

Vytvorenie digitálneho dvojčat'a laboratórnej mikrosiete

*Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a
bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov
II. etapa*



Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: *Medzinárodné centrum excelentnosti pre výskum inteligentných a bezpečných informačno-komunikačných technológií a systémov II. etapa*, ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



SFÉRA, a.s. • Karadžičova 2 • 811 08 Bratislava
tel.: +421 2 502 13 142

© SFÉRA, a.s., 2023



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY



MINISTERSTVO
ŠKOLSTVA, VEDY,
VÝSKUMU A ŠPORTU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Táto publikácia je dielom kolektívu autorov:

Láznicka Libor, Kalamen Igor, Novotný Jozef

Ostatní autori:

Moško Daniel, Kaňuk Martin , Liptáková Lucia, Vannay David, Burget Radim, Studenič Róbert, Deák Tomáš, Slávik Jakub

OBSAH

1 ÚVOD	4
2 LABORATÓRIUM MIKROGRIDU STU	5
2.1 Účel a využitie zariadení v projekte CE2.....	5
2.1.1 Smart metering.....	5
2.2 Stručný opis zariadení	6
2.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch – voda AC	7
2.2.2 Batériový akumulčný systém	7
2.2.3 Solárny koncentrátor s expanzným tlakovzdušným strojom Strirlingovho typu	8
2.2.4 Experimentálna bioplynová stanica so suchou fermentáciou	9
2.2.5 Kogeneračná jednotka 20 kWe na zemný plyn a bioplyn	10
2.2.6 Fotovoltická elektrárň	10
2.2.7 Ostrovný solárno-veterný systém	11
3 LABORATÓRIUM MIKROGRIDU SAV	12
3.1 Zhodnotenie.....	14
3.2 Návrh požiadaviek pre budúce rozšírenie FVE UMMS SAV	14
3.2.1 Požiadavky pre hybridné striedače	15
3.2.2 Požiadavky pre riadiaci systém.....	15
3.2.3 Požiadavky pre akumulčný systém	16
3.3 Grafické priebehy spracovaných údajov	17
4 DIGITÁLNE DVOJČA	19
4.1 Opis funkcionality batérovej kalkulačky.....	19
4.1.1 Opis použitého algoritmu	20
4.1.2 Simulácia prípadov použitia (rôzne merania, súradnice GPS)	20
4.1.3 Variant 1 - Profil spotreby domácnosť, Čadca	21
4.1.4 Variant 2 - Profil spotreby domácnosť, Bratislava	23
4.1.5 Variant 3 - Profily spotreby malý podnik, Čadca	25
4.1.6 Variant 4 - Profily spotreby malý podnik, Bratislava	26
4.1.7 Porovnanie s podobnými riešeniami	28
4.1.8 Popis procesu – získanie dát (priebeh spotreby).....	28
4.1.9 Architektúra aplikácie	29
4.1.10 Logický model aplikácie	29
5 ZÁVER	32
6 ZOZNAM OBRÁZKOV	33
7 ZOZNAM TABULIEK.....	34

1 ÚVOD

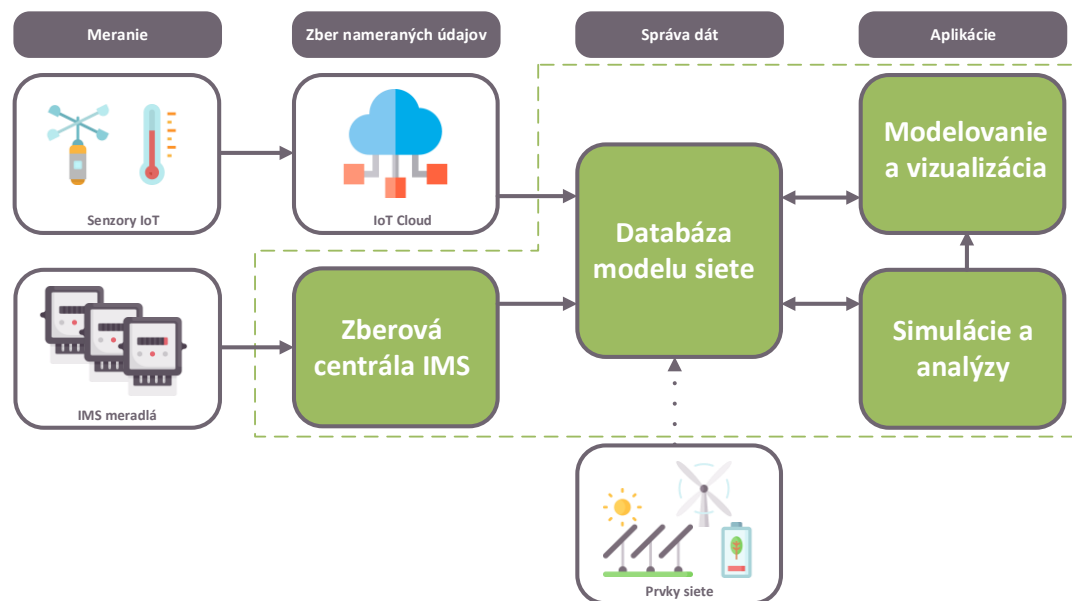
Dokument bol vytvorený, zavedený a udržiavaný v súlade s cieľom Aktivity č. 6: „Experimentálny vývoj v oblasti nástrojov pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí/mikrogridov“ spoločne pre míľnik č. 4: „Vytvorenie digitálneho dvojčaťa laboratórnej mikrosiete“.

Dokument nadväzuje na výsledky míľnika č. 3 Aktivity č. 6, ktorý predstavuje etapu podrobnej špecifikácie vytvorených nástrojov, ktorých prienik kombinuje otvorenú databázu prvkov inteligentnej siete/mikrogridu s modelom digitálnej siete s údajmi získanými z meraní nielen v minulosti, ale aj v reálnom čase.

Aktuálny dokument popisuje ďalší vývoj prototypu riešenia včítane programovej realizácie vybraných jeho modulov, konfiguráciu prototypu a jeho overenie v laboratórnych podmienkach existujúcej mikrosiete.

Rozpracovaný prototyp navrhovaného riešenia pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí/mikrogridu pozostáva z nasledovných častí:

- Zberová centrála IMS,
- Databáza modelu siete,
- Modelovanie a vizualizácia,
- Simulácie a analýzy.



Obrázok 1 – Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry

Jednotlivé oblasti riešenia sa v rámci prototypu overovali a vyhodnocovali samostatne na rovnakej laboratórnej vzorke dát. V tejto fáze riešenia sa začala implementovať vzájomná integrácia jednotlivých častí.

Významným podkladom pre míľnik č. 4 Aktivity č. 6 sú výsledky míľnika č. 4 Aktivity č. 5, ktoré sa zaoberajú vytvorením zariadení s ich parametrami a nameranými dátami v relačnej databáze.

2 LABORATÓRIUM MIKROGRIDU STU

Prototyp samotného mikrogridu bude predstavovať Laboratórium vysokých napätí (LVN) na Trnávke v Bratislave. Vlastníkom je Slovenská Technická Univerzita v Bratislave (STU), prevádzkovateľom je Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, prostredníctvom Ústavu elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky (ďalej len ÚEAE). Areál sa nachádza na Technickej ulici č. 5 v Bratislave.

Svoju históriu začalo písať v roku 1968. Jeho realizátorom, a po dobudovaní aj vedúcim bol prof. Gábriš. Následne oddelenie niekoľko rokov viedol doc. Ing. Pavol Šandrik, CSc. Technické vybavenie Laboratória vysokého napätia na Trnávke tvoria unikátne zariadenia, ako napríklad: transformátorová kaskáda, skúšobné transformátory, impulzný generátor, jednosmerný zdroj, tienená kabína, kapacitné a odporové deliče napätia, impulzný delič napätia, elektrostatické a rotačné voltmetre, guľové iskrišťa, digitálny osciloskop, merače častkových výbojov či Scheringove mostíky. Patria sem aj pomocné zariadenia, ako napríklad pokusné vedenie s modelom 110, 220 a 400 kV vedenia s dĺžkou rozpätia stožiarov 330 m a vibračná linka na skúšky súčastí vedení.

Laboratórium vysokých napätí je začlenené do Akreditovanej skúšobne FEI. Zariadenia a prístrojové vybavenie sa využívajú aj na praktickú diagnostiku vysokonapäťovej izolácie. V rokoch 2010 – 2021 prišlo k sérii modernizačných aktivít LVN, ktoré spočívali v kompletnej modernizácii a revitalizácii budovy, seminárnych miestností a posluchární, nákupu unikátnych meracích a experimentálnych zariadení ako aj zriadenie Národného centra pre výskum a aplikáciu obnoviteľných zdrojov energie. Väčšina týchto aktivít bola financovaná zo štrukturálnych fondov EÚ. Výsledkom je väčšia prestíž laboratória, zvýšená zaangažovanosť LVN na riešení úloh z praxe, vyšší záujem študentov o praktickú energetiku a v neposlednom rade tým získala STU reprezentatívny priestor využívaný napríklad pre priemyselných partnerov a zahraničné návštevy.

2.1 Účel a využitie zariadení v projekte CE2

LVN disponuje unikátnou vhodne prepojenou sústavou energetických zdrojov a komponentov - fotovoltickou elektrárnou, tepelným čerpadlom, bioplynovou stanicou s kogeneračnou jednotkou a akumuláčnými systémami. Laboratórium je vybavené aj solárnym koncentrátorom, veternou turbínou a solárnym ostrovným systémom slúžiacim na pedagogické, reprezentačné a iné výskumné aktivity.

FEI STU má za úlohu v LVN v rámci projektu monitorovať efektivitu získavania a používania energie z OZE v období počas riešenia projektu v danej lokalite, poskytovať získané údaje pre tvorbu optimalizačných modelov pre ostatných riešiteľov projektu, verifikovať vytvorené modely v reálnej experimentálnej prevádzke laboratória, prípadne v experimentálnej prevádzke simulovať niektoré extrémne stavy, ktoré by mohli v reálnej prevádzke nastať. Súčasťou mikrogridu na Trnávke je aj laboratórium smart meteringu.

Účelom participácie ÚEAE na projekte je poskytnúť merané údaje zo smartmetrov jednotlivých technológií a inštalovaných OZE zdrojov pre účely simulácií a tvorby optimalizačných modelov pre širšie spektrum využitia aj v budúcnosti. Špecifikom údajov z elektromerov z LVN na Trnávke je, že tieto údaje ako aj ich štruktúra zodpovedá súčasným spôsobom získavaných dát z odberných miest pre účely fakturácie. Ide teda o elektromery, ktoré sú využívané distribučnými spoločnosťami, a teda spĺňajú požiadavky na zber dát ako aj ich kvalitu/presnosť.

