčie zložky, z ktorých niektoré sú variabilné, niektoré fixné. Distribúcia elektriny sa skladá z fixnej a variabilnej zložky podľa cenového rozhodnutia ÚRSO² sa jedná o zložku z ceny za prístup do DS a distribúciu elektriny.

Pre účely tvorby matematického modelu v dizertačnej práci je nevyhnutné uvažovať s faktom, že pokiaľ je odberné miesto v domácnosti pripojené do distribučnej sústavy, je stále platený fixný poplatok za prístup do sústavy. A to bez ohľadu na to, či je v odbernom mieste zariadenie na výrobu elektriny (FVE) alebo nie. Tarifný systém SR rozlišuje viaceré „typy“ odberných miest pre domácnosti na Slovensku nielen z pohľadu regionálneho PDS, ale aj platnej tarifnej sadzby pre konkrétny charakter odberu elektriny v domácnosti.

Tab. 1.1 Porovnanie regionálnych poplatkov PDS pre odberateľov v domácnosti

Sadzba			Prevádzkovateľ distribučnej sústavy					
			ZSD a.s.		SSD a.s.		VSD a.s.	
			Fixná zložka	Variabilná zložka	Fixná zložka	Variabilná zložka	Fixná zložka	Variabilná zložka
Označenie	Typ	Pásmo	[€/mesiac]	[€/MWh]	[€/mesiac]	[€/MWh]	[€/mesiac]	[€/MWh]
D1	Jedno-tarif	JT	1,3206 €	38,9040 €	1,1200 €	51,0500 €	1,3000 €	47,0000 €
D2	Jedno-tarif	JT	4,5807 €	13,0050 €	6,3100 €	13,2400 €	4,8211 €	19,7000 €
D3	Dvoj-tarif	VT	7,2595 €	13,0050 €	10,8700 €	4,3200 €	0,2954 €/A	5,2000 €
		NT				0,6500 €		
D4	Dvoj-tarif	VT	0,1508 €/A.f)	3,9840 €	6,6500 €	24,7800 €	0,2954 €/A	5,2000 €
		NT				6,0300 €		
D5	Dvoj-tarif	VT	0,1508 €/A.f)	3,9840 €	10,3000 €	0,6500 €	0,2954 €/A	5,2000 €
		NT				0,6500 €		
D6	Dvoj-tarif	VT			10,3000 €	0,6500 €	0,2954 €/A	5,2000 €
		NT				0,6500 €		
D7	Dvoj-tarif	VT			1,1200 €	51,0500 €		
		NT				51,0500 €		
D8	Dvoj-tarif	VT			6,6500 €	0,6500 €		
		NT				0,6500 €		
Platba za straty pri distribúcii			[€/MWh]	11,4660 €		10,9150 €		12,4130 €
Odvod do NJF			[€/MWh]					3,2700 €
Platba za systémové služby			[€/MWh]					6,2976 €
Platba za prevádzkovanie sys.			[€/MWh]					15,9000 €

² Boli použité celkom 3 samostatné rozhodnutia ÚRSO pre jednotlivých prevádzkovateľov distribučných sústav ZSD, SSD a VSD.

2 Matematický model simulácie využívania fotovoltaickej elektrárne

Cieľom navrhnutého matematického simulačného modelu je zvýšiť presnosť simulácií s využitím doteraz komerčne dostupného simulačného systému PVGIS³ tak, že budú brané do výpočtu aj špecifické podmienky prevádzkovania FVE, aj príslušný tarifný systém v podmienkach na Slovensku. Výsledky zo simulačného systému PVGIS – nástroj pre fotovoltaické aplikácie, poskytuje pomerne presné výsledky, avšak z hľadiska mesačných kumulatívnych hodnôt produkcie elektriny pre špecifikovanú oblasť a FV technológiu, pričom systém udáva aj dovolené odchýlky od deklarovateľných výsledkov v rámci metodológie matematických výpočtov systému. Avšak, v reálnej prevádzke v podmienkach na Slovensku nie sú pre prosumerov výsledky na mesačnej báze dostatočne zaujímavé, nakoľko slovenská legislatíva umožňuje prosumerom využívať elektrinu, vyrobenú svojou FV elektrárnou v zmysle „výlučne pre vlastnú spotrebu“. Toto tvrdenie je možné dokladovať pre prosumerov na Slovensku, využívajúcich domácu FVE (malý zdroj do 10 kWp) na základe mnohých legislatívnych opatrení, ktoré sú podrobnejšie špecifikované v dizertačnej práci.

2.1 Tvorba výpočtového modelu

Ako vstupné hodnoty pre navrhnutý výpočtový systém je možné používať údaje s rôznych databáz, ktoré obsahujú dáta v hodinových intervaloch. V tomto prípade sú využívané údaje o globálnom slnečnom žiarení v hodinových intervaloch zo simulačného systému PVGIS. Systém je vyvinutý výskumným tímom Európskej komisie pre vedu a výskum, v stredisku JRC (Joint Research Centre). Systém PVGIS využíva viacero databáz s údajmi o slnečnom žiarení, ktoré sú vypracované pre jednotlivé zemepisné lokality a s využitím viacerých metód, určených pre výpočet slnečného žiarenia. Databázy sú vytvorené na základe satelitných snímok. Pre oblasť Európy, Afriky a časti Ázie sú pre tvorbu databáz používané satelitné snímky zo satelitov METEOSAT⁴ [29].

