

Vytvorenie dátových štruktúr jednotlivých prvkov v relačnej databáze

*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:

Beňo Michal, Holíš Martin, Minárik Michal

Ostatní autori:

Burget Radim, Moško Daniel, Novotný Jozef, Šmihula Martin, Ambrús Ladislav, Karvašová Lívia,
Molnár Marek, Hudec Miroslava, Hofierka Peter, Haluška Andrej, Kukan Martin

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 DÁTOVÉ ŠTRUKTÚRY DATABÁZY A DÁTOVÝCH ENTÍT	6
2.1 Dátový model.....	6
2.1.1 Návrh štruktúry DB a entít pre modelovanie sústavy.....	6
2.2 Základné entity a moduly riešenia.....	6
2.2.1 Hierarchické zobrazenie	8
3 TYPY ZARIADENÍ V RELAČNEJ DATABÁZE.....	9
3.1 Zariadenia laboratórií SAV a STÚ	9
3.1.1 Zariadenia v laboratóriu FVE SMART GRID ÚMMS SAV	9
3.1.1.1 FVE systém aSi	9
3.1.1.2 FVE systém polykrištál	9
3.1.1.3 FVE systém CIS	9
3.1.1.4 3 otočné systémy s koncentrickými hybridnými fotovoltaickými panelmi	10
3.1.1.5 FVE s experimentálnymi FV panelmi	10
3.1.2 Zariadenia v laboratóriu LVN STU	10
3.1.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch – voda AC.....	11
3.1.2.2 Batériový akumulačný systém	11
3.1.2.3 Solárny koncentrátor s expanzným tlakovzdušným strojom Strirlingovho typu.....	12
3.1.2.4 Experimentálna bioplynová stanica so suchou fermentáciou	12
3.1.2.5 Kogeneračná jednotka 20 kWe na zemný plyn a bioplyn	12
3.1.2.6 Fotovoltaická elektráreň.....	13
3.1.2.7 Ostrovný solárno-veterný systém	13
3.1.3 Model mikrogridu.....	13
3.2 Databázové štruktúry vytvorené pre digitálne dvojča zariadení v laboratóriách SAV a STU	14
3.2.1 Elektromer.....	15
3.2.2 Elektrolyzér	16
3.2.3 Fotovoltaická elektráreň.....	18
3.2.4 Fotovoltaický panel	19
3.2.5 Generátor synchronný	20
3.2.6 Úložisko energie.....	22
3.2.7 Veterná turbína	23
3.2.8 Vodná turbína.....	24
3.2.9 Tepelné čerpadlo	26
3.2.10 Serverovňa.....	27
3.2.11 Vlastná spotreba laboratória	28
3.2.12 Malá vodná elektráreň – generátor	28
3.2.13 Veterná elektráreň – generátor	29
3.2.14 Kogeneračná jednotka – generátor.....	30
3.2.15 Kogeneračná jednotka – mikroturbína	32
3.3 Zberová centrála.....	33
4 GRAFICKÉ ZOBRAZENIE ZARIADENÍ DIGITÁLNEHO DVOJČA.....	34

4.1	Grafické prostredie prototypu CE2/DB	34
4.2	Technická schéma Laboratória Trnávka	36
5	SIMULÁCIE A ANALÝZY	37
5.1	Opis predikčných metód	37
5.1.1	KNN + centroidy	37
5.1.2	KNN + MLR	38
5.1.3	KNN + RF	40
5.1.4	SVR + PSO	41
5.1.5	UNET	42
5.2	Dosiahnuté výsledky	44
6	PARAMETRE PRODUKCIE A NÁKLADOV	47
6.1.1	Analýza problematiky	47
6.1.2	Predikovanie spotreby elektrickej energie	47
6.1.3	Parametre produkcie a nákladov	48
7	ZÁVER	50
8	ZOZNAM OBRÁZKOV	51
9	ZOZNAM TABULIEK	53

1 ÚVOD

Dokument bol vytvorený, zavedený a udržiavaný v súlade s cieľom Aktivity č.5: „Priemyselný výskum v oblasti optimalizácie dátových štruktúr prvkov elektrizačnej sústavy pre modelovanie a simuláciu inteligentných sietí/mikrogridov“; konkrétne pre míľnik č.4 „Vytvorenie dátových štruktúr jednotlivých prvkov v relačnej databáze“.

Obsah míľníka č.4 sa opiera o výsledky dosiahnuté v predchádzajúcich prácach Aktivity č.5 míľníkov č.1, č.2 a č.3, ktoré sú dôležitým východiskom pre návrh dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie elektrizačnej sústavy.

Jadrom navrhovaného riešenia je Databáza modelu siete, ktorá zabezpečuje oblasť správy dát. Databáza obsahuje informácie o relevantných prvkoch siete (výrobné zariadenia, zariadenia pre akumuláciu energií, odberné miesta, elektromery, meracie body,...), informácie o ich technických parametroch (inštalovaný výkon, maximálna rezervovaná kapacita,...), informácie o prepojeniach medzi prvkami a o technických vlastnostiach prepojenia (napäťová úroveň,...), namerané údaje (z inteligentných meracích systémov, z IoT senzorov), výsledky analýz a simulácií.

V rámci predchádzajúcich míľníkov Aktivity č.5 bol analyzovaný široký rozsah dát potrebných pre modelovanie ES a široký rozsah vonkajších vplyvov a vzájomných interakcií prvkov ES v ustálených a prechodových javoch na dátové štruktúry modelov.

Cieľom míľníka č.4 je popísať vytvorenú relačnú databázu, ktorá vznikla vytvorením inštancie prototypu CE2/DB, so všetkými uvažovanými entitami a ich parametrami pokrývajúcimi aspekty modelovania mikrogridu.

Dokument bude popisovať hlavné entity navrhovanej databázy odvíjajúce sa z predpokladaných simulácií a analýz predkladaného riešenia, ktoré budú zamerané najmä na optimalizačné bilančné úlohy v rámci mikrogridu. Riešenie prináša budovanie moderného databázového simulačného prostredia, ktoré bude poskytovať nielen otvorenú databázu prvkov inteligentnej siete, ale bude prepájať model digitálnej siete s údajmi získanými z meraní. Ďalej sa predpokladá, že systémové analýzy budú zamerané na schopnosť navrhovaných sietí mikrogrid účinne adaptovať rôznorodú zdrojovú a spotrebiteľskú štruktúru v nich so zohľadnením očakávaných legislatívnych požiadaviek, vývoja cien elektriny a dotačnej politiky zo strany štátu.

Míľník č.4 poskytne prehľad uvažovaných zariadení, ktoré sú súčasťou laboratórií partnerských areálov. Vďaka vytvoreniu grafického modulu v prototypu inštancie CE2/DB bude možné vytvorené zariadenia digitálneho dvojčaťa reálne prepojiť medzi technickou grafickou schémou a databázovými objektami.

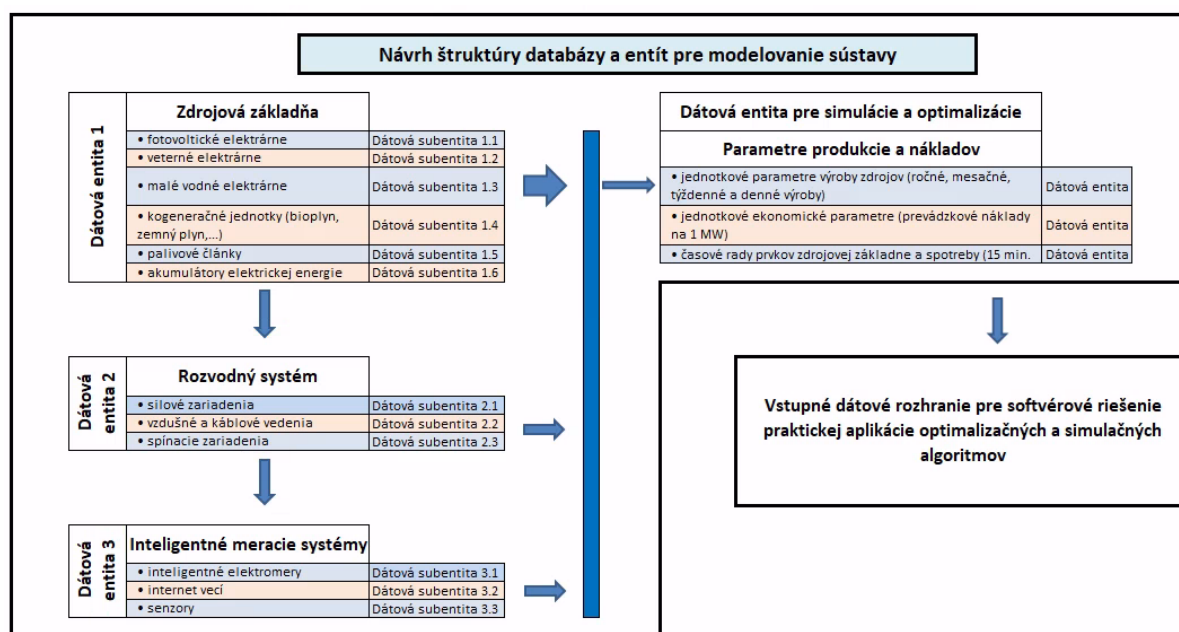
2 DÁTOVÉ ŠTRUKTÚRY DATABÁZY A DÁTOVÝCH ENTÍT

2.1 Dátový model

Dátový model vychádza z overeného spôsobu ukladania objektov v hierarchickej štruktúre vychádzajúcej z kombinácie fyzického umiestnenia objektov a ich logického usporiadania. V takto vytvorenom „strome“ objektov budú evidované objekty predstavujúce logickú úroveň (napr. funkčné miesto objektu), ako aj objekty predstavujúce fyzické zariadenia (napr. solárny panel).

Návrh dátového modelu, návrh objektového stromu, typy objektov a zoznam ich parametrov/položiek bol podrobne popísaný vo výstupnom dokumente mílnika č. 3, v kapitolách 2.2, 2.3, 2.6 a 2.7.