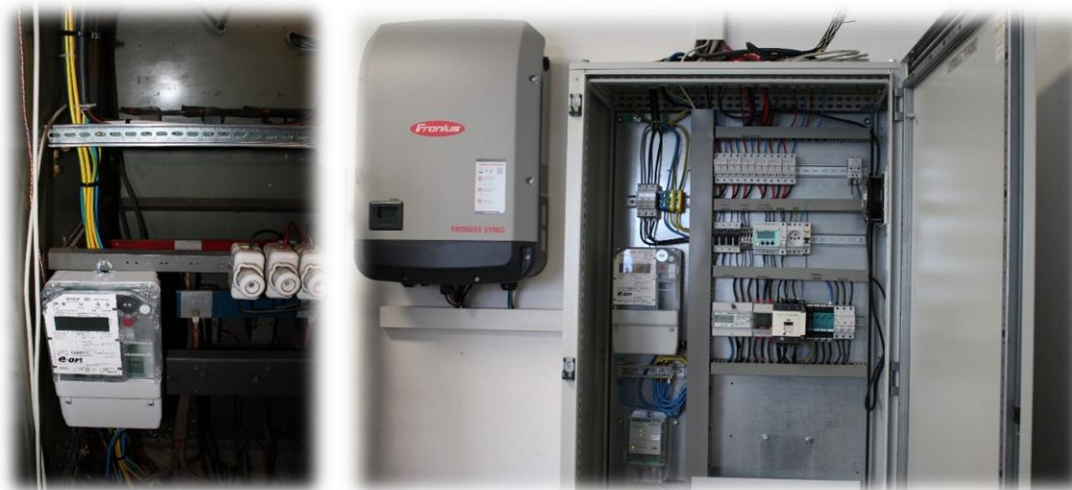
2.1.1 Smart metering

V prípade laboratória na Trnávke sú pre účely merania použité smart metre, ktoré sú v zmysle Zákona o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov 251/2012 Z. z. a vyhlášky 358/2013 Z. z. ako elektromery so špeciálnou funkcionalitou. Ide o určené (fakturačné) meradlo v osobnom

vlastníctve ústavu ÚEAE. Tieto elektromery poskytujú údaje v zmysle aktuálneho nastavenia v príslušnom parametrizačnom softvéri. Údaje sa exportujú a ukladajú na príslušný server, odkiaľ sú poskytované partnerom projektu. Merané dáta majú aktuálnu štruktúru zbieraných dát nastavenú na 1 minútové priemerné hodnoty meraných veličín, kde v rámci jednotlivých možných registrov meraných veličín reprezentujú veličiny pre vyhodnocovanie kvality elektrickej energie. Ďalšie exportované údaje sú taktiež 1 minútové priemery činného a jalového výkonu. Meranie činného a jalového výkonu prebieha v štyroch kvadrantoch, teda meranie činného výkonu odberu a dodávky a meranie jalového výkonu v štyroch kvadrantoch (jalový výkon induktívneho/kapacitného charakteru v režime odberu/dodávky). Elektromery poskytujú taktiež aj meranie okamžitých hodnôt registrov energie, teda stav počítadla nameraného odberu/dodávky činnej a jalovej energie príslušného zariadenia, na ktoré je elektromer pripojený.



Obrázok 2 Skalár a elektromer inštalovaný v serverovni/merací bod situovaný v batériovom úložisku



Obrázok 3 Smart metering odberu tepelného čerpadla/Merací bod – fotovoltaická elektrárň

2.2 Stručný opis zariadení

Vďaka projektu CE2 došlo v LVN na Trnávke k dovybaveniu laboratórií novými experimentálnymi zariadeniami (tepelné čerpadlo vzduch – voda), fotovoltaickou elektrárnou a systémom pre akumuláciu energie.

2.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch – voda AC

Tabuľka 1 Parametre tepelného čerpadla

Parameter	Popis
Typ	Heating Convert AW 19 3P
Výkonový rozsah	4,0 - 20,0 kW
Topný faktor (COP) podľa EN 14511	4,60 -
Sezónny topný faktor (SCOP)	4,60 -
Napájanie	400-3-50 V-f-Hz
Požadovaný istič	B16/3 char. A/f
Max. prúd	12,5 A
Rozbehový prúd	5,0 A
Maximálny príkon	8,66 kW

- Jednoduché ovládanie,
- Pomocou počítača, tabletu alebo mobilného telefónu,
- Kúrenie resp. ohrev úžitkovej vody,
- Ovládanie pomocou xcc,,
- Plynulo riadený výkon kompresora
- V lete možno využiť ako klimatizáciu.



Obrázok 4 Tepelné čerpadlo

2.2.2 Batériový akumulčný systém

Dve systémové riešenia pre akumuláciu elektrickej energie na báze (1. systém) bezúdržbových olovených akumulátorov a (2. systém) LiION akumulátorov. Každý systém má výkon minimálne 10 kW, každá akumulátorová batéria má kapacitu minimálne 10 kWh, je vybavená vlastným balancerom a ochranami. Každý akumulčný systém má vlastný nabíjač-striedač (battery management system) s možnosťou plynulej regulácie nabíjacieho a vybíjacieho prúdu s ich automatickým obmedzením v závislosti na teplote článkov do hodnoty max. prúdu udávaného výrobcami akumulátorov. Systémy umožňujú automatickú reguláciu maximálnej spotreby elektrickej energie odberného miesta a sú ovládateľné nadradeným riadiacim systémom (master-slave). Dodaný systém vie pracovať v spolupráci s trojfázovou distribučnou sústavou nízkeho napätia ako aj v ostrove a je ovládateľný cez lokálnu dátovú

sieť a obsahuje všetky potrebné komponenty, projektovú dokumentáciu, prevádzkový predpis, revízne správy a zaškolenie obsluhy.

Pre účely zobrazovania meraných dát na vstupe a výstupe zo systému sú určené PM5320 (Ethernet (Modbus TPC), Si-MODBUS-Configurator). Pre účely riadenia a monitoringu ESS: (pre ION aj olovo).

Hlavný prvok riadenia:

- Modbus Map - Conext XW (striedač),
- Nastavenie a konfigurácia,
- Registre.

Podružné:

- Modbus Map – Combox (komunikátor),
- Modbus Map – SCP (lokálna riadiaca jednotka),



Obrázok 5 Batériový akumulčný systém

2.2.3 Solárny koncentrátor s expanzným tlakovzdušným strojom Strlingovho typu

Popis a parametre:

- Parabolický solárny koncentrátorový zdroj s výkonom 6 x 1 kW,
- Natáčací systém za slnkom.

Využitie:

- Didaktická pomôcka,
- Základný výskum.



Obrázok 6 Parabolický solárny koncentrátorový zdroj

2.2.4 Experimentálna bioplynová stanica so suchou fermentáciou

Bioplynová stanica (BPS) so suchou fermentáciou je pilotným projektom malej stanice, ktorá poskytuje možnosti experimentálnej prevádzky zariadenia spracúvajúceho rôznu biomasu, pričom by mala slúžiť na nástrel receptúry a jej doladovania ešte pred realizáciou zákaznickej stanice, ktorá by sa mala navrhovať škálovaním a na konkrétne dostupné suroviny zákazníka. Táto stanica by mala slúžiť primárne na výskum, no určite bude slúžiť i pedagogickým účelom. Samotná stanica pre vyvíjanie bioplynu sa skladá z viacerých častí. Fermentor o celkovom objeme 60 m³, je predelený na dve komory o objeme po 30 m³. Fermentačné komory sú zateplené, vybavené podlahovým a stenovým teplovodným vykurovaním. Fermentor je plynotesný s vnútorným povrchom z nerezových plechov. Sú v nich inštalované sprchové systémy pre očkovanie vsádzky perkolátom, ktorý je spätne cez filtráciu tuhých častíc regenerovaný a skladovaný v nádrži. Obe komory majú možnosť nezávislej regulácie teploty a dávkovania perkolátu. Perkolátu sa spoločne nastavuje pH prídávaním činidla dávkovacím čerpadlom.

Projekt „Práce BPS na suchej fermentácii“ financovaný z európskych prostriedkov projektu CE2 predstavuje komplexnú modernizáciu bioplynovej stanice. Medzi hlavné modernizačné aktivity patrí modernizácia fermentora, vykurovania, perkolátového kruhu, výmenníkov, systémov riadenia, rozvodov tepla, elektriny ako aj kogeneračnej jednotky.



Obrázok 7 Bioplynová stanica

2.2.5 Kogeneračná jednotka 20 kWe na zemný plyn a bioplyn

Kogeneračná jednotka KATJA 25 CEC je typickým zástupcom zdroja decentralizovanej kombinovanej výroby elektriny a tepla. Zariadenie pozostáva zo spaľovacieho motora vybaveného dvoma palivovými plynovými cestami, pre zemný plyn a pre bioplyn. Doplnková plynová cesta pre zemný plyn je vytvorená pre potreby výskumných aplikácií výroby bioplynu. Energia paliva sa v spaľovacom motore mení na mechanickú energiu odovzdávanú hriadeľom cez pevnú spojku synchronnému generátoru s nominálnym výkonom 20 kWe a tepelnú energiu odvádzanú chladiacou vodou cez výmenník do vody vykurovacieho systému objektu. Táto je následne dohrievaná spalinami z motora v spalinovom výmenníku, na projekčný systémový tepelný spád 90/70 °C. Za spalínovým výmenníkom nasleduje dvojica tlmičov hluku výfuku a spaliny sú vedené výfukom do exteriéru.

Prípadné prebytočné teplo je z jednotky možné odvieŕ do núdzového chladiča, ktorý je dimenzovaný pre plný tepelný výkon 44 kWt jednotky tak, aby v prípade potreby mohla slúžiť ako náhradný zdroj energie pri výpadku napájania zo siete aj v prípade, že vyrábané teplo nie je možné racionálne upotrebiť. Riadiace obvody ako i vyvedenie elektrického výkonu sú realizované v spoločnom rozvádzači. Jednotka je pripojená na intranet a jej chod je možné monitorovať a riadiť i cez integrované vizualizačné rozhranie.



Obrázok 8 Kogeneračná jednotka

2.2.6 Fotovoltická elektráreň

Parametre:

- Zosieťované zariadenie PV s elektrickými spotrebičmi,
- Klimatické údaje Bratislava, SVK (1991 - 2010),
- Výkon generátora PV - 19,5 kWp,
- Rozloha generátora PV - 132,8 m²,
- Počet modulov PV – 78,
- Počet meničov - 1,
- Výrobca modulov: Fire EnergyFV, menič: FRONIUS Symo 20.0-3-M (v1),
- Fotovoltický systém od M3soft s.r.o.



Obrázok 9 Slnéčné panely

2.2.7 Ostrovný solárno-veterný systém

Laboratórium disponuje i malou (výkonovo) ostrovnou solárnou elektrárnou a veternou turbínou s výkonom 400 W. Táto zostava slúži ako didaktická pomôcka a objekt pre riešenie bakalárskych, diplomových a tímových projektov.



Obrázok 10 Solárny panel a veterná turbína

3 LABORATÓRIUM MIKROGRIDU SAV

Analýza aktuálneho technického stavu a funkčnosti SMART GRID UMMS SAV a jeho hardwarových a softwarových súčastí, ktorý bol vybudovaný v roku 2013.