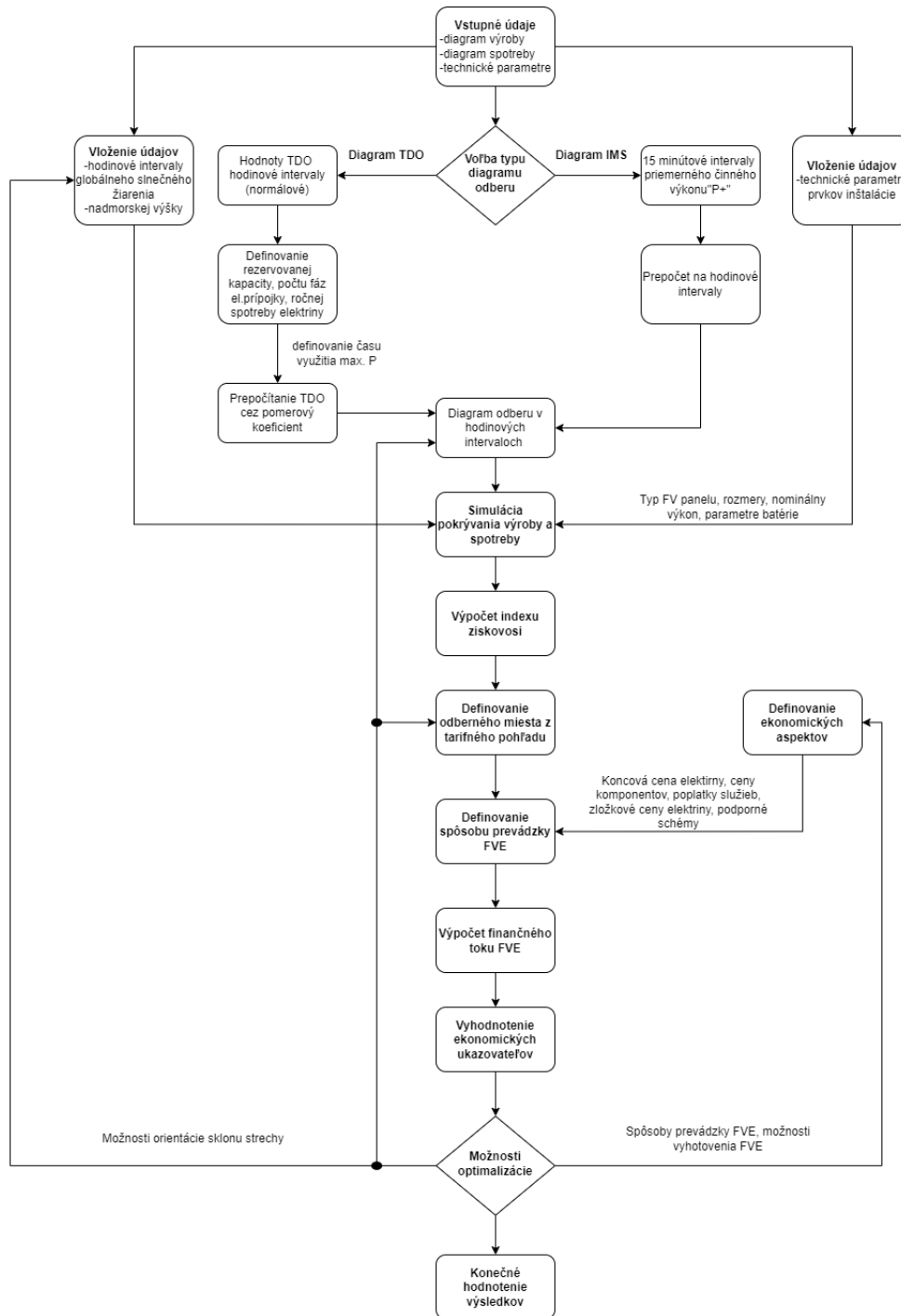
Vstupné údaje o spotrebe elektriny v odbernom mieste predstavujú diagram odberu elektriny v čase. Pokiaľ sú k dispozícii údaje o slnečnom žiarení v hodinových intervaloch, je vhodné, aby aj údaje o spotrebe boli v hodinových intervaloch. Tým je možné dosiahnuť rovnocenné porovnanie, koľko kWh dokáže vyprodukovať a koľko kWh v danom časovom intervale domácnosť spotrebuje. Takýmto prístupom je možné vykonávať energetickú bilanciu v odbernom mieste, vyhodnocovať rôzne parametre a v neposlednom rade, s využitím ďalších poznatkov z oblasti dodávky a distribúcie elektriny, omnoho presnejšie stanoviť ekonomické ukazovatele fotovoltaickej elektrárne pre prosumera. Ako vstupné údaje o spotrebe v odbernom mieste je možné použiť diagram odberu z IMS, prípadne diagram odberu vytvorený na základe TDO pri špecifikovaní

³ PVGIS je komerčne dostupný simulačný systém pre rôzne varianty využívania fotovoltaických inštalácií. Vo finálnych kalkuláciách figurujú len kumulatívne – mesačné hodnoty výroby elektrickej energie z FV panelov. Z toho dôvodu sú z databázy využívané jedine údaje zo satelitných snímok o globálnom slnečnom žiarení na hodinovej báze, prípadne definovaný náklon a orientácia panelov a zvyšná časť simulácie prebieha vo vytvorenom modeli.

⁴ Satelity METEOSAT (odvodené od angl. názvu „Meteorological Satellite“ sú zo série geostacionárnych meteorologických družíc, určených na predpoveď počasia a výskum klimatológie.

ročnej spotreby elektriny a maximálnej rezervovanej kapacity (MRK) hlavného ističa v odbernom mieste.

Na obr. 3 je znázornený diagram, ktorý znázorňuje postup výpočtov navrhovaného matematického modelu v simulačnej platforme. V zmysle tohto diagramu je postavený celý matematický model. Zadávanie vstupných parametrov je systémové a individuálne pre konkrétny postup a konkrétneho prosumera, aby bolo možné pristupovať individuálne aj k procesu optimalizácie návrhu a prípadnej zmene vstupných parametrov v zmysle návrhu efektívnejšej FVE.



Obr. 3 Vývojový diagram postupu výpočtov v navrhovanom simulačnom modeli

Výpočtový model simuluje 3 spôsoby využívania fotovoltaickej elektrárne. Každý z týchto spôsobov prevádzky má v rezidenčnom sektore odlišné výhody a nevýhody, ktoré museli byť uvažované pre optimálne ekonomické zhodnotenie investície. Výpočtový model simuluje nasledovné spôsoby prevádzky FVE:

- FVE bez akumulácie,
- FVE s fyzickou akumulátorovou batériou,
- FVE so službou virtuálneho uskladnenia elektriny (poskytovanou dodávateľom elektriny).