2.1.1 Návrh štruktúry DB a entít pre modelovanie sústavy



Obrázok 1 - Návrh štruktúry databázy a entít pre modelovanie sústavy

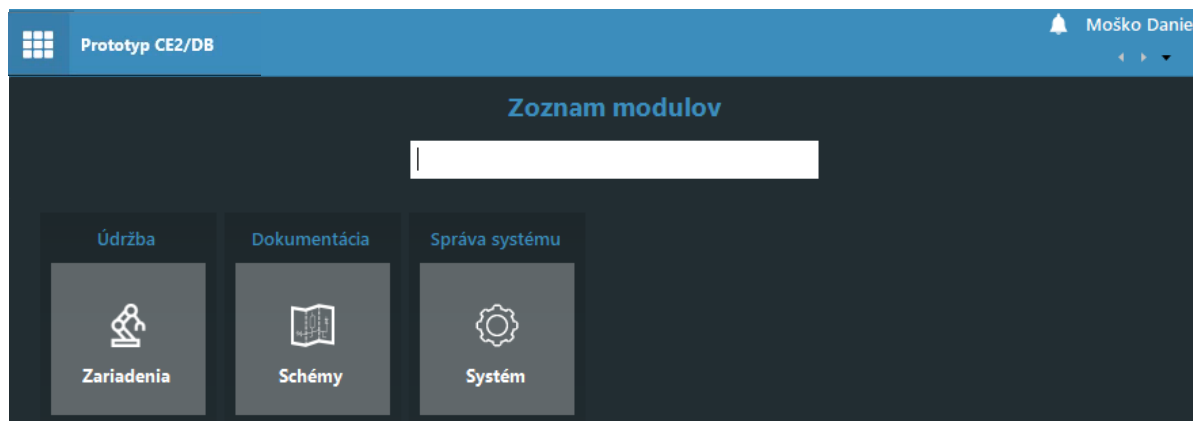
2.2 Základné entity a moduly riešenia

Základnými entitami v evidencii prototypu sú nasledovné prvky siete:

- odberné miesto
- elektromer
- fotovoltaická elektráreň
- generátor
- kogeneračná jednotka
- spaľovacia turbína
- zariadenie na uskladňovanie energie
- spotrebič
- malá veterná turbína
- tepelné čerpadlo

- vedenie formou kábla
- transformátor
- palivový článok

Prototyp CE2/DB pozostáva z troch modulov, ktoré zobrazujú a riadia entity a ich dáta v systéme.



Obrázok 2 – Úvodná obrazovka aplikácie

Modul **Zariadenia** je určený na evidenciu zariadení a ich správu. Pod zariadením sa rozumie akékoľvek vybavenie, ktoré chcete evidovať. Tieto zariadenia sú v systéme reprezentované ako objekty. Zariadenia, rovnako ako objekty, môžu byť veľmi rôznorodé, a teda potrebujú evidovať rôzne údaje. To je určené *Typom objektu* a *Triedou typu objektu*. Preto pre rôzne zariadenia môžu obrazovky obsahovať rôzne údaje.

Evidované sú predefinované sady parametrov entity v závislosti od typu prvku siete a podporené je aj definovanie hierarchických vzťahov medzi nimi. Databáza tiež uchováva konfigurovateľné číselníky, ktoré je možné používať ako hodnoty parametrov prvkov. Prototyp správy dát overí nasledovné oblasti:

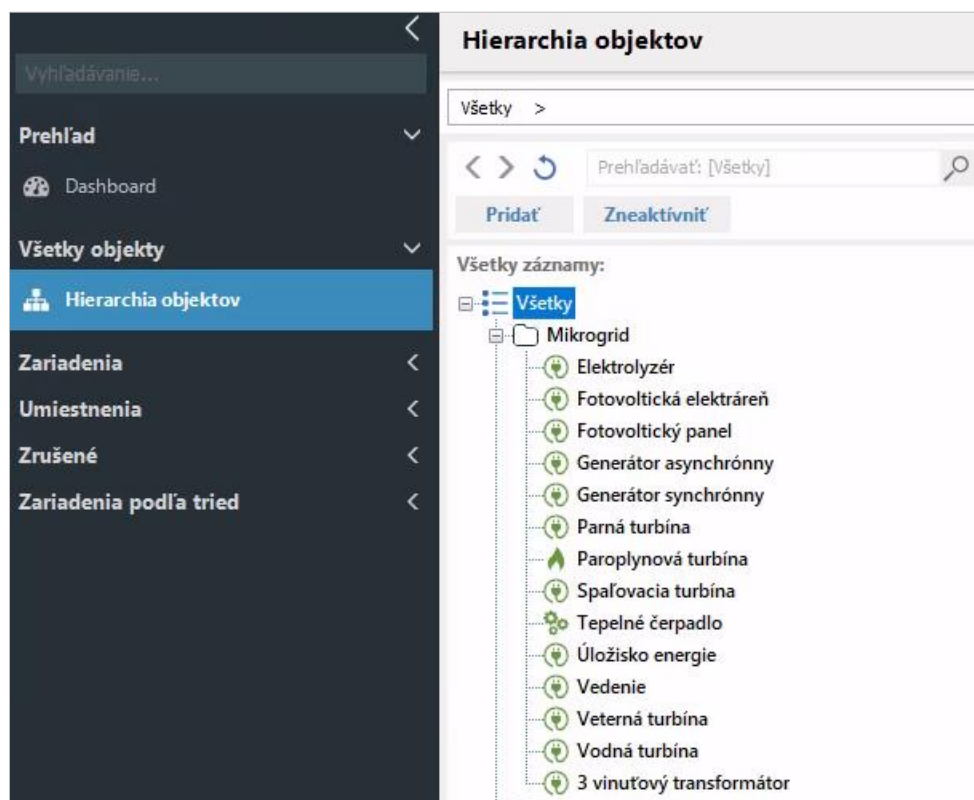
- Evidencia prvkov siete
- Topológia siete
- Správa technickej dokumentácie
- Reportovanie



Obrázok 3 – Funkčné oblasti návrhu relačnej databázy

2.2.1 Hierarchické zobrazenie

Medzi nosné prvky aplikácie Prototypu CE2/DB patrí objektový strom, ktorý hierarchicky zoraduje vytvorené objekty zariadení. Je možné vytvoriť hlavný uzol, resp. objekt umiestnenia (geolokalizovaný), pod ktorým viete štruktúry podobjektov budovať hierarchicky. Vytvorené objekty sa dajú premiestňovať, resp. zneplatňovať, pokiaľ je potrebné vykonať ich náhradu.



Obrázok 4 – Zobrazenie hierarchického objektového stromu

3 TYPY ZARIADENÍ V RELAČNEJ DATABÁZE

3.1 Zariadenia laboratórií SAV a STÚ

V partnerských areáloch laboratórií Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied a Laboratória vysokých napätí Slovenskej technickej univerzity je v prevádzke niekoľko typov zariadení typu OZE, pre ktoré boli v relačnej databáze a v samotnej databázovej aplikácii Prototyp CE2/DB vytvorené objektové štruktúry. V nasledujúcich podkapitolách prinášame zoznam týchto zariadení, parametrov ktoré zariadenia merajú, merané veličiny a granularitu meraní.

3.1.1 Zariadenia v laboratóriu FVE SMART GRID ÚMMS SAV

V laboratóriu FVE Smart Grid Ústavu materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied sa nachádza niekoľko zariadení, ktorých digitálny obraz bol vytvorený v databáze inštalácie prototypu CE2/DB. Na základe reálnych zariadení boli vytvorené objektové štruktúry s parametrami a mernými jednotkami. V podkapitolách nižšie je celkový zoznam týchto zariadení a ich vlastnosti.

3.1.1.1 FVE systém aSi

FVE so 69 ks polykrištalickejšími (aSi) 235 Wp FV panelmi s inštalovaným elektrickým výkonom 16,2 kWp vrátane 1ks trojfázového striedača SINVERT PVM 17.

- 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.

3.1.1.2 FVE systém polykrištál

FVE systém s 9 ks polykrištalickejšími 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 48V.

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).

3.1.1.3 FVE systém CIS

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.

- 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.

3.1.1.4 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 SOLAREGE SE3000.

V súčasnosti je systém nefunkčný a nosná konštrukcia jedného otočného systému sa upravuje na inštaláciu polykryštalických panelov (z odobratého 1 stringu zo systému [kapitola 3.1.1.2]).

Označenie striedača v schémach je „GS3“ FV články sú do striedača zapojené cez 2 stringy po 8 ks FV článkov.

Výkon z FVE je vyvedený do siete (Trafostanica TS 197 v areáli SAV), momentálne mimo prevádzky.

3.1.1.5 FVE s experimentálnymi FV panelmi

FVE systém so 7 ks experimentálnymi FV panelmi rôznej technológie. Systém obsahuje:

- Amorfny 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)

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.

3.1.2 Zariadenia v laboratóriu LVN STU

V laboratóriu LVN (Laboratórium vysokých napätí) Slovenskej technickej univerzity, ktorej prevádzkovateľom je Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, prostredníctvom Ústavu elektroenergetiky a aplikovanej elektrotechniky (ďalej len ÚEAE); sa nachádza niekoľko zariadení, ktorých digitálny obraz bol vytvorený v databáze inštancie prototypu CE2/DB. Na základe reálnych zariadení boli vytvorené objektové štruktúry s parametrami a mernými jednotkami. V podkapitolách nižšie je celkový zoznam týchto zariadení.

V laboratóriu LVN prístroje zbierajú *elektrické veličiny týkajúce sa nasledovných zariadení:*

- výroba FVE zariadenia
- NN privod
- spotreba serverovne
- spotreba tepelného čerpadla

Pre všetky zariadenia sa s minútovým zberom zbierajú nasledovné údaje:

- Napätie fázy L1
- Napätie fázy L2
- Napätie fázy L3
- Prúd vo fáze L1

- Prúd vo fáze L2
- Prúd vo fáze L3
- Odber
- Dodávka
- Jalová energia QI
- Jalová energia QII
- Jalová energia QIII
- Jalová energia QIV

Raz mesačne sa pre spomínané zariadenia zbierajú doleuvedené registre, ktoré sú ešte delené na tarifné pásma:

- Maximálny výkon odberu
- Maximálny jalový výkon odberu
- Odber
- Dodávka
- Odber jalový
- Dodávka jalová

3.1.2.1 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
- Plynuje riadený výkon kompresora
- V lete možno využiť ako klimatizáciu

3.1.2.2 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 výrobcom 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)

3.1.2.3 Solárny koncentrátor s expanzným tlakovzdušným strojom Strirlingovho typu

Popis a parametre:

- parabolický solárny koncentrátorový zdroj s výkonom 6 x 1 kW
- natáčací systém za slnkom

Využitie:

- didaktická pomôcka
- základný výskum

3.1.2.4 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 zákazníckej 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 pridávaním 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.

3.1.2.5 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 kW_e a tepelnú energiu odvádzanú chladiacou vodou cez výmenník do vody vykurovacieho systému objektu. Táto je následne dohrievaná spalínami 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 odvieŕť do núdzového chladiča, ktorý je dimenzovaný pre plný tepelný výkon 44 kW_t 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.