Obrázok 11 Situácia strešnej FVE UMMS SAV a jej jednotlivých častí

Na streche laboratória UMMS v areáli SAV sú nainštalované fotovoltaické panely rôznej technológie, topológie zapojenia a spôsobu prevádzky. V zmysle vyššie uvedenej situácie sú jednotlivé technológie nasledovné:

- **[1.] FVE systém s 69 ks polykrištálickými (aSi) 235 Wp FV panelmi s inštalovaným elektrickým výkonom 16,2 kWp vrátane 1 ks trojfázového striedača SINVERT PVM 17:**
 - V súčasnosti je systém funkčný so sfunkčneným monitorovaním,
 - Označenie striedača v schémach je „GS1“,
 - FV panely sú do striedača zapojené cez 3 stringy po 23 ks FV panelov,
 - Vstupné DC napätie striedača je v rozsahu 445-850 V,
 - Výkon z FVE je vyvedený do siete (Trafostanica TS 197 v areáli SAV),
 - Údaje je možné exportovať v textovom „.csv“ súbore a ďalej spracovávať - archivácia na cloude po mesiacoch.
- **[2.] FVE systém s 9 ks polykrištálickými panelmi s inštalovaným elektrickým výkonom 2,1 kWp pre napájanie riadiaceho systému cez 1 ks striedača Xtender XTM 2600-4B vrátane nabíjačky batérií Vario Track a 4 olovených akumulátorov 48 V:**
 - V súčasnosti je systém opravený a funkčný,
 - Všetky 4 olovené akumulátory sú funkčné, aj keď majú životnosť na konci,

- Systém pôvodne pozostával z 3 stringov po 3 ks FV panelov s výkonom 235 Wp,
 - Zo systému bol odobratý 1 string pre účely výmeny FV panelov (1 ks náhrada za nefunkčný organický panel a plánované osadenie 2 ks na pripravovaný tracker).
- **[3.] FV systém so 70 ks amorfnými tenkovrstvovými (CIS) 150 Wp FV panelmi s inštalovaným elektrickým výkonom 10,5 kWp vrátane 1 ks trojfázového striedača SINVERT PVM 10:**
 - V súčasnosti je systém funkčný so sfunkčneným monitorovaním,
 - Označenie striedača v schémach je „GS2“,
 - FV panely sú do striedača zapojené cez 10 stringov po 7 ks FV panelov,
 - Vstupné DC napätie striedača je v rozsahu 380-850 V,
 - Výkon z FVE je vyvedený do siete (Trafostanica TS 197 v areáli SAV),
 - Údaje je možné exportovať v textovom „.csv“ súbore a ďalej spracovávať - archivácia na cloude po mesiacoch.
- **[4.] 3 otočné systémy s koncentrickými hybridnými fotovoltaickými panelmi - s inštalovaným elektrickým výkonom 3 kWp (2 s kvapalinovým odvodom tepla) - dodávka GoldenSun v roku 2013 vrátane 1 ks jednofázového striedača SOLAREEDGE SE3000:**
 - V súčasnosti je systém nefunkčný a nosná konštrukcia jedného otočného systému sa upravuje na inštaláciu polykryštalických panelov (z odobratého 1 stringu zo systému [2.]
- **[5.] FVE systém so 7 ks experimentálnymi FV panelmi rôznej technológie:**

V súčasnosti je systém čiastočne funkčný a s funkčným monitorovaním.

Systém obsahuje:

 - Amorfný kremíkový (aSi) FV panel 100 Wp,
 - Tandemový-metamorfný FV panel 150 Wp:
 - 2 ks Cadmium telluride (CdTe) FV panely, spolu 175 Wp,
 - Copper-Indium-Gallium-Selenide (CIGS) FV panel 145 Wp,
 - 2 ks Organické FV panely, spolu 2,4 Wp - nefunkčné, demontované a vymenené za 1 polykryštalický panel 235 Wp,
 - 2 ks metamorfné (CTME) FV panely, spolu 517 Wp – nefunkčné a demontované (prebieha revitalizácia a príprava konštrukcie pre upevnenie 2 ks polykryštalických FV panelov 235 Wp na funkčný tracker).

Výkon z FV panelov je vyvedený do „umelej“ záťaže (rezistorov), v súčasnosti sú nefunkčné nasledovné FV panely:

 - Metamorfný 517 Wp,
 - Organický 2,4 Wp.

Tento systém má funkčný monitoring cez systém SIMATIC PCS7:

 - Archivácia dát je k dispozícii od dátumu opätovného spustenia (t. j.15.8.2020),
 - Údaje je možné exportovať v textovom „.csv“ súbore a ďalej spracovávať - archivácia na cloude po mesiacoch.

3.1 Zhodnotenie

Zo získaných poznatkov z analýzy súčasného stavu technológie FVE Smart Grid UMMS SAV je možné konštatovať, že FV panely sú (s výnimkou 4 ks v systéme s experimentálnymi FV panelmi) funkčné a schopné prevádzky.

Riadiacim systémom v súčasnosti je už možné monitorovať jednotlivé časti FVE a tiež experimentálnu časť FVE [5.] a pridružené prístroje na meranie teploty, rýchlosti a smeru vetra. Pripravuje sa kalibrácia tejto meteorostanice.

Riadiaci systém už nevykazuje nedostatky v nastaveniach a riadení hlavnej časti FVE (hlavný výkon z amorfných „aSi“ kremíkových panelov 16,2 kWp a z tenkovrstvových „CIS“ FV panelov 10,5 kWp). V tejto časti FVE je už po oprave riadiaceho systému SIMATIC PCS7 možný monitoring FVE. Výkon z obidvoch spomínaných častí FVE je vyvedený do hlavného NN rozvádzača "RH" transformačnej stanice TS 197. Z tohto rozvádzača sú napájané podružné rozvádzače "RH1" a "RH2" umiestnené v budove UMMS. Toto zapojenie zabezpečuje, že sumárna spotreba za rozvádzačom "RH" je znížená o výkon vyrobený fotovoltaickými jednotkami. Avšak môže nastať situácia (pri nízkej spotrebe a vhodných poveternostných podmienkach), že časť vyrobenej elektrickej energie je dodávaná do distribučnej siete. Aktuálny výkon z tejto časti FVE je možné monitorovať riadiacim systémom SIMATIC PCS7 a tiež na displeji príslušného striedača SINVERT PVM10 alebo SINVERT PVM17 na streche budovy.

V experimentálnej časti FVE [5.] je možné riadiacim systémom monitorovať všetky dôležité parametre každého FV panelu samostatne v sekundových intervaloch (s výnimkou skupín FV panelov rovnakej technológie).

Hlavné merateľné parametre v čase sú:

- poveternostné podmienky: teplota vzduchu, rýchlosť a smer vetra,
- teplota panelu,
- elektrické napätie na výstupe panelu,
- elektrický prúd na výstupe panelu,
- činný výkon na výstupe panelu,
- intenzita slnečného žiarenia (spoľahlivosť dát je otázná - značný offset počas nízkej intenzity slnečného žiarenia).

Riadiaci systém SIMATIC PCS7 poskytuje archiváciu týchto údajov od doby opätovného uvedenia do prevádzky - 15.8.2020. Údaje je možné zo systému exportovať v textovom „.csv“ súbore a ďalej spracovávať. V predmetnej analýze aktuálneho technického stavu a funkčnosti FVE SMART GRID UMMS SAV a jeho hardwarových a softwarových súčastí bol vykonaný export údajov z experimentálnej časti FVE [5.] pre vybrané kalendárne dni (interval 24 hodín). Tieto údaje boli následne spracovávané v tabuľkovom editore do priebehov meraných veličín do 1-minútového časového intervalu. Príklady spracovaných priebehov výkonu jednotlivých FV panelov v tejto časti FVE sú uvedené v prílohe.

3.2 Návrh požiadaviek pre budúce rozšírenie FVE UMMS SAV

Projektový zámer rozšírenia existujúcej časti FVE [1.] počíta s dobudovaním akumuláčného batériového úložiska s približnou kapacitou 50 kWh. Pred realizáciu je nesmierne dôležité stanoviť významový rozsah realizácie tohto projektu a následne pristúpiť k voľbe jednotlivých komponentov rozšírenia akumuláčnej technológie a jeho riadiaceho a monitorovacieho systému. Z doposiaľ známych a prekonzultovaných informácií by bolo vhodné pre ďalší – podrobnejší návrh projektu vychádzať s nasledovných informácií:

3.2.1 Požiadavky pre hybridné striedače

Z dôvodu existujúceho výhodnejšieho zapojenia jednotlivých FV panelov do troch stringov, po 23 ks FV panelov, by sa malo pri návrhu hybridného systému prihliadať na napäťovú úroveň stringu a zvoliť výmenu sieťového striedača za hybridný striedač s rovnakým rozsahom vstupného napätia (približne od 400 – 900 V).

V návrhu sa uvažuje o rekonštrukcii pôvodnej sieťovej FVE na hybridnú s akumuláciou, s celkovou kapacitou približne 50 kWh. Pre takúto prevádzku sú kladené špeciálne požiadavky na hybridný striedačov, a to:

- Striedač môže byť trojfázový alebo 3 kusy jednofázové:
 - V prípade jednofázových striedačov bude potrebné doplniť aj 3 kusy nabíjačov batérií (v prípade, že tieto časti nie sú súčasťou striedača),
 - V prípade jednofázových striedačov bude nevyhnutné navrhnúť a doplniť zariadenie na synchronizáciu priebehu výstupného napätia a siete.
- Striedač by mal mať funkciu „ZeroExport“ pre nulové dodávky do siete v prípade jej výpadku, nakoľko sa jedná o experimentálnu časť FVE, kde je uvažované s meraním a bilancovaním energie v rámci mikrogridu.
- V hybridnej prevádzke je nutné v tejto časti FVE doinštalovať 4-kvadrantný elektromer pre monitorovanie množstva elektriny, ktoré sa bude počas roka „importovať“ do mikrogridu z vonkajšej distribučnej siete.
- Striedač by mal mať možnosť merania výkonu na vstupnej ako aj výstupnej strane.

3.2.2 Požiadavky pre riadiaci systém

FVE má monitorovací systém. Systém by mal byť schopný vyhodnocovať:

- aktuálne merateľné hodnoty (napätie, prúd, výkon, pre potreby ďalšieho výskumu aj teplota panela) FVE v sekundovom intervale,
- stavy a smery tokov výkonov (FVE, batérie, spotrebiče, sieť),
- grafické znázornenie vo vhodnom používateľskom rozhraní,
- merané údaje a možnosť archivácie údajov v časovom období možnosť riadiť vybrané elektrické spotrebiče, ktoré budú mať „ovládateľný“ charakter a budú do regulačnej schémy zahrnuté.

Z vyššie uvedených požiadaviek je možné navrhnúť nasledovné scenáre:

- a) Meranie, monitorovanie a riadenie výroby elektrickej energie (smer toku) bude riešený sekundárnym systémom, ktorý nebude spojený so systémom SIMATIC PCS7:
 - Výhody:
 - Jednoduchá a spoľahlivá prevádzka.
 - Zabezpečená údržba počas doby garancie.
 - Možnosť monitorovania aktuálnych nameraných hodnôt.
 - Možnosť zápisu a exportu dát do/z archívu.
 - Nevýhody:
 - Finančne náročné riešenie.
 - Otázna spolupráca so systémom SIMATIC PCS7 pri prípadných rozšíreniach FVE systému a systému tepelného čerpadla.