Výpočtový simulačný model pristupuje ku každému spôsobu prevádzky FVE špecificky, na základe zadaných parametrov. Využitie elektriny z FVE bude pre každý spôsob prevádzky odlišné, či už sa jedná o integrovanú batériu, alebo využitie služby virtuálneho uskladnenia elektriny. Pri virtuálnom uskladnení elektriny je využitie elektriny z FVE počítané iným spôsobom ako pri fyzickej batérii, nakoľko sú využívané služby distribúcie a výnosy tak budú nižšie. Naopak, pri využívaní fyzickej akumulátorovej batérie sú výrazne zvýšené investičné náklady, životnosť batérie je nižšia v porovnaní so životnosťou ostatných častí FV systému a kapacita akumulátora je konečná – teda vstupuje do výpočtu ako parameter. Stručné vysvetlenie princípu služby virtuálneho uskladnenia je znázornené na obr. 4 a postup výpočtu úspor, plynúcich z využívania FVE týmto spôsobom prevádzky je uvedený nižšie uvedenými vzťahmi.

$$E_{VB} = E_{DO} - (E_{FVE} - \Delta E) \leftrightarrow E_{FVE} > E_{DO} \quad (2)$$

$$E_{VB} = \Delta E \leftrightarrow E_{FVE} \leq E_{DO} \quad (3)$$

$$\Delta E_D = E_{FVE} - E_{DO} \leftrightarrow E_{FVE} > E_{DO} \quad (4)$$

kde E_{VB} je využiteľné množstvo elektriny, prostredníctvom služby virtuálneho uskladnenia v kWh

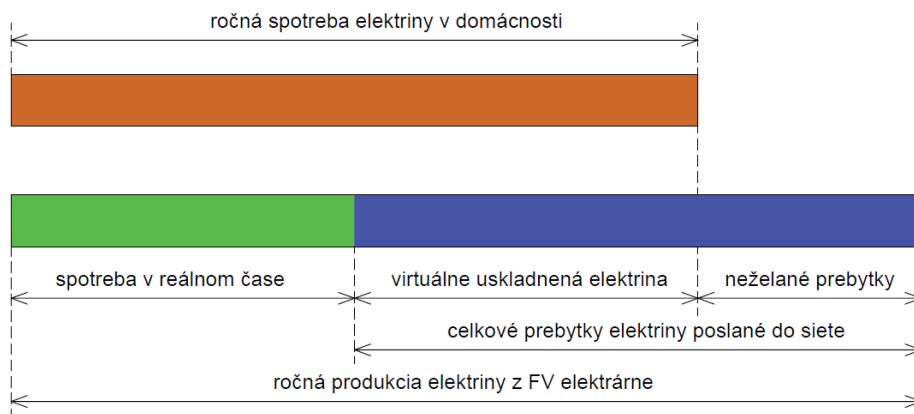
E_{DO} – spotreba elektriny podľa diagramu odberu v kWh

E_{FVE} – produkcia elektriny celej FVE v kWh

ΔE – prebytky elektriny v kWh

ΔE_D – distribútorovi darovaná časť prebytkov elektriny v kWh

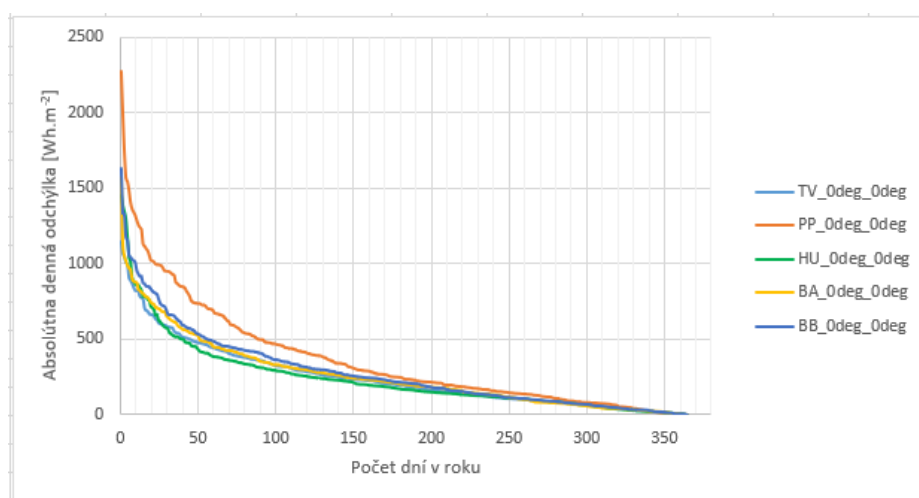
\leftrightarrow – logický operátor ekvivalentor („práve vtedy keď“)



Obr. 4 Grafická interpretácia princípu fakturácie s využívaním služby virtuálneho uskladnenia elektriny [39]

2.2 Porovnávanie kvality vstupných údajov o žiarení

Z uvedených staníc SHMÚ boli pre účely tejto práce získané údaje o globálnom slnečnom žiarení. Išlo o merané údaje reprezentované celkovou hodnotou dopadnutej energie globálneho slnečného žiarenia na vodorovnú rovinu v jednotkách $J \cdot cm^{-2}$. V zmysle konverzie jednotiek platí, že energia 1 Wh odpovedá 3600 J. Na základe toho, boli tieto údaje prepočítané a porovnávané na dennej báze. V čase vyhodnocovania boli z databázy PVGIS⁵ dostupné údaje o globálnom slnečnom žiarení pre samostatné roky len pre roky 2015 a 2016. Pre tieto roky tak boli získané reálne merané údaje zo staníc SHMÚ, ktoré boli porovnávané s údajmi pre to isté obdobie na dennej báze z databázy PVGIS. Výsledky boli podrobne spracované a tabuľkovo a graficky vyhodnotené odchýlky dennej energie globálneho slnečného žiarenia. Na obr. 5 je znázornená absolútna odchýlka denného množstva dopadnutej energie použitej databázy voči skutočným nameraným údajom vo vybraných lokalitách.



Obr. 5 Absolútna odchýlka dennej energie globálneho slnečného žiarenia (rok 2015)

⁵ Databáza PVGIS-SARAH (v priebehu roku 2022 došlo s aktualizácií databázy PVGIS-SARAH na PVGIS-SARAH2)

3 Simulačná platforma možností prevádzky fotovoltaickej elektrárne

Simulačný model je navrhnutý pre poloautomatický výpočet na základe definovaných vstupných parametrov a po aktivácii výpočtu prebieha simulácia iteračne, pre zvyšujúci sa počet tzv. elementárnej jednotky – teda pre zvyšujúci sa počet fotovoltaických panelov v inštalácií až do dosiahnutia hranice inštalovaného výkonu 50 kWp. Do výpočtového modelu vstupujú jednotlivé vstupné parametre a na základe variácií možností simulácie pre konkrétny spôsob prevádzky fotovoltaickej elektrárne prosumerom. Simulačná platforma výpočtového modelu bola zostavená tak, aby bolo možné korigovať prípadnú zmenu hodnoty vstupných parametrov v čo možno najvyššej miere. Nakoľko do simulačnej platformy vstupujú parametre, ktoré sa pomerne dynamicky (z roka na rok) menia ako napríklad cena technológie FVE, legislatívne aspekty možností využívania FVE, koncová (v jednotlivých zložkách) cena elektriny pre rezidenčný sektor, tak simulačná platforma bola týmto dynamickým zmenám prispôbena. Medzi hlavné parametre, ktoré vstupujú do výpočtu patria:

- hodinové údaje o slnečnom žiarení v danej lokalite,
- hodinové údaje o spotrebe v odbernom mieste,
 - údaje z TDO na hodinovej báze (vyžaduje sa ročná spotreba elektriny),
 - údaje z IMS na 15-min. báze (prepočítava sa spotreba na hodinovú bázu),
- maximálna rezervovaná kapacita prípojky v odbernom mieste,
- technická špecifikácia FV panela,
 - rozmer D x Š, nominálny výkon,
 - vypočítava sa nominálny merný výkon, účinnosť, plocha,
- špecifikácie pre ekonomickú analýzu,
 - cena FV panelu,
 - merná cena fyzickej akumulátorovej batérie,
 - funkcia zvyškovej ceny (cena zariadenia),
 - koncová cena elektriny,
 - tarifná sadzba v odbernom mieste,
 - špecifikácia prevádzkových nákladov.

4 Ekonomické ukazovatele využívania fotovoltaickej elektrárne

Hodnotenie ekonomických aspektov využívania FVE je založené na medziročných finančných tokoch počas doby životnosti FVE. Doba ekonomického hodnotenia bola stanovená na obdobie do 25 rokov prevádzky. Vo výpočtovom modeli boli kalkulované jednotlivé peňažné toky za každý rok, pričom okrem investičných a periodických prevádzkových nákladov bolo uvažované aj s aperiodickými prevádzkovými nákladmi. Aperiodické prevádzkové náklady sú tvorené revíziou FVE, ktorá je stanovená na každých 5 rokov, vo výške 500 €. a dodatočnou investíciou vo výške 2000 € po každých 10 rokov do obnovy komponentov s kratšou dobou životnosti, ako je zvyšok FVE (napr. výmena striedača). Výpočet finančných tokov je postavený na metóde čistej súčasnej hodnoty a diskontnej úrokovej miere. Kapitálové výdavky a peňažné príjmy spojené s investíciou sú realizované po dobu n-rokov a z hľadiska výšky nie sú spravidla konštantné.

4.1 Vplyv fixnej zložky na ziskovosť rezidenčných fotovoltaickej elektrárne na Slovensku

Pri hodnotení ziskovosti rezidenčnej FVE teda nemôže byť braná do výpočtu koncová cena elektriny, ale iba jej variabilná zložka [45]. Cena takto vyrobenej a využitej elektriny prosumerom je definovaná podľa vzťahu (5) a táto cena je uvažovaná vo výpočtovom modeli:

$$p_{FVE} = \frac{c_{var.} - \frac{\Delta E * c_{var.}}{E}}{E_{FVE}} \quad (5)$$

kde p_{FVE} je hodnota finančnej úspory, plynúca z využitej elektriny z FVE v €. kWh^{-1}

$c_{var.}$ – variabilná zložka z celkovej platby za elektrinu v €

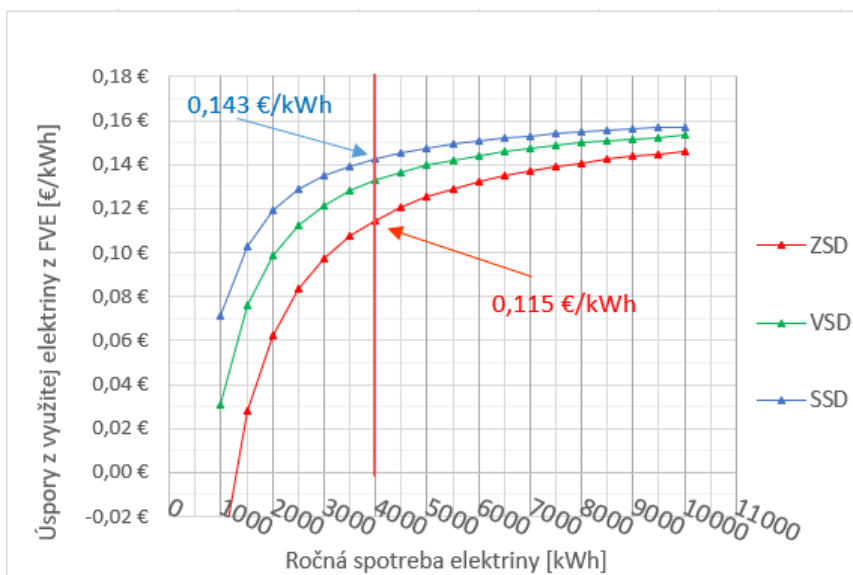
E_{FVE} – využitie množstvo elektriny z FVE v kWh

E – celková spotreba elektriny v odbernom mieste v kWh

ΔE – elektrina odobraná zo siete (rozdiel medzi celkovou spotrebou a využitou elektrinou z FVE) v kWh