3.1.2.6 Fotovoltaická elektráreň

Parametre:

Zosieťované zariadenie PV s elektrickými spotrebičmi

Klimatické údaje Bratislava, SVK (1991 - 2010)

Výkon generátora PV - 19,5 kW_p

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)

Fotovoltaický systém od M3soft s.r.o

3.1.2.7 Ostrovný solárno-veterný systém

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

- konfigurácia typov zariadení
- konfigurácia panelov, pohľadov a formulárov
- Koordinácia tvorby prototypu Správy dát (DB) a digitálneho dvojčata
- tvorba hierarchických a dátových štruktúr v prototyp digitálneho dvojčata v kontexte potreby zosúladenia s evidenciou prvkov v CE2 Prototyp / DB

3.1.3 Model mikrogridu

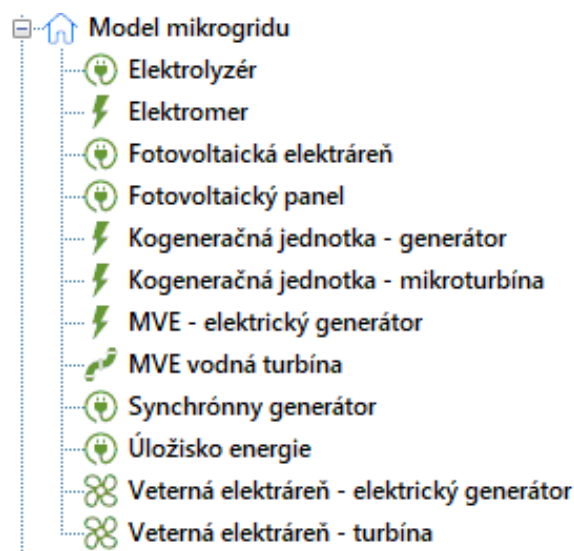
V inštancii Prototypu CE2/DB boli vytvorené nasledovné objektové štruktúry, ktoré zahŕňajú nielen existujúce zariadenia v laboratóriách partnerov v projekte, ale sú zaujímavé z hľadiska modelovania simulácií mikrogridov:

- Elektrolyzér
- Elektromer
- Fotovoltaická elektráreň
- Fotovoltaický panel

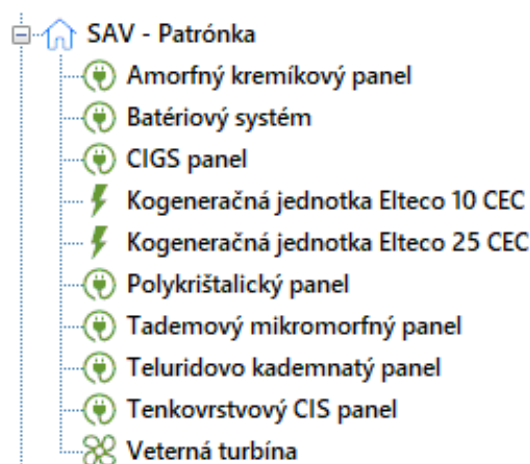
- Kogeneračná jednotka – generátor
- Kogeneračná jednotka – mikroturbína
- MVE – elektrický generátor
- MVE – vodná turbína
- Synchronný generátor
- Úložisko energie
- Veterná elektrárň – elektrický generátor
- Veterná elektrárň – turbína

3.2 Databázové štruktúry vytvorené pre digitálne dvojča zariadení v laboratóriách SAV a STU

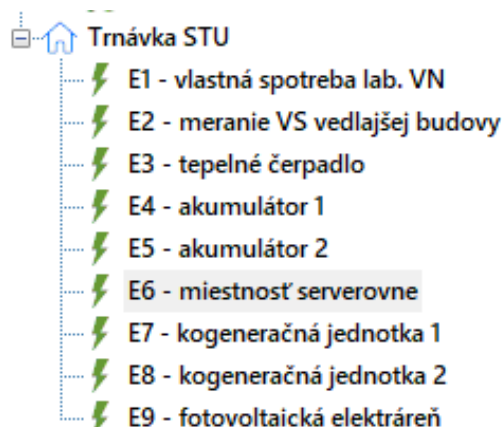
Na obrázkoch č. 5 až 7 sú zobrazené hierarchické štruktúry objektových stromov jednotlivých oblastí, ako boli vytvorené na základe zariadení v laboratóriách.



Obrázok 5 – Zobrazenie objektového stromu modelu mikrogridu



Obrázok 6 – Zobrazenie objektového stromu zariadení SAV



Obrázok 7 – Zobrazenie objektového stromu zariadení STU

Nasleduje zoznam zariadení vytvorených v relačnej databáze s ich parametrami, označením veličín a jednotkami.

3.2.1 Elektromer

Tabuľka 2 - parametre elektromera

Popis	Označenie	Jednotka
Dátum a čas	t	
Napätie fázy L1	U_{L1}	V
Napätie fázy L2	U_{L2}	V
Napätie fázy L3	U_{L3}	V
Prúd vo fáze L1	I_{L1}	A
Prúd vo fáze L2	I_{L2}	A
Prúd vo fáze L3	I_{L3}	A
Odber	E_{odb}	kWh
Dodávka	E_{dod}	kWh
Jalová energia QI	Q_I	kVarh
Jalová energia QII	Q_{II}	kVarh
Jalová energia QIII	Q_{III}	kVarh
Jalová energia QIV	Q_{IV}	kVarh
Chybový stav meradla	[-]	bezrozmerná
Stavový register meradla 1	[-]	bezrozmerná
Okamžitý činný výkon P+	P_{okam+}	kW
Okamžitý činný výkon P-	P_{okam-}	kW
Maximálny výkon odberu	P_{maxodb}	kW
Maximálny jalový výkon odberu	Q_{maxodb}	kVAr
Maximálny výkon odberu	P_{maxodb}	kW
Maximálny jalový výkon odberu	Q_{maxodb}	kVAr
Odber	E_{odbf}	kWh
Dodávka	E_{dod}	kWh
Odber jalový	E_{odbjal}	kVarh

Popis	Označenie	Jednotka
Dodávka jalová	E_{dodjal}	kVarh
Odber	E_{odbo}	kWh
Dodávka	E_{dod}	kWh
Odber jalový	E_{odbjal}	kVarh
Dodávka jalová	E_{dodjal}	kVarh
Počet výpadkov napätia	[-]	bezrozmerná
Počet odobratí krytu svorkovnice	[-]	bezrozmerná
Počet narušení vplyvom magnetického poľa	[-]	bezrozmerná
Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu	[-]	bezrozmerná
Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu	[-]	bezrozmerná

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Napätie fázy L1 [V] ?	239,83	Maximálny jalový výkon odberu [kVar] ?		
Napätie fázy L2 [V] ?	239,35	Maximálny výkon odberu Fakturačný odpočet [kW] ?		
Napätie fázy L3 [V] ?	239,27	Maximálny jalový výkon odberu Fakturačný odpočet [kVar] ?		
Prúd vo fáze L1 [A] ?	5,21	Odber Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L2 [A] ?	5,86	Dodávka Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L3 [A] ?	1,56	Odber jalový Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Odber [kWh] ?	0,84	Dodávka jalová Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Dodávka [kWh] ?	0	Odber Odpočet registra [kWh] ?		16278
Jalová energia QI [kVarh] ?	0	Dodávka Odpočet registra [kWh] ?		0
Jalová energia QII [kVarh] ?	0	Odber jalový Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIII [kVarh] ?	0	Dodávka jalová Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIV [kVarh] ?	2,74	Počet výpadkov napätia		
Chybový stav meradla		Počet odobratí krytu svorkovnice		
Stavový register meradla 1		Počet narušení vplyvom magnetického poľa		
Okamžitý činný výkon P+ [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu		
Okamžitý činný výkon P- [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu		
Maximálny výkon odberu [kW] ?		Dátum a čas		01.10.2022 11:01:00

Obrázok 8 – parametre zariadenia v databáze

3.2.2 Elektrolyzér

Tabuľka 3 - parametre elektrolyzéra

Popis	Označenie	Jednotka
Absolútny tlak	-	[Pa]
Aktivačné prepätie	V_{act}	[V]
Faradayová konštanta	F	[C/mol]
Faradayová účinnosť	ηF	[-]
koefficient pre prepätie na elektródach 1	s	[V]

Popis	Označenie	Jednotka
koeficient pre prepätie na elektródach 2	t_1	$[A^{-1}m^2]$
koeficient pre prepätie na elektródach 3	t_2	$[A^{-1}m^2°C]$
koeficient pre prepätie na elektródach 4	t_3	$[A^{-1}m^2°C]$
Napätie článku	V_{cell}	[V]
Objemový prietok	Q	$[Nm^3/h]$
Objemový prietok	Q	[L/m]
Ohmické prepätie	V_{ohm}	[V]
Parameter súvisiaci s ohmickým odporom elektrolytu 1	r_1	$[\Omega m^2]$
Parameter súvisiaci s ohmickým odporom elektrolytu 2	r_2	$[\Omega m^2°C^{-1}]$
Plocha elektród	A	$[m^2]$
Plynová konštanta	R	$[J/Kmol]$
Počet článkov	n	[ks]
Počet elektrónov	z	[-]
Prevádzkový prúd	I	A
Reverzibilné napätie	U_{REV}	[V]

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Absolútny tlak [Pa] ?				101325
Aktivačné prepätie [V] ?				0,878
Faradayova konštanta [C/mol] ?				96485
Faradayová účinnosť ?				0,956
Koeficient pre prepätie na elektródach 1 $[A \cdot 1m^2]$?				0,185
Koeficient pre prepätie na elektródach 2 [V] ?				1,002
koeficient pre prepätie na elektródach 3 $[A \cdot 1m^2°C]$?				8,424
koeficient pre prepätie na elektródach 4 $[A \cdot 1m^2°C]$?				247,3
Napätie článku [V] ?				2,113
Objemový prietok $[Nm^3/h]$?				0,00999
Objemový prietok 2 [L/m] ?				0,166
Ohmické prepätie [V] ?				0,00605
Parameter súvisiaci s ohmickým odporom elektrolytu 1 $[m^2]$?				8,05e-05
Parameter súvisiaci s ohmickým odporom elektrolytu 2 $[m^2°C^{-1}]$?				-2,5e-07
Plocha elektród $[m^2]$?				0,25
Plynová konštanta $[J/Kmol]$?				8,315
Počet článkov [ks] ?				1
Počet elektrónov ?				2
Prevádzkový prúd [A] ?				25
Reverzibilné napätie [V] ?				1,23

Obrázok 9 – parametre zariadenia v databáze

3.2.3 Fotovoltaická elektrárň

Tabuľka 4 - parametre FV elektrárne

Popis	Označenie	Jednotka
Maximálna denná výroba	E_d	[Wh]
Maximálna medziminútová diferencia výkonu	$P_{diffmax1}$	[W]
Maximálna medzištvrt hodinová diferencia výkonu	$P_{diffmax15}$	[W]
Maximálna mesačná výroba	E_m	[Wh]
Maximálna týždenná výroba	E_t	[Wh]
Maximálny minútový výkon	P_{max1}	[W]
Maximálny štvrt hodinový výkon	P_{max15}	[W]
Minimálna denná výroba	E_{dmin}	[Wh]
Minimálna mesačná výroba	E_{mmin}	[Wh]
Minimálna týždenná výroba	E_{tmin}	[Wh]
Napät'ová úroveň	U	[V]
Počet panelov	N_p	ks
Ročná výroba	E_r	[Wh]
Výkon	P	[Wp]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník
Maximálna denná výroba [Wh] ?				90000
Maximálna medziminútová diferencia výkonu [W] ?				8200
Maximálna medzištvrt hodinová diferencia 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
Napät'ová úroveň [V] ?				230
Počet panelov [ks] ?				80
Ročná výroba [Wh] ?				22831000
Výkon [Wp] ?				20000