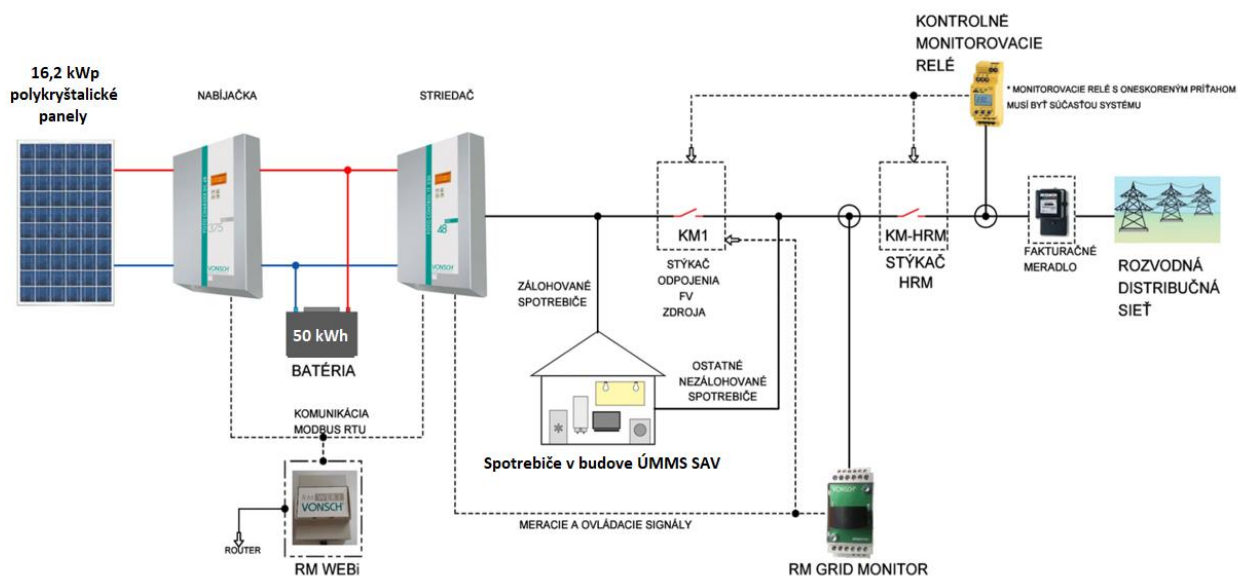
- Náročná inštalácia vyžadujúca mnoho nových komponentov a zariadení.
- b) Riadenie výroby a akumulácie elektrickej energie (smer toku) je zabezpečené samostatným systémom a meranie ďalším nezávislým jednoduchým systémom:
 - Výhody:
 - Jednoduchá a rýchla montáž.
 - Finančne veľmi výhodné riešenie.
 - Možnosť zápisu a exportu dát do/z archívu.
 - Nevýhody:
 - Výstup nameraných údajov je možný len z archívu. Monitorovanie dát v reálnom čase nebude možné (možné len pomocou prídavných zariadení).
 - Mnoho oddelených samostatne pracujúcich systémov, ich spojenie je otáznе.
 - Ďalšie rozšírenia systému bez zásahu do zapojenia a inštalácie ďalších komponentov bez špecialistu takmer nemožné.
- c) Meranie, monitorovanie a riadenie výroby elektrickej energie (smer toku) bude riešený systémom SIMATIC PCS7:
 - Výhody:
 - Počas návrhu technického riešenia je možnosť zoznámiť sa s celým systémom SIMATIC PCS7, a tak sú významné šance na zvýšenie riadenia a spustenie prevádzky tepelného čerpadla.
 - Spoľahlivá prevádzka, a po zoznámení sa so systémom možnosť údržby systému internými pracovníkmi SAV UMMS.
 - Riešenie sa javí ako finančne najperspektívnejšie (s uvážením možností budúcej prevádzky).
 - Možnosť monitorovania aktuálnych nameraných hodnôt.
 - Možnosť zápisu a exportu dát z archívu.
 - Rozšírenie existujúceho riešenia a možnosti ďalších rozšírení v budúcnosti.
 - Nevýhody:
 - Časovo náročné riešenie (Možné zrýchliť kurzom používania, nastavovania a programovania systému SIMATIC PCS7 zabezpečené spoločnosťou SIEMENS).
 - Existujúce riziká oneskorenej prevádzky predĺžovaním protipandemiologických opatrení alebo negatívnym výsledkom štúdie prevádzkyschopnosti systému.

3.2.3 Požiadavky pre akumulačný systém

Systém akumulácie by mal byť napojený na časť FVE [1.], teda na FVE s polykrištálickými FV panelmi s celkovým výkonom 16,2 kWp:

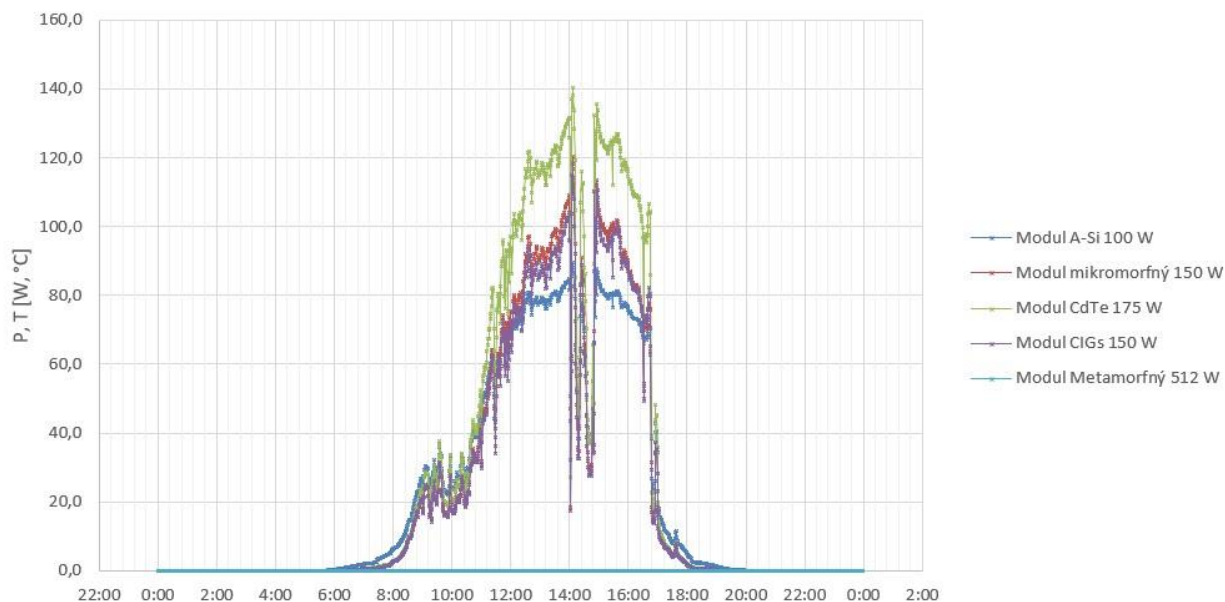
- Podľa typu striedača je nutné prispôbiť návrh akumulátorov, aby nabíjanie/vybíjanie bolo v súlade s prevádzkovými parametrami, a teda:
 - Akumulátor by mal byť zvolený s požadovaným napäťovým pracovným rozsahom,

- o Prvotné analýzy poukazujú na niektoré vhodné možnosti¹.



Obrázok 12 Principiálna bloková schéma vyhotovenia hybridnej FVE

3.3 Grafické priebehy spracovaných údajov

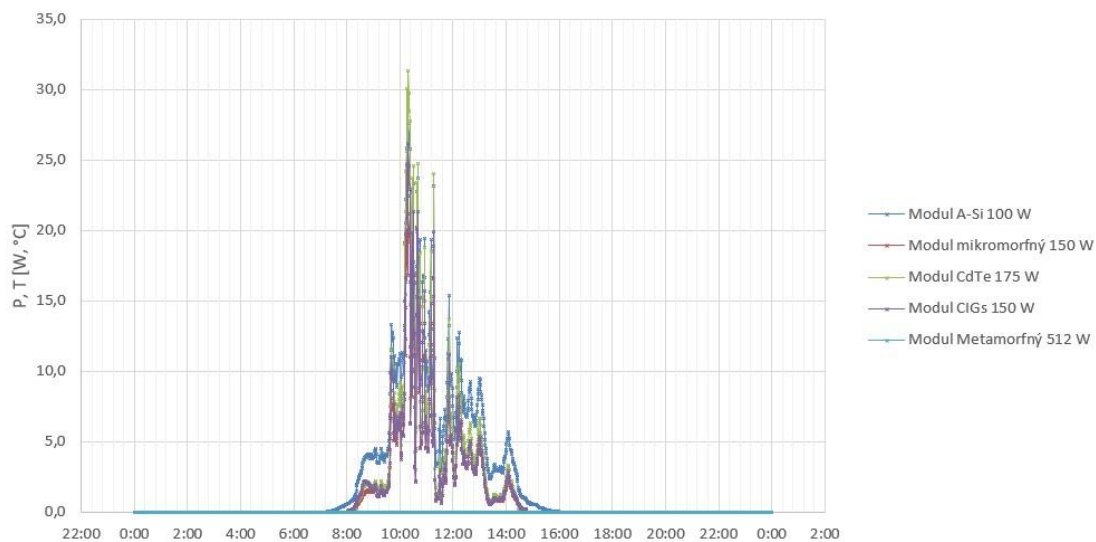


Obrázok 13 (priebeh výkonu v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 15.8.2020

¹ https://www.hlumar.sk/index.php?id_product=1182&controller=product
https://www.hlumar.sk/index.php?id_product=1235&controller=product
https://www.hlumar.sk/index.php?id_product=1100&controller=product
https://www.hlumar.sk/index.php?id_product=1307&controller=product



Obrázok 14 (pribeh žiarenia v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 15.8.2020



Obrázok 15 (pribeh výkonu v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 9.12.2020



Obrázok 16 (pribeh žiarenia v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 9.12.2020

4 DIGITÁLNE DVOJČA

Batériová kalkulačka slúži na základný výpočet optimalizácie dvoch komponentov, a to batérového systému v kombinácii s fotovoltaickou elektrárnou. Tieto dva komponenty sa prakticky najčastejšie používajú v podmienkach Slovenskej republiky a počet takýchto inštalácií je niekoľko stoviek. Súčasťou optimalizácie v praktických aplikáciách reálnych inštalácií vo svetovom meradle sú aj ďalšie komponenty mikrogridov, ktoré sa bežne u nás nevyskytujú. Ide napríklad o elektrolyzér, ktorý je základným komponentom pri výrobe vodíka. Batériová kalkulačka je preto navrhnutá tak, aby ju bolo možné v budúcnosti rozšíriť o ďalšie komponenty. Modelovanie týchto komponentov môže prebiehať mimo prostredia kalkulačky s informáciou o potrebných parametroch uvedenými v tabuľke na obrázku nižšie priamo vo webovom rozhraní kalkulačky. Číselné hodnoty parametrov predstavujú informačné zabezpečenie potenciálneho budúceho rozšírenia aplikácie. Zjednodušený model komponentov napríklad vo forme štatistického modelu môže byť potom zakomponovaný do účelovej funkcie použitej v batériovej kalkulačke.