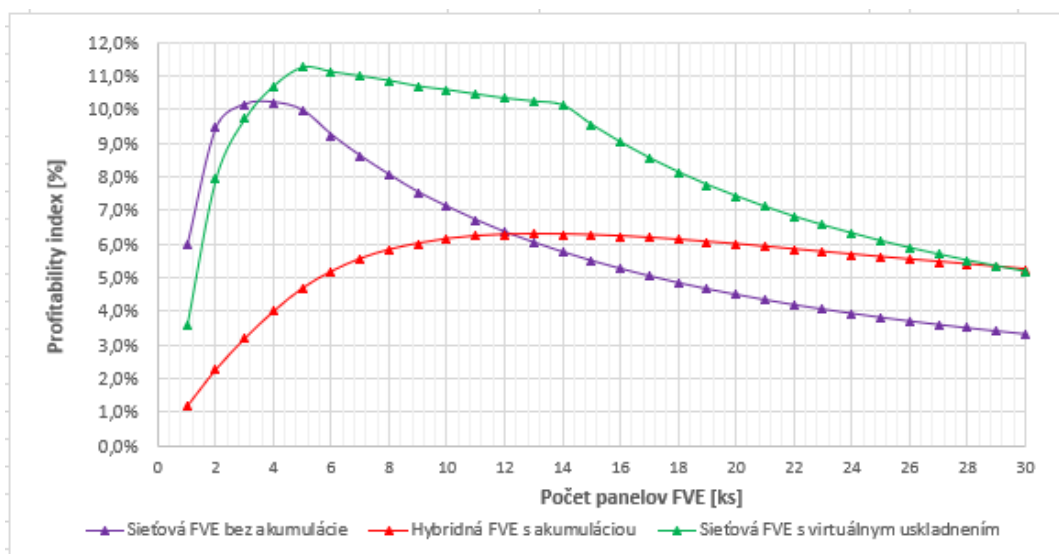
Podľa podrobného spracovania tarifného systému na Slovensku v dizertačnej práci sa v zmysle vzťahu (5) pre prosumera na západnom Slovensku s priznanou tarifnou sadzbou, určenou pre ohrev teplej úžitkovej vody – D4, s ampérickou hodnotou hlavného ističa 3x 32 A sú fixné distribučné poplatky na úrovni 208,46 € za rok, zatiaľ čo na strednom Slovensku tvoria fixné distribučné poplatky totožného prosumera len 95,76 € za rok. Rovnaký prosumer s takouto priznanou tarifnou sadzbou u PDS na západnom Slovensku platí viac ako dvojnásobne vyššie fixné distribučné poplatky – vyššie o 118 %. Na obr.6 sú znázornené priebehy výšky úspor elektriny z FVE pre vybraný príklad odberného miesta s tarifnou sadzbou D4 pre všetkých PDS na Slovensku. Pokiaľ porovnáme prosumera s touto tarifnou sadzbou (D4) a rovnakou ročnou spotrebou elektriny (4000 kWh) v rámci regiónu PDS, tak pre takéhoto prosumera na západnom Slovensku bude mať využitá kilowatthodina z FVE hodnotu 0,1146 €/kWh, zatiaľ čo pre prosumera na strednom Slovensku bude mať využitá kilowatthodina z FVE hodnotu 0,1429 €/kWh. Prosumerovi na strednom Slovensku bude

FVE prinášať vyšší ekonomický benefit ako prosumerovi na západnom Slovensku s čím súvisí aj doba návratnosti FVE, ktorá v tomto prípade bude o 25 % kratšia v porovnaní s prosumerom zo západného Slovenska.



Obr. 6 Detail porovnania výšky úspor elektriny z FVE pre prosumera s ročnou spotrebou 4000 kWh

Pri návrhu matematického modelu bol definovaný index ziskovosti. Tento index predstavuje podiel ročného finančného zisku, ktorý plynie z uvedených spôsobov prevádzky FVE a vstupných investičných nákladov na obstaranie FVE. Najvyššia hodnota predstavuje najvýhodnejšiu investíciu z pohľadu minimálnej výšky jednorazovej vstupnej investície a maximálneho ročného zisku.



Obr. 7 Závislosť indexu ziskovosti FVE od počtu FV panelov

4.2 Finančný tok fotovoltaickej elektrárne

Výpočet finančných tokov je postavený na metóde čistej súčasnej hodnoty a diskontnej úrokovej miere. Kapitálové výdavky a peňažné príjmy spojené s investíciou sú realizované po dobu n-rokov a z hľadiska výšky nie sú spravidla konštantné. Súčasná hodnota peňažného toku sa preto musí stanoviť ako súčet súčasných hodnôt nerovnakých kapitálových výdavkov a finančných príjmov. Súčasná hodnota peňažného toku (PV) je kritériom pre posudzovanie investičného projektu [46] [47] [48]. Pre ekonomické hodnotenie výhodnosti variant prevádzky FVE boli v zmysle navrhovaného simulačného modelu použité vzťahy uvedené v dizertačnej práci, pričom v časti „prevádzkové náklady“ boli kalkulované periodické prevádzkové náklady (ročné poplatky za službu virtuálneho uskladnenia elektriny, ale aj aperiodické náklady, ktoré sú opätovne investované do občasných nákladov, ako sú revízie systému a obnova komponentov s kratšou dobou životnosti ako celkový systém FVE. Konečné znenie vzťahu pre výpočet finančného toku je uvedené vzťahom (6) [46] [47] [49]:

$$NPV = IN + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} = IN + \sum_{t=1}^n \frac{V_t - (Ns_t + Nr_t + Nok_t)}{(1+i)^t}$$

(6)

- kde Ns_t sú finančné náklady na periodické služby dodávateľa elektriny (poplatok za službu virtuálneho uskladnenia)
- V_t – celkové príjmy z využívania FVE v jednotlivom toku t
- Nr_t – aperiodický náklad na revízie zariadenia FVE v jednotlivom toku t
- Nok_t – aperiodický náklad na obmenu komponentov FVE s dobou životnosti kratšou ako životnosť ostatných častí systému v jednotlivom toku t
- CF – peňažný tok (cash flow) v jednotlivých rokoch
- t – jednotlivé roky realizácie peňažných tokov (t=1, 2..., n)
- n – počet rokov realizácie peňažných tokov
- i – úroková (diskontná) sadzba

Záver

Táto dizertačná práca je zameraná na problematiku využívania rezidenčných FVE v podmienkach na Slovensku, ktoré sú značne špecifické a spôsob využívania FVE tak nemožno úplne porovnávať ostatnými FVE, ktoré dodávajú elektrinu do DS. V úvode tejto práce je podrobne analyzovaná štruktúra koncovej ceny elektriny pre domácnosti v regulovanom prostredí, ktorej analýza vychádza zo súčasne platných dokumentov ÚRSO a technických podmienok PDS a je nevyhnutným podkladom k optimalizácií a ekonomickému hodnoteniu využívania rezidenčných FVE na Slovensku. Bola tiež spracovaná kapitola spôsobov prevádzky fotovoltaických elektrární, ktoré z hľadiska rezidenčného využívania taktiež významne vplyvajú na veľkosť benefitov, ktoré z ich využívania môže prosumer získať a aj investičnej náročnosti jednotlivých možností ich prevádzky. Okrem možností využívania FVE je v teoretickej časti spracovaná aj problematika energetickej náročnosti fotovoltaických panelov počas celkového životného cyklu a energetickej náročnosti recyklačného procesu FV panelov. Výsledky ukazujú, že energetická náročnosť vrátane recyklácie FV panelov, vyjadrená ukazovateľom EROEI, bola už v roku 2015 na úrovni 9,1 – 9,7. Podľa tejto analýzy by však pre FVE inštalované v dnešnej dobe bol EROEI v rovnakých preukázateľne vyšší vzhľadom na vyššiu účinnosť premeny energie, vyšší merný výkon fotovoltaických panelov a nižšiu mieru degradácie v čase a nižšiu mieru poruchovosti súčasných FV panelov.