Obrázok 10 – parametre zariadenia v databáze – variant 1

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Napätie fázy L1 [V] ?	240,04	Maximálny jalový výkon odberu [kVar] ?		
Napätie fázy L2 [V] ?	240,65	Maximálny výkon odberu Fakturačný odpočet [kW] ?		
Napätie fázy L3 [V] ?	240,83	Maximálny jalový výkon odberu Fakturačný odpočet [kVar] ?		
Prúd vo fáze L1 [A] ?	4,39	Odber Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L2 [A] ?	4,53	Dodávka Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L3 [A] ?	4,5	Odber jalový Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Odber [kWh] ?	0	Dodávka jalová Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Dodávka [kWh] ?	3,22	Odber Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QI [kVarh] ?	0	Dodávka Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QII [kVarh] ?	0	Odber jalový Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIII [kVarh] ?	0,03	Dodávka jalová Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIV [kVarh] ?	0	Počet výpadkov napätia		
Chybový stav meradla		Počet odobratí krytu svorkovnice		
Stavový register meradla 1		Počet narušení vplyvom magnetického poľa		
Okamžitý činný výkon P+ [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu		
Okamžitý činný výkon P- [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu		
Maximálny výkon odberu [kW] ?		Dátum a čas		01.10.2022 11:01:00

Obrázok 11 – parametre zariadenia v databáze – variant 2

3.2.4 Fotovoltaický panel

V databáze evidujeme viaceré typy fotovoltaických panelov:

- Amorfný kremíkový panel
- CIGS panel
- Polykrištálický panel
- Tademový mikromorfný panel
- Teluridovo kademnatý panel
- Tenkovrstvový CIS panel

Popis	Označenie	Jednotka
Dopadajúce slnečné žiarenie	k_{DOP}	[W/m ²]
Hmotnosť panelu	M	[kg]
Menovité napätie	V_{mp}	[V]
Menovitý výkon	P_m	[Wp]
Napätie naprázdno	V_{oc}	[V]
Nominálna prevádzková teplota	T_{NOM}	[°C]
Plocha panelu	A	[m ²]
Prúd pri menovitom výkone	I_{mp}	[A]
Referenčné slnečné žiarenie	k_{REF}	[W/m ²]

Tabuľka 5 - parametre FV panela

Popis	Označenie	Jednotka
Skratový prúd	I_{sc}	[A]
Tepelná kapacita panelu	C_{panel}	[J/K]
Teplota panelu	T_{panel}	[°C]
Teplota prostredia	T_{pros}	[°C]
Teplotný koeficient napätie naprázdno	T_{oc}	[%/°C]
Teplotný koeficient pri menovitom výkone	T_m	[%/°C]
Teplotný koeficient skratového prúdu	T_{sc}	[%/°C]
Účinnosť fotovoltického panelu	η	[%]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovní
Dopadajúce slnečné žiarenie [W/m ²]	?		800	
Hmotnosť panelu [kg]	?		18,5	
Menovité napätie [V]	?		31,7	
Menovitý výkon [W]	?		295	
Napätie naprázdno [V]	?		39,6	
Nominálna prevádzková teplota [°C]	?		45	
Plocha panelu [m ²]	?		1,63	
Prúd pri menovitom výkone [A]	?		9,7	
Referenčné slnečné žiarenie [W/m ²]	?		1000	
Skratový prúd [A]	?		9,26	
Tepelná kapacita panelu [J/K]	?		591	
Teplota panelu [°C]	?		10,7	
Teplota prostredia [°C]			9,7	
Teplotný koeficient napätie naprázdno [%/°C]	?		-0,31	
Teplotný koeficient pri menovitom výkone [%/°C]			-0,41	
Teplotný koeficient skratového prúdu [%/°C]	?		0,05	
Účinnosť fotovoltického panelu [%]	?		17,52	

Obrázok 12 – parametre zariadenia v databáze

3.2.5 Generátor synchronný

Tabuľka 6 - parametre pre synchronný generátor

Popis	Označenie	Jednotka
Budiace napätie	U_b	[V]
Budiaci prúd nakrátko generátora	I_{k0}	[A]
Budiaci prúd naprázdno generátora	I_{b0}	[A]
Budiaci prúd pri menovitom zaťažení generátora	I_{bN}	[A]

Popis	Označenie	Jednotka
Čas	t	[s]
Frekvencia výstupného napätia generátora	f_1	[Hz]
Indukované napätie vo vinutí jednej fázy statora	U_{ib}	[V]
maximálny moment	M_{emax}	[N.m]
Menovitá impedancia	Z_n	[Ω]
Menovitý činný výkon generátora	P_N	[W]
Menovitý moment	M_N	[N.m]
Menovitý prúd generátora	I_{aN}	[W]
Menovitý zdanlivý výkon generátora	S_N	[VA]
Otáčky točivého poľa	n_1	[s ⁻¹]
Počet pólových dvojíc	p	[-]
Redukčný činiteľ	g	[-]
Rozptylová reaktancia vinutí statora	$X_{1\sigma}$	[Ω]
Synchrónna reaktancia	X_d	[Ω]
Úbytok napätia na rozptylovej reaktancii	$\Delta U_{X\sigma}$	[V]
Účinník	$\cos\varphi_N$	[-]
Uhlová frekvencia	ω	[rad/s]
Vnútorne napätie generátora	U_i	[V]
Výstupné napätie generátora	U	[V]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník
Budiaci prúd nakrátko [A] ?			164	
Budiaci prúd naprázdno [A] ?			7	
Budiaci prúd pri menovitom zaťažení generátora [A] ?			13,19	
Čas [s] ?			1	
Frekvencia výstupného napätia generátora [Hz] ?			50	
Maximálny moment [N.m] ?			1074,55	
Menovitá impedancia [?] ?			1,28	
Menovitý činný výkon generátora [W] ?			1000	
Menovitý moment [N.m] ?			636,67	
Menovitý prúd generátora [W] ?			180	
Menovitý zdanlivý výkon generátora [VA] ?			1000	
Otáčky točivého poľa [s-1] ?			1500	
Počet pólových dvojíc [-] ?			2	
Redukčný činiteľ ?			0,043	
Synchronna reaktancia [?] ?			1,4	
Úbytok napätia na rozptylovej reaktancii [V] ?			23	
Účinník ?			0,8	
Uhlová frekvencia [rad/s] ?			157	
Vnúťové napätie generátora [V] ?			245,5	
Výstupné napätie generátora [V] ?			400	

Obrázok 13 – parametre zariadenia v databáze

3.2.6 Úložisko energie

Tabuľka 7 - parametre pre úložisku energie

Popis	Označenie	Jednotka
Energia uložená v akumulátore na konci časového intervalu	E_{BESS}	[Wh]
Energia uložená v akumulátore na začiatku časového intervalu	E'_{BESS}	[Wh]
Kapacita akumulátora	C_{max}	[Ah]
Menovitá kapacita akumulátora	$E_{BESSmen}$	[Wh]
Menovitý výkon akumulátora	P_{BESS}	[W]
Nabíjací prúd akumulátora	I_{batnab}	[A]
Napätie akumulátora	U_{bat}	[V]
Ohmický odpor	R_{ohm}	[Ω]
Status nabitia	SOC	[%]
Účinnosť akumulátora pri nabíjaní	η_{nab}	[%]

Popis	Označenie	Jednotka
Účinnosť akumulátora pri vybíjaní	η_{vyb}	[%]
Vybíjací prúd akumulátora	I_{batvyb}	[A]
Výkon akumulátora pri nabíjaní	$P_{BESSnab}$	[kW]
Výkon akumulátora pri vybíjaní	$P_{BESSvyb}$	[Wh]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník dielov	P
Energia uložená v akumulátore na konci časového intervalu [Wh] ?				2269	
Energia uložená v akumulátore na začiatku časového intervalu [Wh] ?				18303	
Kapacita akumulátora [Ah] ?				400	
Menovitá kapacita akumulátora [Wh] ?				20000	
Menovitý výkon akumulátora [W] ?				10000	
Nabíjací prúd akumulátora [A] ?				0,5	
Napätie akumulátora [V] ?				230	
Ohmický odpor [?] ?				0,075	
Status nabitia [%] ?				50	
Účinnosť akumulátora pri nabíjaní [%] ?				90	
Účinnosť akumulátora pri vybíjaní [%] ?				95	
Vybíjací prúd akumulátora [A] ?				43	
Výkon akumulátora pri nabíjaní [kW] ?				7511	
Výkon akumulátora pri vybíjaní [Wh] ?				6951	

Obrázok 14 – parametre zariadenia v databáze

3.2.7 Veterná turbína

Tabuľka 8 - parametre pre veternú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka
Hustota vzduchu	ρ	[kg/m ³]
Koeficient momentu rotora turbíny	C_q	[-]
Maximálna rýchlosť vetra pre prevádzku	V_{max}	[m/s]
Menovitá rýchlosť vetra	V_n	[m/s]
Menovitý činný výkon	P_m	[W]
Minimálna rýchlosť vetra pre prevádzku	V_{min}	[m/s]
Moment zotrvačnosti turbíny	J_m	[kg.m ²]
Plocha, cez ktorú prúdi vietor	S	[m ²]
Priemerná rýchlosť vetra	V	[m/s]
Rýchlobežnosť pri menovitej rýchlosti vetra	λ	[-]
Spúšťacia rýchlosť vetra	V_i	[m/s]

Popis	Označenie	Jednotka
Uhlová rýchlosť otáčania turbíny	ω	[rad/s]
Výkonový koeficient pri menovitej rýchlosti vetra	C_p	[-]
Vypínacia rýchlosť vetra	V_{vyp}	[m/s]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje
Hustota vzduchu [kg/m ³]			1,293
Koeficient momentu rotora turbíny [-]			0,01813
Maximálna rýchlosť vetra [m/s]			20,3
Menovitá rýchlosť vetra [m/s]			11,3
Menovitý činný výkon [W]			1000
Moment zotrvačnosti turbíny [kg.m ²]			0,738
Plocha cez ktorú prúdi vietor [m ²]			5,72
Priemerná rýchlosť vetra [m/s]			4,5
Rýchlobežnosť pri menovitej rýchlosti vetra [-]			8,27
Spúšťacia rýchlosť vetra [m/s]			3,1
Uhlová rýchlosť generátora [rad/s]			67
Výkonový koeficient pri menovitej rýchlosti vetra [-]			0,15
Vypínacia rýchlosť vetra [m/s]			22

Obrázok 15 – parametre zariadenia v databáze

3.2.8 Vodná turbína

Tabuľka 9 - parametre pre vodnú turbínu

Popis	Označenie	Jednotka
Hrubý spád	H	[m]
Kavitačný koeficient	σ_T	[-]
Maximálna účinnosť turbíny	η_{max}	[%]
Merná energia turbíny	E	[J/kg]
Pomer priebežných a menovitých otáčok turbíny	n_{prieb} / n_{prev}	[ot/min]
Prevádzkové otáčky	n_{prev}	[ot/min]
Priebežné otáčky	n_{prieb}	[ot/min]
Priemer obežného kola turbíny	D_t	[m]
Prietok turbíny	Q	[m ³ /s]
Spád turbíny	H_T	[m]
Šírka turbíny vrátane základového rámu	B_t	[m]
Teoretický výkon turbíny	P_h	[W]
Typ turbíny	[-]	[-]