Príklady technologických prvkov mikrogridu

Elektromer	
Elektrolyzér	
Fotovoltaická elektráreň	
Fotovoltaický panel	
Synchrónny generátor	
Úložisko energie	
Veterná turbína	
Vodná turbína	
Tepelné čerpadlo	
Malá vodná elektráreň – generátor	
Veterná elektráreň – generátor	
Kogeneračná jednotka – generátor	
Kogeneračná jednotka – mikroturbína	

Fotovoltaická elektráreň	
Maximálna denná výroba [Wh] [?]	90000
Maximálna medziminútová diferenciac výkonu [W] [?]	8200
Maximálna medzštvrthodinová diferenciac výkonu [W] [?]	6800
Maximálna mesačná výroba [Wh] [?]	2800000
Maximálna týždenná výroba [Wh] [?]	535500
Maximálny minútový výkon [W] [?]	17800
Maximálny štvrt hodinový výkon [W] [?]	17200
Minimálna denná výroba [Wh] [?]	899
Minimálna mesačná výroba [Wh] [?]	610256
Minimálna týždenná výroba [Wh] [?]	102000
Napätová úroveň [V] [?]	230
Počet panelov [ks] [?]	80
Ročná výroba [Wh] [?]	22831000
Výkon [Wp] [?]	20000

Obrázok 17 Príklady prvkov mikrogridu

4.1 Opis funkcionality batériovej kalkulačky

Cieľom návrhu a realizácie webovej aplikácie pre výpočet inštalovaného výkonu a kapacity bateriek bolo navrhnuť riešenie, ktoré v sebe integruje prvky, ktoré nie sú bežne dostupné, a to je výpočet na základe priebehu spotreby, ktorý systém využíva ako vstup pre detailnejší a presnejší výpočet potrebných technických prvkov fotovoltaickej elektrárne, ktorá je využiteľná pre potreby domácnosti, ale taktiež firiem. V ďalších kapitolách je detailnejšie uvedený opis použitého algoritmu a príklady simulácie výpočtov pre rôzne priebehy spotreby a GPS súradnice.

Webová adresa Batériovej kalkulačky : <https://pvbat.in.sfera.sk/>

4.1.1 Opis použitého algoritmu

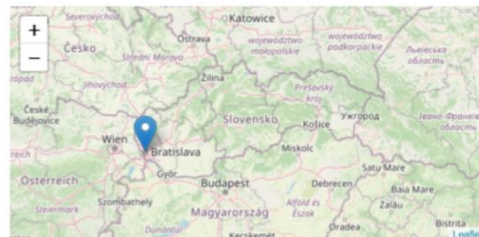
Vstupom pre algoritmus je zadaná lokalita a dva časové rady, z ktorých jeden je súčasťou samotného algoritmu vo forme aplikácie webovej kalkulačky a je reprezentovaný normalizovaným časovým radom výroby výkonu fotovoltaickou elektrárnou na hodnotu 1 kW. Hodnoty tohto radu sú reálne namerané hodnoty z cieľom poskytnúť algoritmu reálnu variabilitu výroby výkonu. Modifikácia časového radu prebieha vynásobením jeho hodnôt, čím sa dosiahne zmena objemu vyrobenej energia, pričom charakter variability, podmienený zmenou meteorologických podmienok, ostáva zachovaný.

Druhý časový rad nie je prednastavenou súčasťou algoritmu a je vložený pomocou rozhrania používateľom aplikácie vo forme .csv súboru s časovým radom jeho spotreby.

Po vložení všetkých vstupov sa priebeh výroby výkonu fotovoltaickej elektrárne prenášobí koeficientom na základe lokality. Koeficient je nastavený tak, že znižuje celkovú výrobu energie o 10 % pre Čadcu ako severnú časť Slovenska v porovnaní s Bratislavou.

- Bratislava: 100%
- Čadca: 90%

$$coef = 1 + 0.1 * \frac{lat_{BA} - lat}{lat_{CA} - lat_{BA}}$$



Obrázok 18 Vzorec výpočtu

Priebeh výroby pre 1 kW sa vynásobí aktuálnym simulovaným výkonom 0 až 10 kW. Chronologicky sa prejdú celé priebehy výroby a spotreby a v každom časovom bode sa vypočíta rozdiel (spotreba vypočítaná od výroby) a výsledok sa spracuje v batérii vo forme nabíjania alebo vybíjania. V rámci algoritmu sa uloží informácia, koľko energie sa v danom čase uložilo alebo odobralo z batérie a koľko sa spotrebovalo alebo odovzdalo do siete. Výstupom sú odsimulované všetky priebehy s batériou pre všetky kombinácie kapacít batérie a výkonov fotovoltaickej elektrárne.

Pre všetky odsimulované priebehy sa vypočíta hodnota účelovej funkcie a zoradia sa od najnižšej hodnoty. Do účelovej funkcie sa použijú hodnoty z odsimulovaných priebehov sčítané za celé simulované obdobie (napr. celková nespotrebovaná energia, celková spotreba zo siete).

Vstupmi sú ďalej odsimulované priebehy, ceny c_1, \dots, c_5 . Účelová funkcia má tvar:

- c_1 * kapacita batérie
 - + c_2 * veľkosť inštalovaného výkonu v kW
 - + c_3 * prebytok energie (energia, ktorú nie je možné spotrebovať)
 - + c_4 * energia spotrebovaná zo siete
 - c_5 * energia spotrebovaná z fotovoltaickej elektrárne a zo siete
- c_i pre $i = \{1, \dots, 5\}$ sú náklady pre komponenty a cenu energie

Výstupom následné sú zoradené najlepšie riešenia, kombinácie kapacity batérie a výkonu fotovoltaickej elektrárne s najnižšou hodnotou účelovej funkcie, ktoré sa následne zobrazia v aplikácii.

4.1.2 Simulácia prípadov použitia (rôzne merania, súradnice GPS)

Simulované príklady predstavujú porovnanie rôznych nákladových variant, rôznej GPS polohy pre použité diagramy spotreby, ktoré predstavujú príklady:

1. Profil spotreby - Domácnosť
 - a. Variant 1
 - i. cenová kategória komponentov - nízka,
 - ii. poloha: Čadca
 - b. Variant 2
 - i. cenová kategória komponentov - nízka
 - ii. poloha: Bratislava
2. Profil spotreby - Malý podnik
 - a. Variant 3
 - i. cenová kategória komponentov - vysoká
 - ii. poloha: Čadca
 - b. Variant 4
 - i. cenová kategória komponentov - vysoká
 - ii. poloha: Bratislava

4.1.3 Variant 1 - Profil spotreby domácnosť, Čadca

Batériová kalkulačka

Výpočet optimálnych parametrov pre odberné miesto ↗


Pre výpočet optimálnej kapacity batérie a optimálneho výkonu PV modulu pre vaše miesto odberu, prosím, nahrajte CSV súbor s vašou spotrebou, zvolte lokalitu miesta na mape a cenovú kategóriu komponentov.

Nahrať súbor Nahraný súbor: domacnost_1.csv

Cenová kategória komponentov:

nízka
 stredná
 vysoká

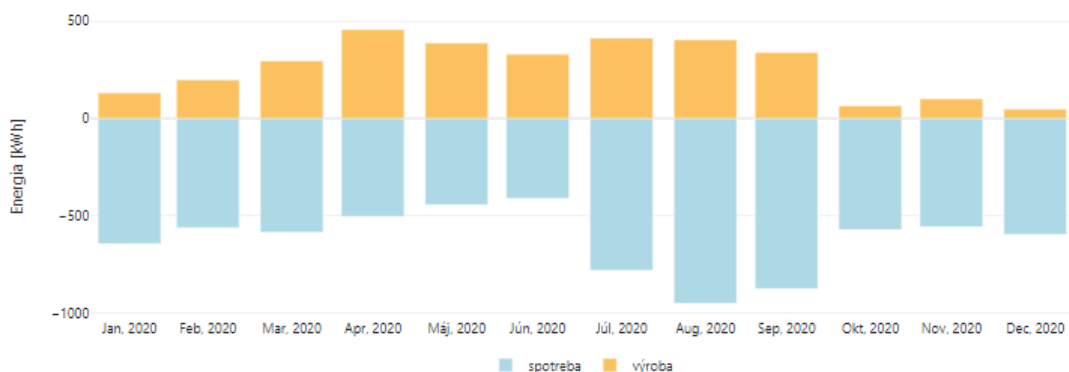
Vypočítať optimálne parametre



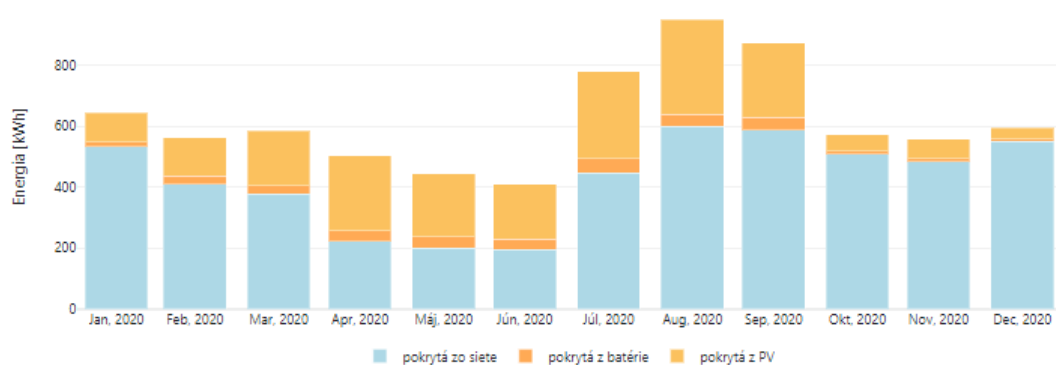
Top 5 optimálnych riešení

⚙	Kapacita batérie [kWh]	⚙ Inštalovaný výkon PV modulu [kWp]	⚙ Sebestačnosť	⚙ Nadprodukcia	⚙ Cena (dané obdobie)	⚙ Cena (denná)	⚙ Cena (ročná)
<input checked="" type="radio"/>	1	3	31,56%	25,36%	245,10€	0,67€	244,55€
<input type="radio"/>	2	3	34,19%	19,14%	295,01€	0,81€	295,65€
<input type="radio"/>	3	3	36,37%	13,99%	348,40€	0,95€	346,75€
<input type="radio"/>	4	4	43,94%	22,05%	399,95€	1,10€	401,50€
<input type="radio"/>	5	4	46,16%	18,12%	455,10€	1,25€	456,25€

Celková spotrebovaná a vyrobená energia [kWh]



Agregovaná spotreba energie [kWh]



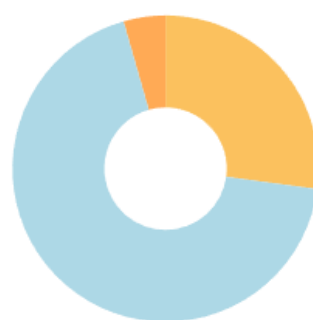
Výrobená energia 3157,70 kWh



■ vlastná spotreba ■ nadbytok energie

Ročná výroba PV	3157,70 kWh
z toho okamžitá spotreba	2025,73 kWh
z toho nabíjanie batérie	331,21 kWh
z toho nadbytok energie	800,76 kWh
Vlastná spotreba energie	74,64%

Spotreba 7466,28 kWh



■ pokrytá z PV ■ pokrytá z batérie ■ pokrytá zo siete

Ročná spotreba	7466,28 kWh
pokrytá z PV	2025,73 kWh
pokrytá z batérie	331,21 kWh
pokrytá zo siete	5109,34 kWh
Podiel solárnej energie	31,57%

Obrázok 19 –Variant 1 Profil spotreby domácnosť, Čadca

4.1.4 Variant 2 - Profil spotreby domácnosť, Bratislava

Batériová kalkulačka

Výpočet optimálnych parametrov pre odberné miesto

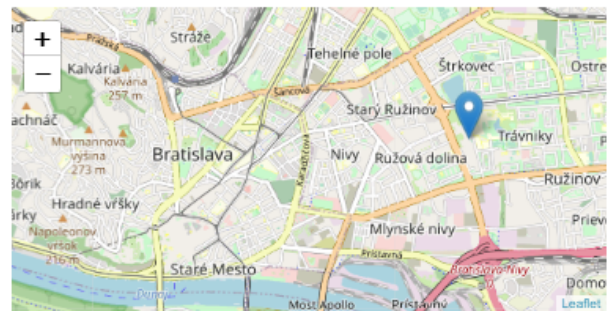
Pre výpočet optimálnej kapacity batérie a optimálneho výkonu PV modulu pre vaše miesto odberu, prosím, nahrajte CSV súbor s vašou spotrebou, zvolte lokalitu miesta na mape a cenovú kategóriu komponentov.