Cieľom dizertačnej práce bolo na základe aspektov popísaných jednotlivých kapitolách tejto práce navrhnuť matematický model a vytvoriť funkčnú poloautomatickú simulačnú platformu pre simulovanie využívania rezidenčných FVE v podmienkach na Slovensku s ohľadom na súčasne platné legislatívne podmienky a obmedzenia. V navrhnutom simulačnom modeli je dôležité zohľadňovať aj súčasný tarifný systém, ktorého zmeny sú značne dynamické, a zmeny v ňom je nevyhnutné pre čo najpresnejšie výsledky pravidelne aktualizovať. Súčasnú dostupnú riešenia na Slovensku v oblasti využívania energie z FVE sú vzhľadom na ciele ekologizácie energetiky a implementácie legislatívnych zmien vychádzajúcich z Európskych právnych predpisov stále pomerne neprehľadné a náročné, najmä z pohľadu administratívnych aspektov.

Vedecký a praktický prínos práce

Hlavným prínosom je komplexné spracovanie problematiky aspektov tarifného systému na Slovensku a implementácia do navrhnutého simulačného modelu pre simuláciu využívania fotovoltaických elektrární v rezidenčnom sektore na Slovensku.

Praktickým prínosom dizertačnej práce je vytvorenie matematického modelu pre výpočet a simuláciu určených spôsobov využívania FVE v podmienkach na Slovensku. Matematický model vychádza z doposiaľ spracovanej problematiky a implementácií aspektov, ktoré sú špecifické pre podmienky využívania rezidenčných FVE v regulovanom prostredí na Slovensku. V modeli je uvažované s ohľadom na príslušný tarifný systém a súčasné legislatívne aspekty. Práve štruktúra tarifného systému na Slovensku výrazne pôsobí na ekonomické aspekty využívania rezidenčných FVE

jednak z pohľadu tarifných sadziieb, ale aj z pohľadu regiónu prevádzkovateľa DS. Navrhovaný simulačný model využívania rezidenčných FVE určenými spôsobmi je krokom k lepšej informovanosti bežnej verejnosti - prosumerov, ktorí sú ochotní investovať svoje finančné prostriedky do fotovoltaickej elektrárne. Častokrát sú im od inštalátorských spoločností poskytované nepravdivé a zavádzajúce informácie, prípadne nemajú prístup k dostatočným technickým aspektom o spôsobe prevádzky FVE, čo vedie k nerelevantnej interpretácii ekonomickej výhodnosti ponúkaných FV riešení. Bol vytvorený výpočtový model výroby elektriny fotovoltaickou elektrárnou na základe vstupných dát globálneho slnečného žiarenia z databázy PVGIS v podmienkach na Slovensku. Použité vstupné údaje o globálnom slnečnom žiarení boli verifikované a porovnaná ich kvalita so skutočnými hodnotami, meranými SHMU vo vybraných lokalitách na Slovensku. Pomocou modelu je možné na základe diagramu spotreby elektriny na hodinovej báze v domácnosti, definovať prebytky elektriny, mieru využitia a dobu návratnosti fotovoltaickej elektrárne a iné ekonomické ukazovatele.

Summary

The main contribution of the dissertation is a comprehensive elaboration of the aspects of the tariff system aspects in Slovakia and implementation into the proposed simulation model for the simulation of the use of photovoltaic power plants in the residential sector in Slovakia.

The practical deals of the dissertation is the creation of a mathematical model for the calculation and simulation of determined ways of using PV in the conditions in Slovakia. The mathematical model is based on the issues processed so far and the implementation of aspects that are specific to the conditions of use of residential PV in a regulated environment in Slovakia. The model is considered with regard to the relevant tariff system and current legislative aspects. It is the structure of the tariff system in Slovakia that significantly affects the economic aspects of the use of residential PV plants, both from the point of view of tariff rates, but also from the point of view of the DS operator's region. The proposed simulation model of the use of residential PV plants in the specified ways is a step towards better information of the general public - prosumers who are willing to invest their investments in a photovoltaic power plant. They are often provided with false and misleading information by plumbing companies or do not have access to sufficient technical aspects of how the PV plant is operated, leading to an irrelevant interpretation of the economic viability of the PV solutions offered. A computational model of photovoltaic power plant production was created on the basis of input data of global solar radiation from the PVGIS database in conditions in Slovakia. The used input data on global solar radiation were verified and their quality was compared with the actual values measured by SHMI in selected localities in Slovakia. Using the model, it is possible to define electricity surpluses, electricity utilization rate and payback period of a photovoltaic power plant and other economic indicators on the basis of a diagram of electricity consumption on an hourly basis in the household.

Literatúra

- [1] Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky. *Integrovaný národný energetický a klimatický plán na roky 2021 - 2030*. [Online] [Dátum: 19. 4. 2020.] <<https://www.economy.gov.sk/uploads/files/ljkPMQAc.pdf>>.
- [2] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Zákon č. 251/2012 Z.z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov*. [Online] 31. Júl 2012. [Dátum: 9. 7. 2020.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2012/251/>>.
- [3] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. *Výročná správa úradu za rok 2020*. [Online] Marec 2021. [Dátum: 5. 3. 2022.] <<https://www.urso.gov.sk/vyročne-spravy-uradu/>>.
- [4] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. *Vývoj burzových cien elektriny a plynu za rok 2020 a 2021 a ich vplyv na cenovú reguláciu dodávky elektriny a plynu pre rok 2022*. [Online] [Dátum: 10. 3. 2022.] <https://www.urso.gov.sk/data/files/231_ts-269721-burzy-grafy.pdf>.
- [5] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 18/2017 Z. z. z 8. februára 2017, ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike a niektoré podmienky vykonávania regulovaných činností v elektroenergetike*. [Online] 8. Február 2017. [Dátum: 20. 6. 2020.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2017/18/>>.
- [6] VyhodnaEnergia.sk. *Vysvetlenie faktúry - elektrina*. [Online] September 2019. [Dátum: 3. 12. 2019.] <<https://www.vyhodnaenergia.sk/blog/119/elektrina/vysvetlenie-faktury-elektrina>>.
- [7] *Výúčtovacia faktúra za dodávku a distribúciu elektriny*. Stredoslovenská energetika, a. s. Banská Bystrica : SSE, 2019.
- [8] Stredoslovenská distribučná, a. s. *Ceny za prístup do distribučnej sústavy a distribúciu elektriny a tarify za straty pri distribúcii elektriny platný od 1. januára 2022*. [Online] [Dátum: 4. 3. 2022.] <https://www.ssd.sk/cenniky?page_id=6281>.
- [9] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 18/2017 Z.z. z 8. februára 2017, ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v elektroenergetike a niektoré podmienky vykonávania regulovaných činností v elektroenergetike*. [Online] 31. 3. 2022. [Dátum: 4. 4. 2022.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2017/18/>>.
- [10] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. *Rozhodnutie číslo: 0098/2022/E, zo dňa: 30.12.2021 pre subjekt Západoslovenská distribučná, a.s.* [Online] 30. December 2021. [Dátum: 5. 3. 2021.] <<https://www.urso.gov.sk/00982022e/>>.
- [11] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. *Rozhodnutie číslo: 0099/2022/E, zo dňa: 30.12.2021 pre subjekt Stredoslovenská distribučná, a.s.* [Online] 30. December 2021. [Dátum: 5. 3. 2022.] <<https://www.urso.gov.sk/00992022e/>>.
- [12] Úrad pre reguláciu sieťových odvetví. *Rozhodnutie číslo: 0100/2022/E, zo dňa: 30.12.2021 pre subjekt Východoslovenská distribučná, a.s.* [Online] 30. December 2021. [Dátum: 5. 3. 2022.] <<https://www.urso.gov.sk/109402-sk/01002022e/>>.
- [13] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Zákon č.309/2018, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č.309/2009 Z. z. o podpore obnoviteľných zdrojov energie a vysoko účinnej kombinovanej výroby a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony*. [Online] 17. Október 2018. [Dátum: 20. 7. 2020.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2018/309/20190101>>.
- [14] prof. Ing. Vladimír Slugeň, DrSc. *Fungovanie Národného jadrového fondu SR. Rozhovor. Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva FEI STU, Bratislava, 20. Január 2020.*