Popis	Označenie	Jednotka
Výkon na spojke turbíny	P	[W]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník
Hrubý spád [m] ?			17,21	
Kavitačný koeficient ?			0,052	
Maximálna účinnosť turbíny [%] ?			85,1	
Memá energia turbíny [J/kg] ?			126,77	
Pomer priebežných a menovitých otáčok turbíny [ot/min] ?			1,714	
Prevádzkové otáčky [ot/min] ?			244	
Priebežné otáčky [ot/min] ?			418	
Priemer obežného kolesa turbíny [m] ?			0,6	
Prietok turbíny [m ³ /s] ?			0,873	
Spád turbíny [m] ?			14,77	
Šírka turbíny vrátane základového rámu [m] ?				
Teoretický výkon turbíny [W] ?			110648	
Výkon na spojke turbíny [W] ?			94162	
Typ turbíny ?			bánki	

Obrázok 16 – parametre zariadenia v databáze

3.2.9 Tepelné čerpadlo

Tabuľka 10 - parametre pre tepelné čerpadlo

Popis	Označenie	Jednotka
Dátum a čas	t	
Napätie fázy L1	UL1	V
Napätie fázy L2	UL2	V
Napätie fázy L3	UL3	V
Prúd vo fáze L1	IL1	A
Prúd vo fáze L2	IL2	A
Prúd vo fáze L3	IL3	A
Odber	Eodb	kWh
Dodávka	Edod	kWh
Jalová energia QI	QI	kVarh
Jalová energia QII	QII	kVarh
Jalová energia QIII	QIII	kVarh
Jalová energia QIV	QIV	kVarh
Chybový stav meradla	[-]	bezrozmerná
Stavový register meradla 1	[-]	bezrozmerná
Okamžitý činný výkon P+	Pokam+	kW
Okamžitý činný výkon P-	Pokam-	kW
Maximálny výkon odberu	Pmaxodb	kW
Maximálny jalový výkon odberu	Qmaxodb	kVAr
Maximálny výkon odberu	Pmaxodb	kW
Maximálny jalový výkon odberu	Qmaxodb	kVAr
Odber	Eodbf	kWh
Dodávka	Edod	kWh
Odber jalový	Eodbjal	kVarh
Dodávka jalová	Edodjal	kVarh
Odber	Eodbo	kWh
Dodávka	Edod	kWh
Odber jalový	Eodbjal	kVarh
Dodávka jalová	Edodjal	kVarh
Počet výpadkov napätia	[-]	bezrozmerná
Počet odobratí krytu svorkovnice	[-]	bezrozmerná
Počet narušení vplyvom magnetického poľa	[-]	bezrozmerná
Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu	[-]	bezrozmerná
Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu	[-]	bezrozmerná

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Napätie fázy L1 [V] ?	239,27	Maximálny jalový výkon odberu [kVar] ?		
Napätie fázy L2 [V] ?	239,25	Maximálny výkon odberu Fakturačný odpočet [kW] ?		
Napätie fázy L3 [V] ?	239,72	Maximálny jalový výkon odberu Fakturačný odpočet [kVar] ?		
Prúd vo fáze L1 [A] ?	3,28	Odber Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L2 [A] ?	3,06	Dodávka Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L3 [A] ?	3,06	Odber jalový Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Odber [kWh] ?	1,73	Dodávka jalová Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Dodávka [kWh] ?	0	Odber Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QI [kVarh] ?	0,11	Dodávka Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QII [kVarh] ?	0	Odber jalový Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIII [kVarh] ?	0	Dodávka jalová Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIV [kVarh] ?	0	Počet výpadkov napätia		
Chybový stav meradla		Počet odobratí krytu svorkovnice		
Stavový register meradla 1		Počet narušení vplyvom magnetického poľa		
Okamžitý činný výkon P+ [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu		
Okamžitý činný výkon P- [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu		
Maximálny výkon odberu [kW] ?		Dátum a čas		01.10.2022 11:01:00

Obrázok 17 – parametre zariadenia v databáze

3.2.10 Serverovňa

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Napätie fázy L1 [V] ?	239,83	Maximálny jalový výkon odberu [kVar] ?		
Napätie fázy L2 [V] ?	239,35	Maximálny výkon odberu Fakturačný odpočet [kW] ?		
Napätie fázy L3 [V] ?	239,27	Maximálny jalový výkon odberu Fakturačný odpočet [kVar] ?		
Prúd vo fáze L1 [A] ?	5,21	Odber Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L2 [A] ?	5,86	Dodávka Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L3 [A] ?	1,56	Odber jalový Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Odber [kWh] ?	0,84	Dodávka jalová Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Dodávka [kWh] ?	0	Odber Odpočet registra [kWh] ?		16278
Jalová energia QI [kVarh] ?	0	Dodávka Odpočet registra [kWh] ?		0
Jalová energia QII [kVarh] ?	0	Odber jalový Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIII [kVarh] ?	0	Dodávka jalová Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIV [kVarh] ?	2,74	Počet výpadkov napätia		
Chybový stav meradla		Počet odobratí krytu svorkovnice		
Stavový register meradla 1		Počet narušení vplyvom magnetického poľa		
Okamžitý činný výkon P+ [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu		
Okamžitý činný výkon P- [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu		
Maximálny výkon odberu [kW] ?		Dátum a čas		01.10.2022 11:01:00

Obrázok 18 – parametre zariadenia v databáze

3.2.11 Vlastná spotreba laboratória

Údaje zariadenia	Parametre	Systémové údaje	Poznámky	Dokumentácia
Napätie fázy L1 [V] ?	239,25	Maximálny jalový výkon odberu [kVar] ?		
Napätie fázy L2 [V] ?	239,31	Maximálny výkon odberu Fakturačný odpočet [kW] ?		
Napätie fázy L3 [V] ?	239,86	Maximálny jalový výkon odberu Fakturačný odpočet [kVar] ?		
Prúd vo fáze L1 [A] ?	6,63	Odber Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L2 [A] ?	2,88	Dodávka Fakturačný odpočet [kWh] ?		
Prúd vo fáze L3 [A] ?	6,86	Odber jalový Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Odber [kWh] ?	0	Dodávka jalová Fakturačný odpočet [kVarh] ?		
Dodávka [kWh] ?	0,6	Odber Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QI [kVarh] ?	0	Dodávka Odpočet registra [kWh] ?		
Jalová energia QII [kVarh] ?	0	Odber jalový Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIII [kVarh] ?	3,3	Dodávka jalová Odpočet registra [kVarh] ?		
Jalová energia QIV [kVarh] ?	0	Počet výpadkov napätia		
Chybový stav meradla		Počet odobratí krytu svorkovnice		
Stavový register meradla 1		Počet narušení vplyvom magnetického poľa		
Okamžitý činný výkon P+ [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného činného výkonu		
Okamžitý činný výkon P- [kW] ?		Register počtu prekročení limitnej hodnoty stredného jalového výkonu		
Maximálny výkon odberu [kW] ?		Dátum a čas		01.10.2022 11:01:00

Obrázok 19 – parametre zariadenia v databáze

3.2.12 Malá vodná elektrárň – generátor

Tabuľka 11 - parametre pre MVE generátor

Popis	Označenie	Jednotka
Čas	t	[s]
Frekvencia výstupného napätia generátora	f_1	[Hz]
Mechanická uhlová rýchlosť na hriadeľi	ω	[rad/s]
Mechanické otáčky rotora	n	[s ⁻¹]
Menovitý činný výkon generátora	P_N	[W]
Menovitý prúd generátora	I_{aN}	[W]
Menovitý zdanlivý výkon generátora	S_N	[VA]
Otáčky točivého poľa	n_{syn}	[s ⁻¹]
Počet pólových dvojíc	p	[-]
Sklz	s	[%]
Typ generátora	[-]	[-]
Uhlová rýchlosť	ω_{syn}	[rad/s]
Výstupné napätie generátora	U_i	[V]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje
Čas [s] ?			1
Frekvencia výstupného napätia generátora [Hz] ?			50
Mechanická uhlová rýchlosť na hriadeľ [rad/s] ?			80,11
Mechanické otáčky rotora [s-1] ?			765
Menovitý činný výkon generátora [W] ?			90000
Menovitý prúd generátora [W] ?			163
Menovitý zdanlivý výkon generátora [VA] ?			112500
Otáčky točivého poľa [s-1] ?			750
Počet pólových dvojíc ?			4
Sklz [%] ?			2
Uhlová rýchlosť [rad/s] ?			78,54
Výstupné napätie generátora [V] ?			400
Typ generátora ?			asynchrónny

Obrázok 20 – parametre zariadenia v databáze

3.2.13 Veterná elektrárňa – generátor

Tabuľka 12 - parametre pre VE generátor

Popis	Označenie	Jednotka
Čas	t	[s]
Frekvencia výstupného napätia generátora	f_1	[Hz]
Indukčnosť statorového vinutia	L_s	[mH]
Menovité otáčky točivého poľa	n_1	[s ⁻¹]
Menovitý činný výkon generátora	P_N	[W]
Menovitý zdanlivý výkon generátora	S_N	[VA]
Moment generátora	M_{gen}	[N.m]
Moment zotrvačnosti generátora	M_{zot}	[kg.m ²]
Odpor statorového vinutia	R_s	[Ω]
Počet pólových dvojíc	p	[-]
Reaktancia statora	X_d	[Ω]
Typ generátora	[-]	[-]
Účinnosť generátora	η_g	[%]
Uhlová frekvencia	ω	[rad/s]
Výstupné napätie generátora	U_i	[V]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje
Čas [s] ?			1
Frekvencia výstupného napätia generátora [Hz] ?			50
Indukčnosť statorového vinutia [mH] ?			0,07
Menovité otáčky točivého poľa [s-1] ?			600
Menovitý činný výkon generátora [W] ?			525
Menovitý zdanlivý výkon generátora [VA] ?			525
Moment generátora [N.m] ?			8,35
Moment zotrvačnosti generátora [kg.m2] ?			0,01
Odpor statorového vinutia [omega] ?			2,5
Počet pólových dvojíc [-] ?			5
Reaktancia statora [omega] ?			0,96
Účinnosť generátora [%] ?			72
Uhlová frekvencia [rad/s] ?			314
Výstupné napätie generátora [V] ?			36
Typ generátora ?			s permanentnými m