Nahrať súbor Nahraný súbor: domacnost_1.csv

Cenová kategória komponentov:

nízka stredná vysoká

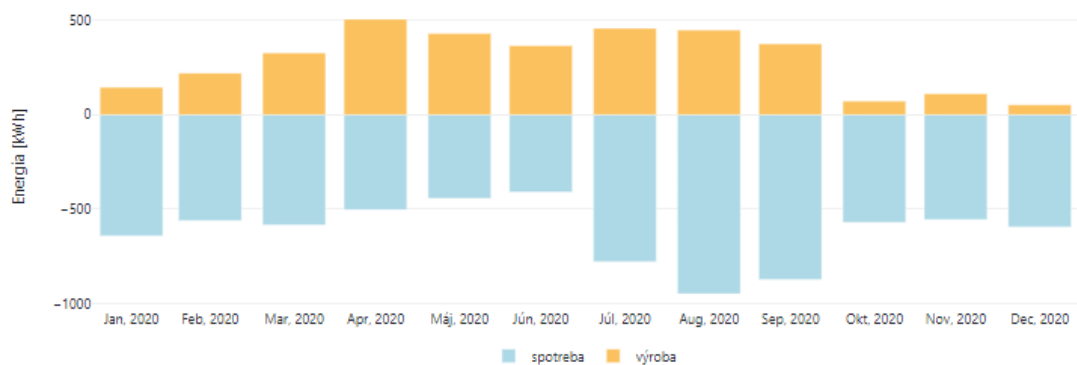
Vypočítať optimálne parametre



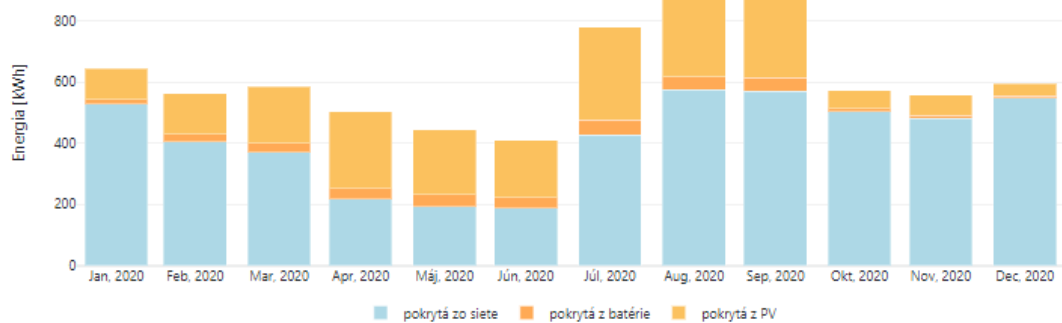
Top 5 optimálnych riešení

	↕ Kapacita batérie [kWh]	↕ Inštalovaný výkon PV modulu [kWp]	↕ Sebestačnosť	↕ Nadprodukcia	▲ Cena (dané obdobie)	↕ Cena (denná)	↕ Cena (ročná)
<input checked="" type="radio"/>	1	3	33,02%	29,71%	243,63€	0,67€	244,55€
<input type="radio"/>	2	3	35,88%	23,62%	291,24€	0,80€	292,00€
<input type="radio"/>	3	3	38,30%	18,48%	342,58€	0,94€	343,10€
<input type="radio"/>	4	3	40,37%	14,08%	397,76€	1,09€	397,85€
<input type="radio"/>	5	4	48,31%	22,88%	450,48€	1,23€	448,95€

Celková spotrebovaná a vyrobená energia [kWh]



Agregovaná spotreba energie [kWh]



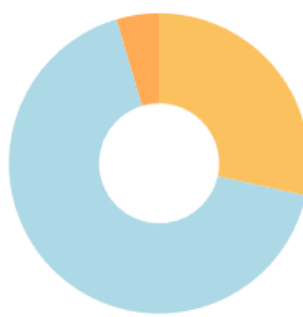
Vyrobená energia 3508,72 kWh



■ vlastná spotreba ■ nadbytok energie

Ročná výroba PV	3508,72 kWh
z toho okamžitá spotreba	2123,59 kWh
z toho nabíjanie batérie	342,76 kWh
z toho nadbytok energie	1042,37 kWh
Vlastná spotreba energie	70,29%

Spotreba 7466,28 kWh



■ pokrytá z PV ■ pokrytá z batérie
■ pokrytá zo siete

Ročná spotreba	7466,28 kWh
pokrytá z PV	2123,59 kWh
pokrytá z batérie	342,76 kWh
pokrytá zo siete	4999,93 kWh
Podiel solárnej energie	33,03%

Obrázok 20 – Variant 2 – profil spotreby domácnosť, Bratislava

4.1.5 Variant 3 - Profily spotreby malý podnik, Čadca

Batériová kalkulačka

Výpočet optimálnych parametrov pre odberné miesto

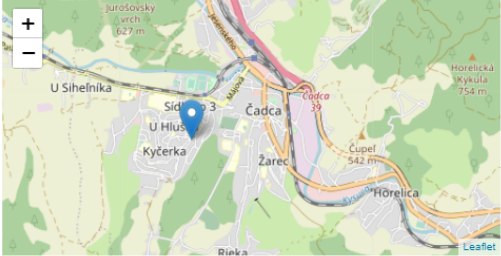
Pre výpočet optimálnej kapacity batérie a optimálneho výkonu PV modulu pre vaše miesto odberu, prosím, nahrajte CSV súbor s vašou spotrebou, zvolte lokalitu miesta na mape a cenovú kategóriu komponentov.

Nahrať súbor Nahraný súbor: maly_podnik.csv

Cenová kategória komponentov:

nízka stredná vysoká

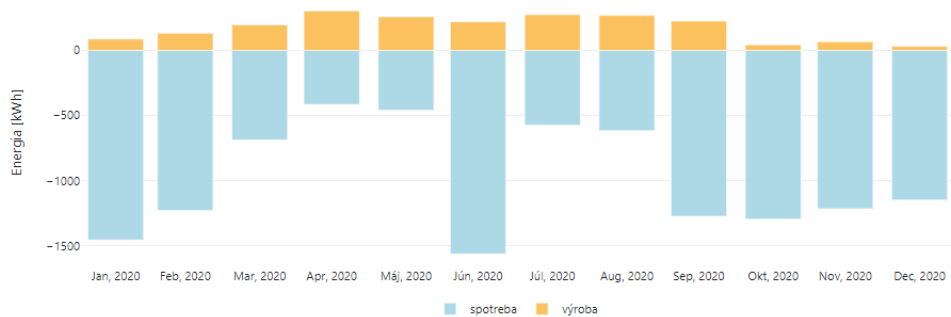
Vypočítať optimálne parametre



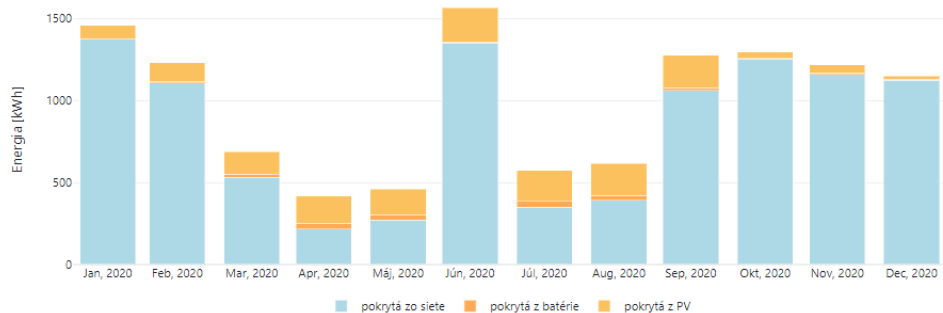
Top 5 optimálnych riešení

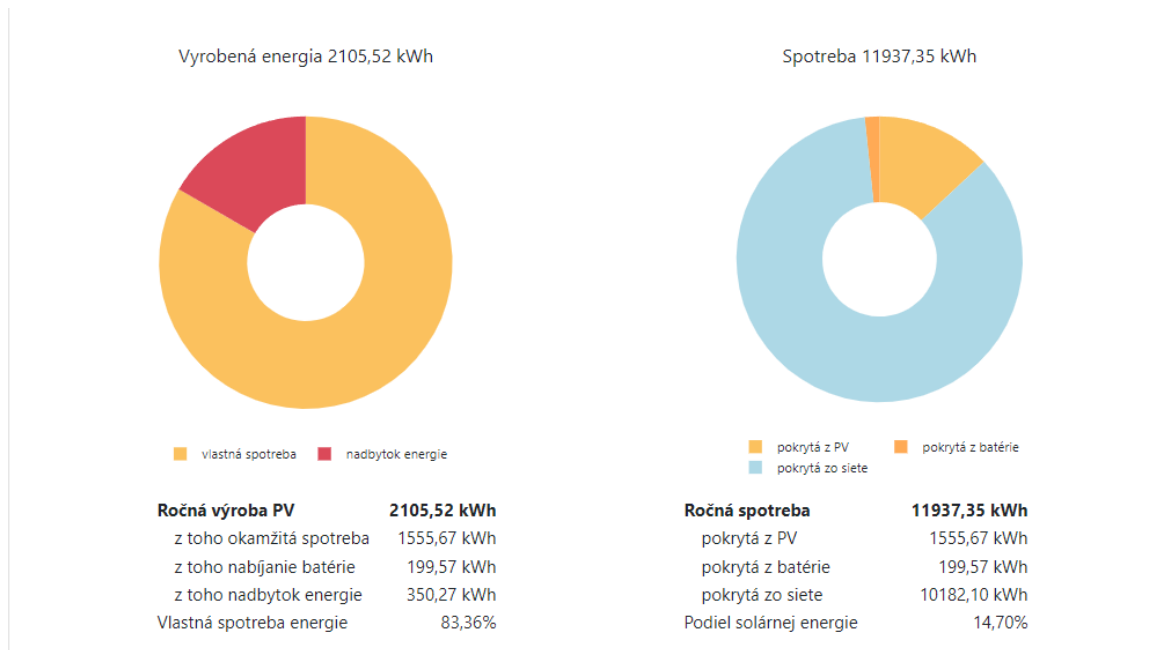
	Kapacita batérie [kWh]	Inštalovaný výkon PV modulu [kWp]	Sebestačnosť	Nadprodukcia	Cena (dané obdobie)	Cena (denná)	Cena (ročná)
<input checked="" type="radio"/>	1	2	14,70%	16,64%	569,30€	1,56€	569,40€
<input type="radio"/>	2	3	19,89%	24,82%	675,46€	1,85€	675,25€
<input type="radio"/>	3	3	21,17%	19,99%	781,06€	2,14€	781,10€
<input type="radio"/>	4	3	22,30%	15,70%	890,35€	2,44€	890,60€
<input type="radio"/>	5	3	23,30%	11,93%	1 002,10€	2,75€	1 003,75€