- [15] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Zákon č. 308/2018 Z. z. o Národnom jadrovom fonde a o zmene a doplnení zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.* [Online] 17. Október 2018. [Dátum: 6. 12. 2019.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2018/308/>>.
- [16] Národný jadrový fond. *Často kladené otázky.* [Online] [Dátum: 6. December 2019.] <<http://www.njf.sk/faqs.htm>>.
- [17] Jakama - green energy. *Sieťové elektrárne - On-grid riešenie.* [Online] [Dátum: 9. 12. 2019.] <<https://www.jakama-ge.sk/jakama-ge/eshop/2-1-SIETOVE-FV-ELEKTRARNE>>.
- [18] VONSCH *Riešenia pre fotovoltiku.* [Online] [Dátum: 7. 12. 2019.] <https://www.vonsch.sk/riesenia_fv.php?lang=sk>.
- [19] ESolar. *Hybridné systémy pre rodinné domy.* [Online] [Dátum: 2. 12. 2019.] <[https://www.esolar.sk/?get=xKzZ%7blptx%7d\(euhVu|xKnh%7bp%5dtf|xfzZKzZ%7blpt|x8Zc%7d\(euhVu|pt%7b7|x\(0fptxku%7d\(p|x8ZcKnh%7bpt70|xaeu|8Vu|pt|xkekt%7df5%7d5](https://www.esolar.sk/?get=xKzZ%7blptx%7d(euhVu|xKnh%7bp%5dtf|xfzZKzZ%7blpt|x8Zc%7d(euhVu|pt%7b7|x(0fptxku%7d(p|x8ZcKnh%7bpt70|xaeu|8Vu|pt|xkekt%7df5%7d5)>.
- [20] Bernd, M. Buchholz a Styczynski, Zbigniew A. *Smart Grids - Fundamentals and Technologies in Electric Power Systems of the future.* s.l. : Springer Berlin, Heidelberg, 2020. ISBN: 978-3-662-60930-9.
- [21] Rauei, M. – Murphy, D. – Fthenakis, V. *Energy Return on Energy Invested (ERoEI) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation: A comprehensive response.* [Online] In *Energy Policy.*, Vol. 102, Elsevier, p. 377-384, 2017. [Dátum: 5. 1. 2020.] <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516307066>>.
- [22] The British Petroleum Company - BP p.l.c. *Statistical Review of World Energy.* [Online] 2021. [Dátum: 5. 4. 2022.] <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>.
- [23] Latunus, C. E. L. – Ardente, F. – Mancini, L. *Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels.* [Online] In: *Solar Energy Materials and Solar Cells.*, Vol. 156, Elsevier, p. 101-111, 2016. [Dátum: 5. 1. 2020.] <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024816001227>>.
- [24] REN21: Renewables Now. *Renewables 2021 Global Status Report.* [Online] 2021. [Dátum: 5. 4. 2022.] <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/?gclid=CjwKCAjwkMeUBhBuEiwA4hpqEDPUSW0_sESnIGj2YBD0zeKbShCHXut0EQcfPk3pIYJHbPBHw6wf9hoCy6AAvD_BwE>. ISBN 978-3-948393-03-8.
- [25] NSW Government - Department of Primary Industries. *Comparing running costs of diesel, LPG and electrical pumpsets.* [Online] July 2016. [Dátum: 5. 4. 2020.] <https://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0011/665660/comparing-running-costs-of-diesel-lpg-and-electrical-pumpsets.pdf>.
- [26] Hanwha Q CELLS America Inc. *Datasheet Q.PEAK DUO-G7 315-330.* [Online] [Dátum: 4. Apríl 2020.] <https://www.altestore.com/static/datafiles/Others/Q.PEAK_DUO-G7_315-330_Datasheet.pdf>.
- [27] Poničan, Ján, Sadloň, Matej a Mokrání, Marek. *Harmonisation of the requirements for electricity generators in the EU.* Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2021. ISBN 978-80-227-5098-1.
- [28] Stredoslovenská distribučná, a. s. *Technické podmienky prevádzkovateľa distribučnej sústavy Stredoslovenská distribučná, a. s.* [Online] 1. Apríl 2019. [Dátum: 4. 1. 2021.] <https://www.ssd.sk/buxus/docs/dokumenty/o_nas/legislativa/SSD%20G%20Technické%20podmienky%20SSD%20platné%20od%201.4.2019%20po%20revizii%20URSO.pdf>.
- [29] EUMETSAT. *Satellites METEOSAT.* [Online] [Dátum: 5. 7. 2020.] <<https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>>.