Obrázok 21 – parametre zariadenia v databáze

3.2.14 Kogeneračná jednotka – generátor

Tabuľka 13 - parametre pre KGJ generátor

Popis	Označenie	Jednotka
Budiaci prúd nakrátko generátora	I_{k0}	[A]
Budiaci prúd naprázdno generátora	I_{b0}	[A]
Budiaci prúd pri menovitom zaťažení generátora	I_{bN}	[A]
Čas	t	[s]
Časová konštanta jednosmernej zložky skratového prúdu statora	T_a	[-]
Frekvencia výstupného napätia generátora	f_1	[Hz]
Menovitá impedancia	Z_n	[Ω]
Menovitý činný výkon generátora	P_N	[W]
Menovitý moment	M_N	[N.m]
Menovitý prúd generátora	I_{aN}	[W]
Menovitý zdanlivý výkon generátora	S_N	[VA]
Menovitý zdanlivý výkon generátora – ostrov	S_N	[VA]
Otáčky točivého poľa	n_1	[s ⁻¹]
Počet pólových dvojíc	p	[-]
Pozdĺžna prechodová reaktancia statora	X'_d	[%]

Popis	Označenie	Jednotka
Pozdĺžna rázová reaktancia statora	X''_d	[%]
Pozdĺžna synchrónna reaktancia statora	X_d	[%]
Prechodová pozdĺžna časová konštanta generátora pri vzniku trojfázového skratu na jeho svorkách	T_d	[-]
Priečna rázová reaktancia generátora	X''_q	[%]
Priečna synchrónna reaktancia generátora	X_q	[%]
Rázová pozdĺžna časová konštanta generátora pri vzniku trojfázového skratu na jeho svorkách	T'_d	[-]
Účinník	$\cos\varphi_N$	[-]
Uhlová frekvencia	ω	[rad/s]
Uhol určujúci dobu vzniku skratu	α	[°]
Výstupné napätie generátora	U_i	[V]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník dielov	Poznámky	Komponenty	Dokumentácia
	Budiaci prúd nakrátko generátora [A] ?					34,68	
	Budiaci prúd naprázdno generátora [A] ?					9	
	Budiaci prúd pri menovitom zaťažení generátora [A] ?					14,78	
	Čas [s] ?					1	
	Časová konštanta jednosmemej zložky skratového prúdu statora ?					0,25	
	Frekvencia výstupného napätia statora [Hz] ?					50	
	Menovitá impedancia [?] ?					7,99	
	Menovitý činný výkon generátora [W] ?					2000	
	Menovitý moment [N.m] ?					127,4	
	Menovitý prúd generátora [W] ?					33,6	
	Menovitý zdanlivý výkon generátora [VA] ?					800	
	Menovitý zdanlivý výkon generátora - ostrov [VA] ?					1000	
	Počet pólových dvojíc [-] ?					2	
	Otáčky točivého poľa [s-1] ?					1500	
	Pozdĺžna prechodová reaktancia statora [%] ?					1,9176	
	Pozdĺžna rázová reaktancia statora [%] ?					1,1186	
	Pozdĺžna synchrónna reaktancia statora [%] ?					14,382	
	Priečna rázová reaktancia generátora [%] ?					19,5	
	Priečna synchrónna reaktancia generátora [%] ?					80,6	
	Účinník ?					0,8	
	Uhlová frekvencia [rad/s] ?					314,16	
	Uhol určujúci dobu vzniku skratu [°] ?					90	
	Výstupné napätie generátora [V] ?					400	
	Prechodová pozdĺžna časová konštanta generátora pri vzniku trojfázového skratu na jeho svorkách ?					0,5	
	Rázová pozdĺžna časová konštanta generátora pri vzniku trojfázového skratu na jeho svorkách ?					0,035	

Obrázok 22 – parametre zariadenia v databáze

3.2.15 Kogeneračná jednotka – mikroturbína

Tabuľka 14 - parametre pre KGJ mikroturbínu

Popis	Označenie	Jednotka
Celková účinnosť	η_c	[%]
Hmotnostný prietok paliva	m_P	[kg/s]
Hmotnostný prietok spalín	m_S	[kg/s]
Hmotnostný prietok vzduchu	m	[kg/s]
Hmotnostný tok spalín	M_{sp}	[kg]
Horná výhrevnosť bioplynu	q_h	[MJ/kg]
Horná výhrevnosť zemného plynu	q_h	[MJ/kg]
Maximálna teplota sekundárneho okruhu - vstup	[-]	[°C]
Maximálna teplota sekundárneho okruhu - výstup	[-]	[°C]
Maximálny tepelný výkon	P_t	[Wt]
Minimálny tlak plynu	p_{min}	[bar]
Modul teplárenskej výroby	σ	[-]
Spodná výhrevnosť bioplynu	q_{sp}	[MJ/kg]
Spodná výhrevnosť zemného plynu	q_{sp}	[MJ/kg]
Spotreba zemného plynu	[-]	[m ³ /h]
Tepelný výkon odberu	P_{tn}	[W]
Teplota spalín z turbíny	T_4	[°C]
Výstupná teplota spalín z mikroturbíny	[-]	[°C]
Výstupná teplota spalín z tepelného výmenníka	[-]	[°C]

Údaje zariadenia	Parametre	Skupiny zariadení	Systémové údaje	Kusovník dielov
	Celková účinnosť [%] ?		71	
	Hmotnostný prietok paliva [kg/s] ?		0,0021	
	Hmotnostný prietok spalín [kg/s] ?		0,191	
	Hmotnostný prietok vzduchu [kg/s] ?		0,189	
	Hmotnostný tok spalín [kg] ?		0,25	
	Horá výhrevnosť bioplynu [MJ/kg] ?		18	
	Horá výhrevnosť zemného plynu [MJ/kg] ?		35,11	
	Maximálna teplota sekundárneho okruhu - vstup [°C] ?		70	
	Maximálna teplota sekundárneho okruhu - výstup [°C] ?		90	
	Maximálny tepelný výkon [Wt] ?		44000	
	Minimálny tlak plynu [bar] ?		4	
	Modul teplotárskej výroby ?		0,47	
	Spodná výhrevnosť bioplynu [MJ/kg] ?		15	
	Spodná výhrevnosť zemného plynu [MJ/kg] ?		30,24	
	Spotreba zemného plynu [m ³ /h] ?		10,85	
	Tepelný výkon odberu [W] ?		44000	
	Teplota spalín z turbíny [°C] ?		250	
	Výstupná teplota spalín z mikroturbíny [°C]		290	
	Výstupná teplota spalín z tepelného výmenníka [°C] ?		65	

Obrázok 23 – parametre zariadenia v databáze

3.3 Zberová centrála

Inštancia prototypu ZC CE2 (Zberová centrála) zhromažďuje všetky namerané dáta, ktoré sú zasielané zo zariadení v laboratóriách. Dátový tok je dohodnutý nasledovne:

- Cez internú sieť STU/SAV sa zbierajú údaje z jednotlivých elektrometrov (niektoré cez skalár, niektoré priamym zberom cez LAN sieť).
- Zbierajú sa 1 min. odpočty všetkých veličín, ktoré elektromery poskytujú.
- 1x za 2 týždne miestny pracovník skopíruje všetky nové merania na server, kde má Sféra prístup a dáta si môže skopírovať.
- Potvrdenie zoznamu zariadení z týchto dvoch lokalít, pre ktoré nám partneri vedia zasielať namerané dáta.

Na lokálnom serveri je vytvorený automat, ktorý okamžite ako príde súbor zo SAV/STU, tak ho prepošle na dohodnutý Sféra FTP server, do dohodnutého adresára. Každú hodinu pribudne spakovaný textový súbor so sekundovými meraniami za ukončenú hodinu (po 3600 záznamov).

Zámerom v ďalšej časti projektu je zautomatizovať prenos zbieraných dát do inštancie CE2/DB, nakoľko import dát aktuálne funguje pomocou fyzického importu na základe vstupnej šablóny.

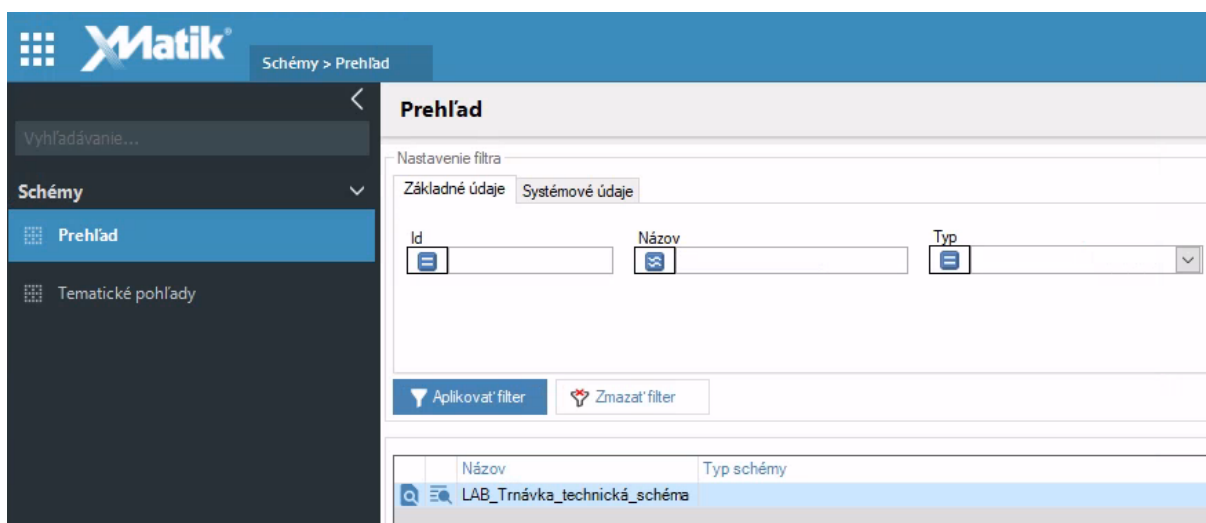
4 GRAFICKÉ ZOBRAZENIE ZARIADENÍ DIGITÁLNEHO DVOJČAŤA

4.1 Grafické prostredie prototypu CE2/DB

Inštancia prototypu CE2/DB má vlastné grafické prostredie, v ktorom je možné zobrazovať mapové podklady – technické, zemepisné, konštrukčné schémy. Ako podklad slúži schéma formátu DGN od spoločnosti Bentley. Tento formát poskytuje veľké možnosti ohľadom kreslenia schém a vlastností prvkov.

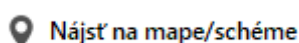
Nadstavbou, ktorej tvorbe sme sa venovali, je možnosť prepojenia – prelinkovania objektov v grafickej schéme s objektami v hierarchickej štruktúre hlavného panelu inštancie prototypu CE2/DB. Každý objekt, ktorý je v schéme označený názvom, a názov tohto objektu sa nachádza v databáze, následne zobrazí všetky parametre s hodnotami ktoré sú zadane na formulári, ktorých obrázky je možné vidieť v kapitole 3.2.