Celková spotrebovaná a vyrobená energia [kWh]



Agregovaná spotreba energie [kWh]





Obrázok 21 – Variant 3 profil spotreby malý podnik, Čadca

4.1.6 Variant 4 - Profily spotreby malý podnik, Bratislava

Batériová kalkulačka

Výpočet optimálnych parametrov pre odberné miesto ^

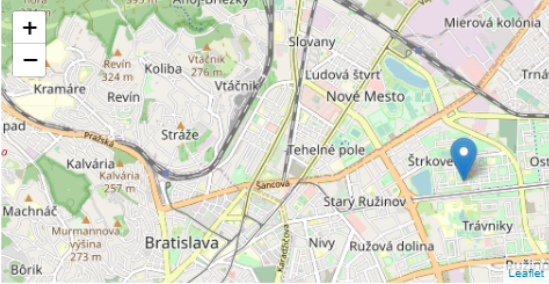
Pre výpočet optimálnej kapacity batérie a optimálneho výkonu PV modulu pre vaše miesto odberu, prosím, nahrajte CSV súbor s vašou spotrebou, zvolte lokalitu miesta na mape a cenovú kategóriu komponentov.

Nahrat súbor Nahraný súbor: maly_podnik.csv

Cenová kategória komponentov:

nízka
 stredná
 vysoká

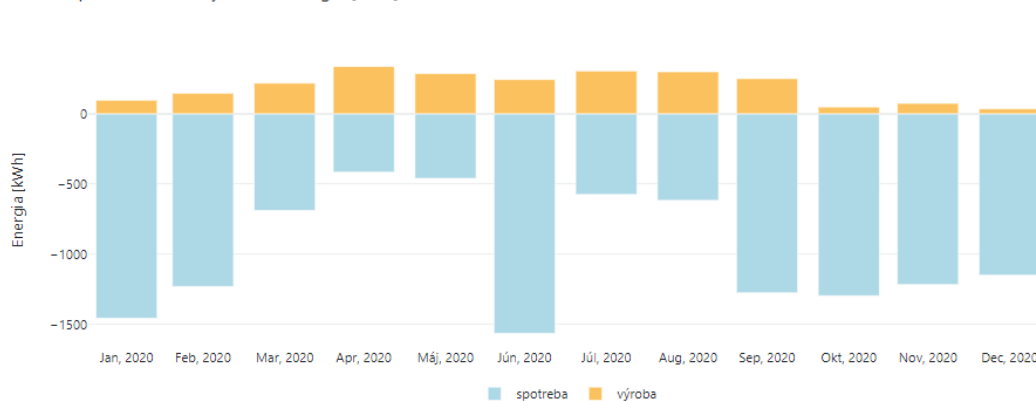
Vypočítať optimálne parametre



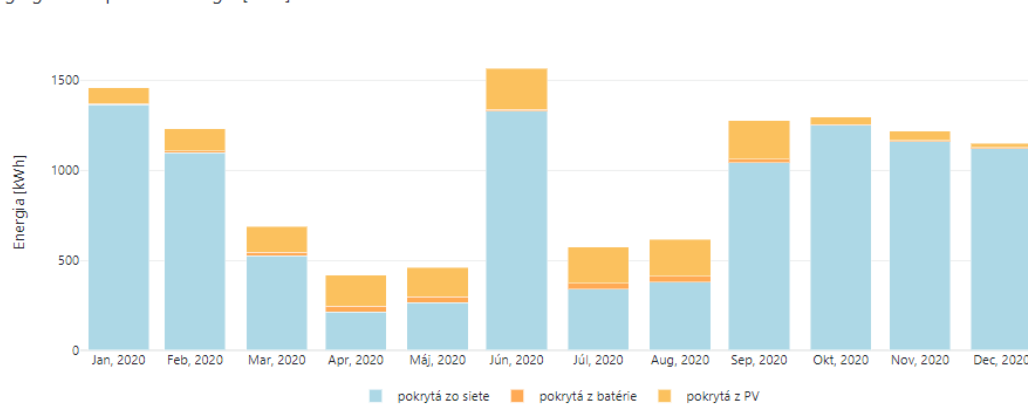
Top 5 optimálnych riešení

⚙	Kapacita batérie [kWh]	⚙	Inštalovaný výkon PV modulu [kWp]	⚙	Sebestačnosť	⚙	Nadprodukcía	⚙	Cena (dané obdobie)	⚙	Cena (denná)	⚙	Cena (ročná)
<input checked="" type="radio"/>	1	<input type="radio"/>	2	<input type="radio"/>	15,64%	<input type="radio"/>	20,15%	<input type="radio"/>	563,74€	<input type="radio"/>	1,54€	<input type="radio"/>	562,10€
<input type="radio"/>	2	<input type="radio"/>	2	<input type="radio"/>	16,79%	<input type="radio"/>	14,28%	<input type="radio"/>	669,91€	<input type="radio"/>	1,84€	<input type="radio"/>	671,60€
<input type="radio"/>	3	<input type="radio"/>	3	<input type="radio"/>	22,38%	<input type="radio"/>	23,82%	<input type="radio"/>	774,40€	<input type="radio"/>	2,12€	<input type="radio"/>	773,80€
<input type="radio"/>	4	<input type="radio"/>	3	<input type="radio"/>	23,63%	<input type="radio"/>	19,57%	<input type="radio"/>	882,34€	<input type="radio"/>	2,42€	<input type="radio"/>	883,30€
<input type="radio"/>	5	<input type="radio"/>	3	<input type="radio"/>	24,74%	<input type="radio"/>	15,77%	<input type="radio"/>	992,83€	<input type="radio"/>	2,72€	<input type="radio"/>	992,80€

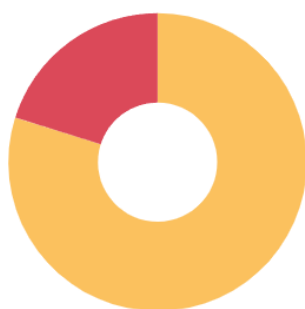
Celková spotrebovaná a vyrobená energia [kWh]



Agregovaná spotreba energie [kWh]



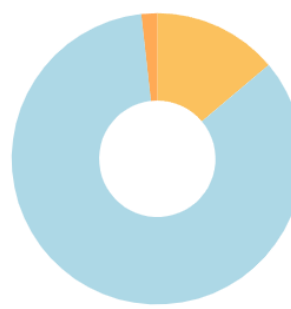
Vyrobená energia 2338,26 kWh



■ vlastná spotreba ■ nadbytok energie

Ročná výroba PV		2338,26 kWh
z toho okamžitá spotreba	1654,91 kWh	
z toho nabíjanie batérie	212,22 kWh	
z toho nadbytok energie	471,13 kWh	
Vlastná spotreba energie	79,85%	

Spotreba 11937,35 kWh



■ pokrytá z PV ■ pokrytá z batérie ■ pokrytá zo siete

Ročná spotreba		11937,35 kWh
pokrytá z PV	1654,91 kWh	
pokrytá z batérie	212,22 kWh	
pokrytá zo siete	10070,22 kWh	
Podiel solárnej energie	15,64%	

Obrázok 22 – Variant 4 profil spotreby malý podnik, Bratislava

4.1.7 Porovnanie s podobnými riešeniami

Väčšina riešení aktuálne dostupných kalkulačiek pre výpočet kapacity batérii a výkonu solárnych panelov je založená na používateľsky zjednodušenom, no veľmi hrubom postupe získania spotreby od potenciálneho zákazníka. Spotreba sa obvykle vkladá ako jedno číslo vyjadrené v kilowatthodinách alebo megawatthodinách za rok. Vyžadované bývajú tiež ďalšie údaje ako sklon strechy, plocha strechy vhodnej na osadenie fotovoltických panelov, typ odberu a vloženie nákladov na elektrinu. Takéto kalkulačky poskytujú vo výstupe častokrát len hrubý odhad s nejasným výpočtovým pozadím.

Navrhovaná webová kalkulačka je unikátna v tom, že dokáže navrhnuť kompletnú mesačnú štatistiku predpokladanej energetickej bilancie systému fotovoltickej elektrárne a batériového úložiska na základe dát vložených používateľom. Takto je možné navrhnuť výpočet na základe presných dát obsahujúcich dôležité štatistické informácie, ako je priemer, smerodajná odchýlka, šikmosť strmost', presný objem energie, maximálna a minimálna hodnota odberu, tvar krivky spotreby, detekciu extrémnych hodnôt a podobne.

Výhodou je jednoduchosť, pretože konkurenčne riešenia požadujú od zadávateľa vedomosti, ktoré nemusí mať alebo je časovo náročne získať ich. Webová kalkulačka navrhnutá v tomto riešení prenáša celú váhu zadávania spotreby len na stiahnutie priebehu spotreby napr. od dodávateľa elektrickej energie, pozri kapitola nižšie a výberu cenového variantu pre solárne panely a batériu. Konkurenčne riešenia zvyčajne neponúkajú ani detailný pohľad na priebeh spotreby a jej pokrytia po jednotlivých časových periódach (napr. mesiacoch) a taktiež ani o prebytkoch, ktoré môže potenciálne vzniknúť a mohli by byť komerčne využívané (pozri kapitola nižšie, prepočet jednotlivých variant profilov spotreby).

Navrhovaná webová kalkulačka je unikátna aj v tom, že ponúka grafické vykreslenie výstupov optimalizácie, čo napomáha pochopeniu a porozumeniu predpokladaného správania sa energetického systému.

Zhrnutie hlavných výhod oproti podobným voľne dostupným riešeniam:

1. Detailný prehľad pokrytia spotreby po mesiacoch (podľa požiadaviek praxe je možné zaviesť aj týždenné alebo štvrtročné prehľady).
2. Zobrazenie prebytkov (nadprodukcie).
3. Rôzne cenové varianty.
4. Pohľad na pokrytie spotreby z baterky, solárnych panelov a zo siete.
5. Dáta odovzdané používateľom umožňujú vypracovanie komplexnej štatistiky odberu. Sem patrí deskriptívna štatistika časových radov, analýza v časovej a frekvenčnej doméne, analýza predikovateľnosti, klasifikácia odberu a analýza výskytu anomálií a extrémnych hodnôt.

4.1.8 Popis procesu – získanie dát (priebeh spotreby)

Ako vstup pre batériovú kalkulačku slúži .csv súbor s 15 min. priebehom meraní. Takéto merania ma v súčasnosti dostupné väčšina odberateľov v zmysle zavádzania IMS meradiel na Slovensku na základe vyhlášky Vyhláška č. 358/2013 Z. z. ma koncový odberateľ možnosť prístupu k prehľadu priebehu svojich meraní prostredníctvom webového sídla svojho dodávateľa elektriny alebo prostredníctvom portálu príslušného prevádzkovateľa distribučnej siete.