- [30] Solargis s.r.o. *Solargis Solar Resource Database - Description and Accuracy*. [Online] 13. October 2016. [Dátum: 6. 7. 2020.] <<https://solargis2-web-assets.s3.eu-west-1.amazonaws.com/public/Uploads/279e8bb216/Solargis-database-description-and-accuracy.pdf>>.
- [31] European Commission. *PVGIS data sources & calculation methods*. [Online] [Dátum: 2. 7. 2020.] <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-photovoltaic-geographical-information-system/getting-started-pvgis/pvgis-data-sources-calculation-methods_en>.
- [32] Ing. Branislav Schnierer, SOLARGIS photovoltaic system analyst. Spracovávanie satelitných snímok do databáz slnečného žiarenia. *Rozhovor*. Seminár SAPI, City hotel Bratislava, Bratislava, 5. November 2019.
- [33] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 3/2013 Z.z. z 28. decembra 2012, ktorou sa ustanovuje spôsob, rozsah a štruktúra poskytovania meraných údajov o spotrebe na odbernom mieste odberateľa elektriny a ich uchovávanie*. [Online] 28. December 2012. [Dátum: 20. 6. 2020.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2013/3/>>.
- [34] Východoslovenská distribučná, a.s. *Typový diagram odberu*. [Online] [Dátum: 5. 8. 2020.] <<https://www.vsds.sk/edso/domov/technicke-info/tdo>>.
- [35] Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Complex evaluation model of a small-scale photovoltaic installation profitability*. In First International Conference: ETIMA., p. 269-277 : University Goce Delcev, Shtip, 2021. ISBN 978-608-244-823-7.
- [36] EUR-Lex. *Smernica Európskeho Parlamentu a Rady (EÚ) 2019/944 o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou a o zmene smernice 2012/27/EÚ*. [Online] 5. Jún 2019. [Dátum: 6. 9. 2020.] <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?qid=1601641526609&uri=CELEX:32019L0944>>.
- [37] Slávik, Jakub, Poničan, Ján a Sadloň, Matej. *Tri piliere Smart grid*. Bratislava : ATP Journal, 2020.
- [38] IT Power Australia Pty Ltd. *Lithium Ion Battery Test Centre*. [Online] [Dátum: 5. 10. 2020.] <<https://batterytestcentre.com.au/batteries/lg-chem-resu-hv/>>.
- [39] ZSE Energia, a.s. Virtuálna batéria. [Online] [Dátum: 6. 10. 2020.] <<https://www.zse.sk/fotovoltika-virtualna-bateria>>.
- [40] Kurcz, J. – Chudý, M. – Poničan, J. – Janíček, F. *Dynamic changes of photovoltaic power plants power supply*. In Elektroenergetika 2022 : Technical University of Košice, 2022, 2022. In press.
- [41] Slov-Lex, právny a informačný portál. *Vyhláška Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 358/2013 Z.z. z 28. októbra 2013, ktorou sa ustanovuje postup a podmienky v oblasti zavádzania a prevádzky inteligentných meracích systémov v elektroenergetike*. [Online] 28. Október 2013. [Dátum: 20. Apríl 2022.] <<https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2013/358/20200901.html>>.
- [42] Jalec, Ing. Miroslav. Princíp súšťového merania elektriny. *Rozhovor*. Západoslovenská distribučná a.s., Bratislava, 10. Apríl 2022.
- [43] EMH metering. *Příručka k produktu 4-kvadrantového či kombinovaného digitálního měřidla LZQJ-XC a digitálního víceúčelového tarifního měřidla DMTZ-XC*. Gallin, Nemecko : EMH metering GmbH & Co., 2014.
- [44] Eurostat. *Electricity price statistics*. [Online] [Dátum: 2. 4. 2022.] <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics>.
- [45] Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Impact of the fixed and variable component of electricity price on the economic viability of a small-scale photovoltaic power plant*. In Journal of Electrical Engineering., Vol. 72, No. 2, p. 140-147. : STU Bratislava, 2021. ISSN 1335-3632.
- [46] Zinecker M. *Přístupy k interpretaci současné hodnoty a vnitřní úrokové míry v předmětu finance podniku*. [Online] [Dátum: 5. Apríl 2022.] <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/20033/01_17.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [47] Sabayová, Mária. *ZÁKLADY EKONÓMIE pre neekonomické študijné odbory*. Bratislava : Akadémia Policajného zboru v Bratislave, 2016. ISBN 978-80-8054-664-9.
- [48] Šimunek, Peter a Janíček, František. *Ekonomika a riadenie elektroenergetiky I*. Bratislava : Slovenská technická univerzita, 1990. ISBN 80-227-0245-5.
- [49] Malečková, V. – Sivek, M. – Jirásek, J. *Vybrané příklady z ekonomiky nerostných surovin*. Ostrava : Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2827-5.
- [50] Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Modified discounted payback period of various small-scale photovoltaic installations*. [In Elektroenergetika 2019: 10th International scientific symposium on electrical power engineering. Stará Lesná, Slovak Republic.] Košice : Technical University of Košice, 2019. ISBN 978-80-553-3324-3.
- [51] ITnetwork.sk. *Vývojové diagramy*. [Online] [Dátum: 10. 5 2022.] <<https://www.itnetwork.sk/navrh/uml/vyvojove-diagramy>>.

Vybrané publikácie autora

1. Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Impact of the fixed and variable component of electricity price on the economic viability of a small-scale photovoltaic power plant*. In Journal of Electrical Engineering., Vol. 72, No. 2, p. 140-147. : STU Bratislava, 2021. ISSN 1335-3632.
2. Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Complex evaluation model of a small-scale photovoltaic installation profitability*. In First International Conference: ETIMA., p. 269-277 : University Goce Delcev, Shtip, 2021. ISBN 978-608-244-823-7.
3. Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Modified discounted payback period of various small-scale photovoltaic installations*. [In Elektroenergetika 2019: 10th International scientific symposium on electrical power engineering. Stará Lesná, Slovak Republic.] Košice : Technical University of Košice, 2019. ISBN 978-80-553-3324-3.
4. Janíček, F. – Poničan, J. – Sadloň, M. *Modified payback period of household rooftop photovoltaic installations*. In KOZÁKOVÁ, A. ELITECH'20. Bratislava: Vydavateľstvo Spektrum STU, 2020, ISBN 978-80-227-5001-1.
5. Poničan, J. – Sadloň, M. – Mokrání, M. *Harmonisation of the requirements for electricity generators in the EU*. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2021. ISBN 978-80-227-5098-1.
6. Kurcz, J. – Chudý, M. – Poničan, J. – Janíček, F., *Dynamic changes of photovoltaic power plants power supply*. In Elektroenergetika 2022 : Technical University of Košice, 2022, 2022. In press.