V inštancii CE2/DB je modul Schémy, ktorý slúži na zobrazenie grafických schém v databáze. Systém umožňuje prácu s grafickými schémami. Zvyčajne sa používajú na zobrazenie zariadení a technologických celkov alebo ich častí. Schémy sú zdrojom informácií o umiestnení objektov v priestore, o ich technologickom zapojení, prípadne logickom prepojení a podobne. Schémy obsahujú grafické prvky, ktoré sú naviazané na objekty evidované v systéme a zároveň dokážu zobraziť údaje objektu evidované v systéme. A naopak, objekty evidované v systéme (napr. v Prehľade zariadení) je možné si zobraziť v schémach, na ktorých sa nachádzajú.



Obrázok 24 – modul Schémy


Na formulári každého objektu/zariadenia je ikona „nájsť v mape/schéme“, ktorá používateľa premiestni do otvorenej grafickej schémy.

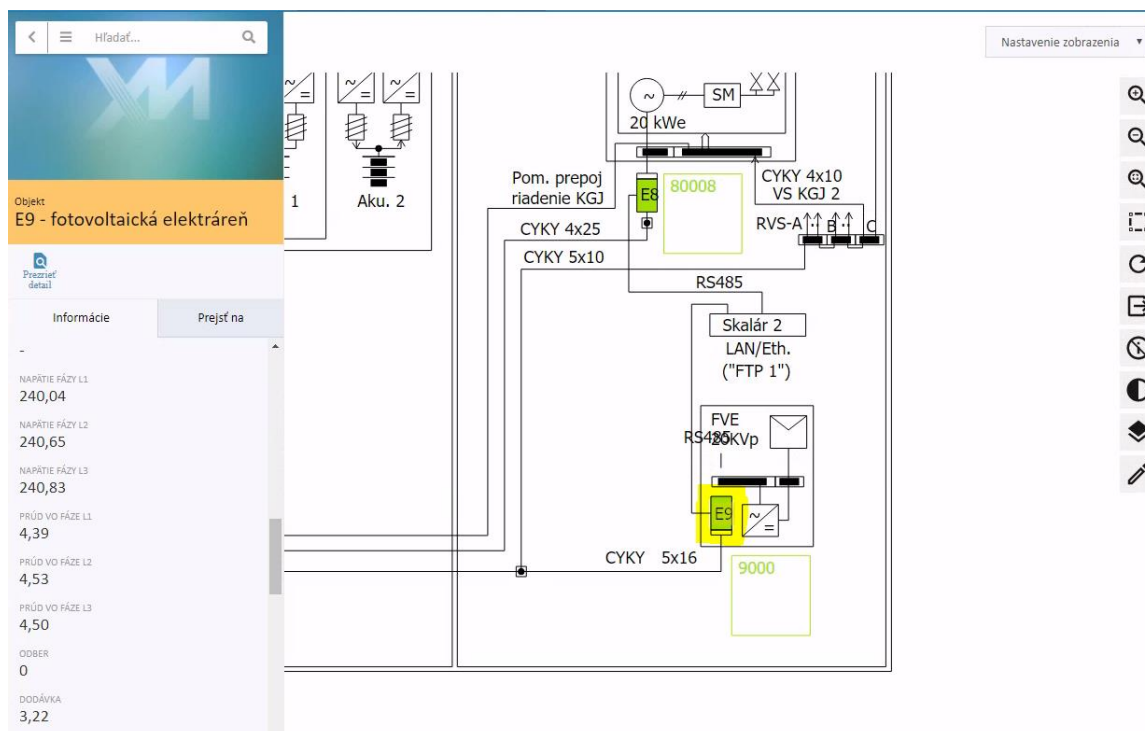


Následne je možné v grafickej schéme prezerať, označovať objekty, tlačiť schému do výstupného súboru. Zobrazenie grafickej schémy si môžete prispôbiť tak, aby sa zobrazovala tá časť schémy, ktorú práve potrebujete vidieť. Na tieto úkony slúžia malé tlačidlá v paneli nástrojov v pravej časti každého okna s grafickou schémou. Ich význam je nasledujúci:

Tabuľka 15 - riadiace tlačidlá pre ovládanie prvkov v schéme

Ikona	Názov operácie	Popis
	Priblížiť	Priblížiť pohľad
	Oddialiť	Oddialiť pohľad
	Vycentrovať	Vycentrovanie pohľadu na veľkosť otvoreného okna (priblížiť alebo oddialiť)
	Výrez pohľadu	Zobraziť zvolený výrez
	Obnoviť	Obnoviť pohľad
	Export	Exportovať pohľad
	Deaktivácia bubliny	Bez informácie v tooltip
	Čiernobiely pohľad	Zobrazenie čiernobieleho pohľadu
	Zoznam vrstiev	Zobrazenie zoznamu vrstiev vo výkrese, vrstvy možno zapínať/vypínať.
	Redline	Otvorenie ľavého panela s funkcionalitou nástroja na modifikáciu schémy

Pri otváraní akejkoľvek schémy najprv prebieha krátke načítanie a aktualizácia, kde sa kontroluje, či sa nezmenili hodnoty parametrov na objektoch, ktoré sú inteligentné v schéme. Zároveň sa kontroluje neaktívnosť. Počas tých pár sekúnd používateľ nemôže pracovať so schémou. V ľavom dolnom okraji schémy sa zobrazí ikona načítavania  a po skončení sa výkres priblíži.



Obrázok 25 – označenie prepojeného zariadenia v schéme

Po označení objektu zariadenia, ktorý má svoj obraz v databáze (prelinkovanie) sa zobrazí v schéme ľavý panel s údajmi o danom zariadení, pričom v paneli sú zobrazované všetky položky (parametre) s ich hodnotami, ktoré sú prevzaté z formulára daného objektu v databáze.

4.2 Technická schéma Laboratória Trnávka

Samotná technická schéma vo formáte *DGN je uložená v systéme ako príloha – v záložke Dokumentácia – na formulári daného zariadenia.

Uložiť zmeny Obnoviť záznam Validovať Nájst' na mape/schéme Viac

Zariadenie: E3 - tepelné čerpadlo

Názov	E3 - tepelné čerpadlo	Číslo zariadenia	
Popis		Typ objektu	Elektromer
Umiestnenie	Trnávka STU	Prevádzkový stav	
Cesta s názvom	SR\Trnávka STU\	<input checked="" type="checkbox"/> Aktívny	

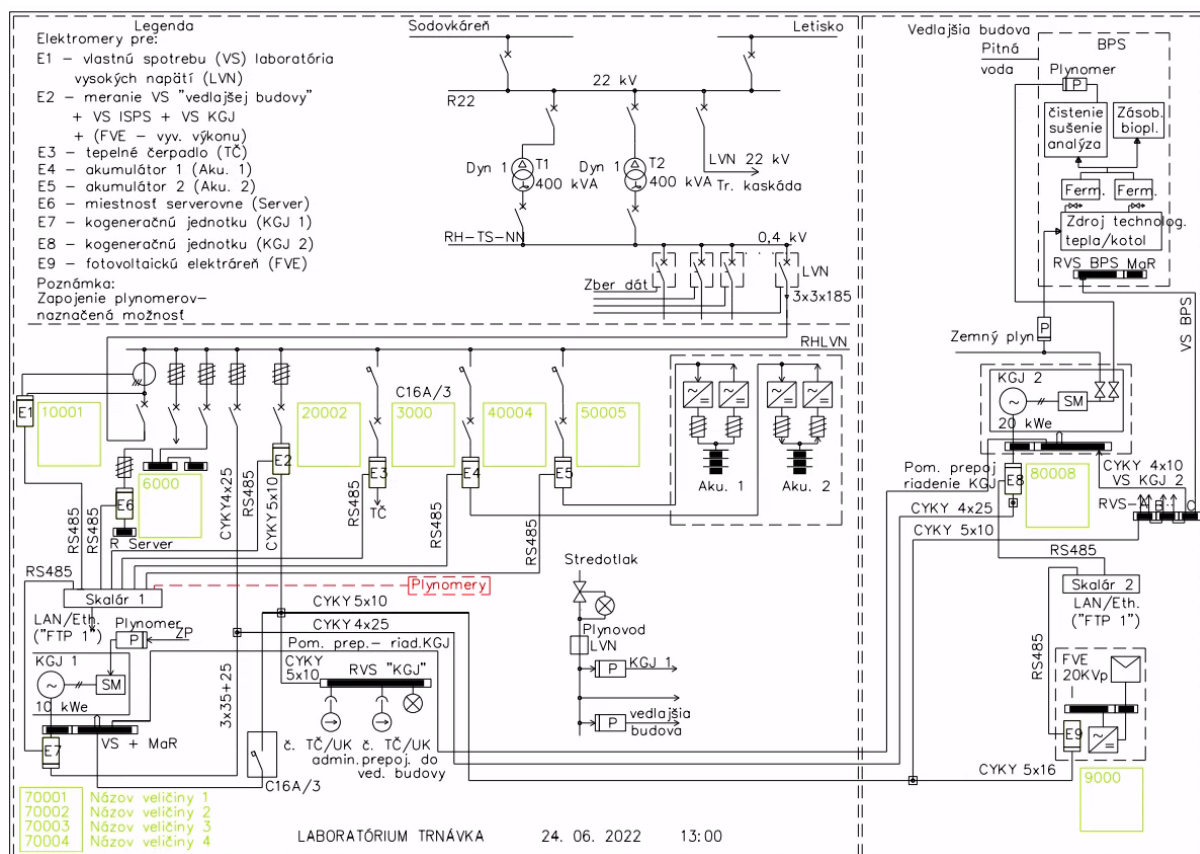
Údaje zariadenia Parametre Systémové údaje Poznámky **Dokumentácia**

Dokumentácia

+ Vložiť prílohu x Odstrániť Akcie

LAB_Trnávka_techická_schéma (1).dgn

Obrázok 26 – záložka Domumentácia na formulári zariadenia



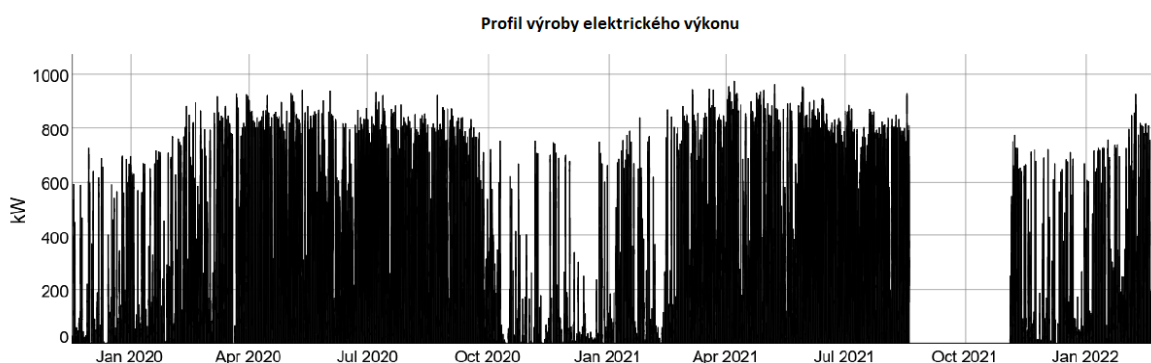
Obrázok 27 – technická schéma laboratória

5 SIMULÁCIE A ANALÝZY

Simulácie a analýzy, ktoré boli v rámci tejto kapitoly zrealizované, sa zameriavajú na akútny problém výroby elektrickej energie a to jej predikciu (prognózu). Na základe špecifikácie, analýzy súčasného poznania v oblasti a dostupných dátových sád počasia, bolo implementovaných a otestovaných 5 simulačno-predikčných prístupov:

- kNN + centroidy
- kNN + MLR
- kNN + RF
- SVR + PSO
- Unet

Uvedené prístupy boli trénované a testované na vzorke fotovoltických dát z Banskej Belej za obdobie 18.11.2019 – 28.2.2022. Po vyčistení a odstránení dátumov s chýbajúcimi meraniami, obsahoval výsledný dataset 754 dní. Dáta obsahovali 15 minútové záznamy produkcie energie (obr. XX).