Na základe aktuálnej situácie na trhu v roku 2023 je teda možné pre všetkých odberateľov dostať sa k priebehu svojich meraní zvyčajne už nasledujúci deň po vykonaní diaľkového odpočtu z meradiel.

4.1.9 Architektúra aplikácie

Aplikácia pre batériovú kalkulačku sa skladá z dvoch kľúčových častí:

1. Webové rozhranie,
2. REST API služby.

Webové rozhranie slúži ako používateľské rozhranie pre zobrazenie a riadenie bariérovej kalkulačky. Rest API služby slúžia na komunikáciu so serverovou časťou systému.

Aplikácia je implementovaná ako webová aplikácia. Aplikácia je vytvorená pomocou nasledovných technológií:

- React,
- Python,
- Docker.

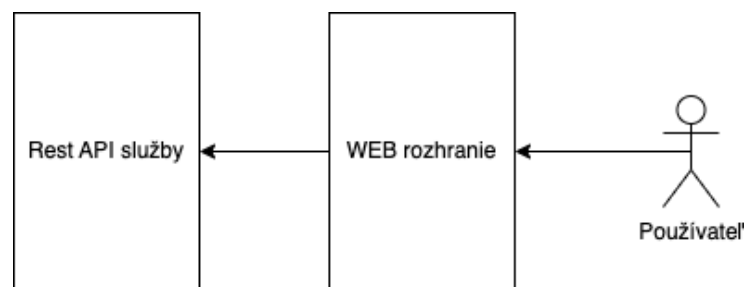
React ako framework pre tvorbu webového používateľského rozhrania, bol použitý na vytvorenie samostatnej UI vrstvy. Táto UI vrstva komunikuje prostredníctvom Rest API služieb s biznis modelom, ktorý poskytuje operácie a dáta. Biznis model bol implementovaný pomocou Python-u. Hostovanie a sprístupnenie aplikácie je prostredníctvom technológie Docker. Všetky zvolené technológie a frameworky sú open source.

Tabuľka 2 Zoznam endpointov

Názov	Endpoint
Používateľské rozhranie	https://pvbat.in.sfera.sk

4.1.10 Logický model aplikácie

Na nasledujúcom obrázku je vidieť základný logický model pre aplikáciu.



Obrázok 23 Logický model aplikácie

4.1.10.1 Typy rozhraní

Systém obsahuje dve kľúčové rozhrania, a to rozhranie medzi webovým rozhraním a používateľom a medzi API rozhraním a webovým rozhraním.

Tabuľka 3 Zoznam integrácií

Rozhrania	Systém	Popis
A1	Web -> používateľ	Používateľské rozhranie

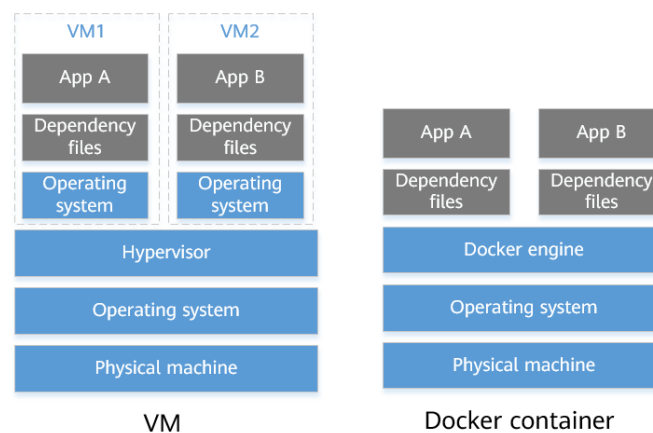
Rozhrania	System	Popis
A2	API -> Web	HTTP Rest API

4.1.10.1.2 Komponenty systému

- **Web** - komponent, ktorý zabezpečuje používateľské rozhranie prostredníctvom webového rozhrania.
- **API** - komponent, ktorý zabezpečuje REST API služby pre používateľské rozhranie.

4.1.10.1.3 Fyzická architektúra systému

Služba pre „batériovú kalkulačku“ je vytvorená tak, aby sa dala prevádzkovať v docker kontajneroch (kontajnerizácia). V dnešnej dobe je to najmodernejší spôsob prevádzkovania informačných systémov. V rámci tohto projektu bol jeden z cieľov vyskúšať tento spôsob, aby sme využili jeho výhody voči štandardnej prevádzke vo virtuálnych serveroch (virtualizácia).



Obrázok 24 Docker kontajner vs Virtuálne servery (VM)

Na obrázku je vidieť porovnanie dvoch najpoužívanejších možností prevádzkovania informačných systémov, a to:

- VM - Virtualizácia,
- Docker container – Kontajnerizácia.

Virtualizácia – je technológia umožňujúca prevádzkovať viac nezávislých virtuálnych serverov na jednom fyzickom servere. Prevádzka informačných systémov vo virtuálnom prostredí (voči prevádzke na fyzickom prostredí) je výhodná hlavne z bezpečnostného a ekonomického dôvodu.

Kontajnerizácia – je virtualizácia za použitia menšieho množstva systémových zdrojov. Aplikácie sú prevádzkované v dockeroch. Docker obsahuje minimálne systémové prostriedky potrebné pre prevádzku aplikácie. Prevádzka pomocou docker kontajnerov je výhodná hlavne z pohľadu náročnosti nasadenia aplikácií, závislosti aplikácií na operačnom systéme a aktualizácií aplikácií a prostredia.

Tabuľka 4 Zoznam kontajnerov

Názov kontajnera	Image	
ld-web	nginx:latest	Kontajner pre webový server

4.1.10.1.4 Prostredia

Služba pre „batériovú kalkulačku“ je prevádzkovaná v jednom vývojovom prostredí na infraštruktúre spoločnosti sféra, a.s.

Tabuľka 5 Zoznam prostredí

Názov	Doména	Infraštruktúra
Vývojové prostredie	https://pvbat.in.sfera.sk	HW spoločnosti sféra, a.s.

4.1.10.1.5 Bezpečnosť

Bezpečnosť systému je riešená na úrovni infraštruktúry, ale aj na úrovni aplikačnej vrstvy. Infraštruktúra, do ktorej je systém inštalovaný, je budovaný s ohľadom na vysokú dostupnosť a s požiadavkou na minimalizáciu rizika straty dát. Všetky používateľské aj automatizované rozhrania systému sú zabezpečené voči neautorizovanému vstupu, a sú publikované ako zabezpečené prostredníctvom SSL protokolu.

4.1.10.1.6 Autentifikácia

Autentifikácia je proces identifikácie a overenia identity používateľa pri vstupe do informačného systému. V systéme pre domácu karanténu je autentifikácia používateľov zabezpečená pomocou autentifikačného modulu. Autentifikácia je jednofaktorová s použitím prihlasovacieho mena a hesla. Pri vstupe používateľa do systému autentifikačný modul overí zadané meno a heslo používateľa.

5 ZÁVER

Ako prototyp mikrogridu pre overenie funkčnosti jednotlivých častí navrhovaného riešenia boli vybrané zariadenia laboratórií, ktoré sú podrobne opísané v kapitolách č. 2 a č. 3 tohto dokumentu. Dáta, ktoré boli získané zo zariadení daných laboratórií, predstavujú spoločnú údajovú základňu pre overovanie jednotlivých funkčných oblastí navrhovaného riešenia a pre vyhodnotenie ich vhodnosti a dostatočnosti pre modelovanie a simulácie inteligentných sietí/mikrogridov.

Všetky hlavné komponenty vytvoreného riešenia – databázová základňa, zberová centrála a simulačno/predikčné prostredie boli v tejto fáze projektu riešenia čiastočne prepojené. Pokrývajú meranie, zber nameraných údajov, správu dát uložených v jednotnej databáze a aplikácie využívajúce spoločnú databázu.

Dôležitým komponentom navrhovaného riešenia je aj Modelovanie a vizualizácia, ktorý zabezpečuje používateľsky prívetivý nástroj pre vytváranie a modifikáciu grafických modelov. V rámci vývoja prototypu bol tento nástroj vybudovaný na špecializovaných softvérových nástrojoch a bola overená navrhovaná funkčnosť celého podsystemu pre modelovanie a vizualizáciu. Podrobný popis a výsledky z overovania sú uvedené v kapitole č. 4 tohto dokumentu. Prototyp tejto časti riešenia potvrdil vhodnosť pripravovaných prostriedkov pre modelovanie inteligentných sietí/mikrogridov. V časti dokumentu popisujúcej vytvorenie batérovej kalkulačky, sa zaoberáme popisom vytvoreného webového portálu samotnej kalkulačky, opis použitého algoritmu ako podklad k výpočtom, simulácia prípadov použitia. Ponúkame analýzu štyroch rôznych profilov spotreby, a to pre domácnosti lokalizované v Čadci a Bratislave a pre malý podnik taktiež v Čadci a Bratislave. Analyzujeme aj porovnanie s inými existujúcimi riešeniami na trhu. Súčasťou kapitoly je aj popis logického modelu aplikácie, architektúra aplikácie a popis procesu získania dát.

6 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 – Časti navrhovaného riešenia v rámci celkovej architektúry.....	4
Obrázok 2 Skalár a elektromer inštalovaný v serverovni/merací bod situovaný v batérovom úložisku..	6
Obrázok 3 Smart metering odberu tepelného čerpadla/Merací bod – fotovoltická elektrárň.....	6
Obrázok 4 Tepelné čerpadlo	7
Obrázok 5 Batériový akumulačný systém	8
Obrázok 6 Parabolický solárny koncentrátorový zdroj	9
Obrázok 7 Bioplynová stanica	9
Obrázok 8 Kogeneračná jednotka	10
Obrázok 9 Slnéčné panely	11
Obrázok 10 Solárny panel a veterná turbína.....	11
Obrázok 11 Situácia strešnej FVE UMMS SAV a jej jednotlivých častí.....	12
Obrázok 12 Principiálna bloková schéma vyhotovenia hybridnej FVE	17
Obrázok 13 (pribeh výkonu v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 15.8.2020	17
Obrázok 14 (pribeh žiarenia v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 15.8.2020	18
Obrázok 15 (pribeh výkonu v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 9.12.2020	18
Obrázok 16 (pribeh žiarenia v rámci dňa zo sprac. údajov v 1-min. intervale) 9.12.2020	18
Obrázok 17 Príklady prvkov mikrogridu	19
Obrázok 18 Vzorec výpočtu	20
Obrázok 19 –Variant 1 Profil spotreby domácnosť, Čadca.....	22
Obrázok 20 – Variant 2 – profil spotreby domácnosť, Bratislava	24
Obrázok 21 – Variant 3 profil spotreby malý podnik, Čadca	26
Obrázok 22 – Variant 4 profil spotreby malý podnik, Bratislava.....	27
Obrázok 23 Logický model aplikácie	29
Obrázok 24 Docker kontajner vs Virtuálne servery (VM)	30

7 ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1	Parametre tepelného čerpadla.....	7
Tabuľka 2	Zoznam endpointov	29
Tabuľka 3	Zoznam integrácií.....	29
Tabuľka 4	Zoznam kontajnerov	30
Tabuľka 5	Zoznam prostredí	31