Obrázok 28 – vizualizácia nameraných fotovoltických dát z Banskej Belej

5.1 Opis predikčných metód

Ani na základe vykonanej rozsiahlej analýzy poznania súčasného stavu v oblasti nebolo možné jednoznačne určiť, ktorá predikčná metóda je najvhodnejšia (výsledky presnosti jednotlivých predikčných metód sa líšia naprieč odbornou literatúrou a neboli vykonávané na rovnakých testovacích zvoškách). Z tohto dôvodu sme sa rozhodli vyskúšať viacero parametrických a neparametrických predikčných metód založených na strojovom učení, ktoré boli vylepšené pomocnými a optimalizačnými metódami (kNN – metóda n-najbližších susedov, PSO – optimalizácia rojom častíc).

Úlohou vybraných metód bol výpočet predikcie výroby energie PV panelmi s granularitou 15 minút na celý nasledujúci deň. Výstupom je vektor 96 hodnôt, ktoré reprezentujú predpokladanú výrobu v nasledujúci deň.

5.1.1 KNN + centroidy

Metóda k najbližších susedov (kNN – k nearest neighbors) predstavuje neparametrickú metódu, ktorá vyžaduje učiteľa (označovaný dataset). Využitie je možné v klasifikačných aj regresných problémoch. Metóda kNN pozostáva z tréningovej fázy – interného komprimovaného uloženia vstupných tréningových vektorov opisujúcich dané objekty a prislúchajúcich tried. Počas klasifikačnej fázy je vstupom nový neoznačovaný vstupný vektor a parameter k opisujúci počet susedov z okolia vektora,

ktorí majú byť zohľadnení počas klasifikácie. Z vybraných k najbližších susedov podľa ľubovoľnej metriky vzdialenosti (najčastejšie Euklidovská vzdialenosť) vyberáme hlasovaním prislúchajúcu triedu vzhľadom na susedov.

Nami navrhnutý model kombinuje kNN prístup pre výber k najpodobnejších dní vzhľadom na historické počasie a predpoveď pre nasledujúci deň. Z vybraných k podobných dní a asociovaných kriviek výroby fotovoltiky následne vypočítame ťažisko – centroid, ktorý predstavuje predikciu výroby fotovoltiky pre požadovaný deň.

Model pracuje so 6 atribútmi:

- temperature – teplota vzduchu,
- humidity – relatívna vlhkosť vzduchu,
- dewpoint temperature – teplota rosného bodu,
- clouds – oblačnosť (percenuálne pokrytie oblohy),
- rain – úhrn zrážok.

Preprocessing

Meteorologické a solárne atribúty boli individuálne preškálované do rozpätia (0, 1).

Optimalizácia parametrov

Hyperparametre metódy boli určené sériou experimentov:

- počet susedov $k = 5$

Post processing

- Predikcia sa vykonáva iba pre časy, kedy sa nachádza slnko na oblohe. Zvyšná časť dňa je v predikcii nahradená hodnotou 0.

Zdrojové súbory

- knn_centroids.ipynb – načítanie vstupných dát, výpočet predikcie pomocou spomínaného modelu, post processing a vyhodnotenie priemernej dennej chyby RMSE.

5.1.2 KNN + MLR

Viacnásobná lineárna regresia (MLR – multiple linear regression) sa snaží určiť vzťah medzi vysvetľovanou premennou (výroba el. energie) a vysvetľujúcimi premennými (atribúty počasia a času). Metóda je implementovaná v R knižnici *stats* pod názvom *lm*. Pre každú hodinu v dni je vytvorený samostatný predikčný model, t.j. jeden model pre všetky záznamy ktoré začínajú rovnakou hodinou (napr.: {7:00, 7:15, 7:30, 7:45} alebo {13:00, 13:15, 13:30, 13:45}, ...).

Model lineárnej regresie pracuje so 4 atribútmi:

- loadMWh – množstvo vyrobenej energie (15 minútový interval)
- humidity – relatívna vlhkosť vzduchu
- clouds – oblačnosť (percenuálne pokrytie oblohy)
- record_in_day_cos – numerická premenná, ktorá vznikla transformáciou času (poradie jednotlivých 15 minútových meraní t)

Preprocessing

Meteorologické a solárne atribúty boli individuálne preškálované do rozpätia (0, 1).

Výber trénovacích dát

Dôležitým krokom pred samotným natrénovaním predikčného modelu je výber vhodných tréningových dát, keďže výroba energie z PV panelov je závislá od počasia, resp. hodnôt vybraných prvkov počasia. Model je natrénovaný na 30 historických dňoch, ktoré sa najviac podobajú na predikovaný deň, berúc do úvahy atribúty:

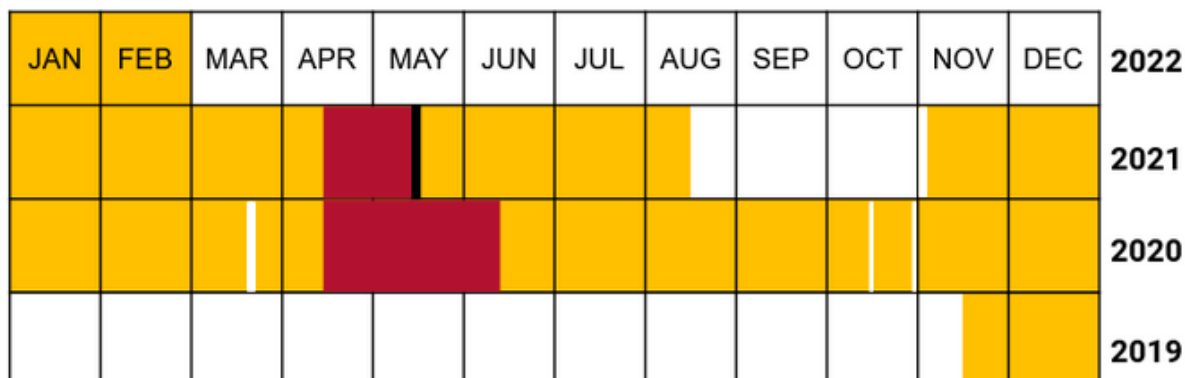
- temperature – teplota vzduchu
- humidity – relatívna vlhkosť vzduchu
- clouds – oblačnosť (percentuálne pokrytie oblohy)
- rain – úhrn zrážok

v časovom horizonte od 6:00 do 20:00.

Výber podobných dní je založený na metóde kNN (n-najbližších susedov). Metóda je implementovaná v R knižnici FNN pod názvom `get.knnx`. Množina historických dní, z ktorých metóda kNN vyberá najpodobnejšie dni sa skladá z:

- 30 dní pred vybraným predikovaným dňom
- 30 dní pred vybraným predikovaným dňom vo všetkých predchádzajúcich rokoch
- 30 dní po vybraným predikovaným dňom vo všetkých predchádzajúcich rokoch.

Ilustratívny príklad výberu dní do metódy kNN je uvedený na obrázku Obr. xx.



Obrázok 29 – Vizualizácia výberu dát do metódy kNN

Predikovaný deň je 15.5.2021. Do množiny sú vybrané dni vyznačené červenou farbou. Žltá farba reprezentuje všetky dni, v ktorých bola meraná PV produkcia v Banskej Belej.

Pri tréningu modelov MLR a kNN sú použité historické namerané dáta z oikolab. Na predikciu sú použité predpovede počasia z portálu OpenWeather.

Post processing

- Predikcia sa vykonáva iba pre časy, kedy sa nachádza slnko na oblohe. Zvyšná časť dňa je v predikcii nahradená hodnotou 0.
- Potenciálne záporné hodnoty predikcie sú nahradzované hodnotou 0.

Zdrojové súbory

- `MLR_prediction.Rmd` – skript obsahujúci celý proces: načítanie dát výroby a počasia, výber tréningových dní pomocou kNN, predikcia, uloženie a vizualizácia výsledkov.

Na riadku 8 sa zadáva dátum predikovaného dňa. Zvyšné parametre metód sa nastavujú v sekcii "parameters_selection".

Názov notebooku: Notebook_MLR_prediction.zip

5.1.3 KNN + RF

Metóda náhodných lesov (RF – Random Forests) trénuje zadaný počet rozhodovacích stromov na náhodne vytvorených podmnožinách trénovacích dát. Konečný výsledok vzniká ako aritmetický priemer výsledkov všetkých trénovaných stromov. Metóda je implementovaná v R knižnici randomForest pod názvom randomForest.

Pre každú hodinu v dni je vytvorený samostatný predikčný model, t. j. jeden model pre všetky záznamy ktoré začínajú rovnakou hodinou (napr.: {7:00, 7:15, 7:30, 7:45} alebo {13:00, 13:15, 13:30, 13:45}, ...).

Model náhodných lesov pracuje so 6 atribútmi:

- loadMWh – množstvo vyrobenej energie (15 minútový interval)
- humidity – relatívna vlhkosť vzduchu
- clouds – oblačnosť (percentuálne pokrytie oblohy)
- irrad_direct – krivka slnečného ožiarenia pri ideálnych poveternostných podmienkach
- record_in_day_sin – numerická premenná, ktorá vznikla transformáciou času (poradie jednotlivých 15 minútových meraní t)
- record_in_day_cos - numerická premenná, ktorá vznikla transformáciou času (poradie jednotlivých 15 minútových meraní t)

Preprocessing

Meteorologické a solárne atribúty boli individuálne preškálované do rozpätia (0, 1).

Optimalizácia parametrov

Hyperparametre metódy boli určené sériou experimentov:

- počet stromov ntree = 100
- minimálny počet pozorovaní v listoch stromu nodesize = 3
- zvyšné parametre knižničnej metódy preberajú prednastavené hodnoty alebo sú automaticky určené v závislosti od veľkosti alebo počtu atribútov v trénovacej sade.

Výber trénovacích dát a Post processing

Analogicky ako v metóde Viacnásobnej lineárnej regresie (kapitola kNN + MLR).

Zdrojové súbory

- RF_prediction.Rmd – skript obsahujúci celý proces: načítanie dát výroby a počasia, výber trénovacích dní pomocou kNN, predikcia, uloženie a vizualizácia výsledkov.

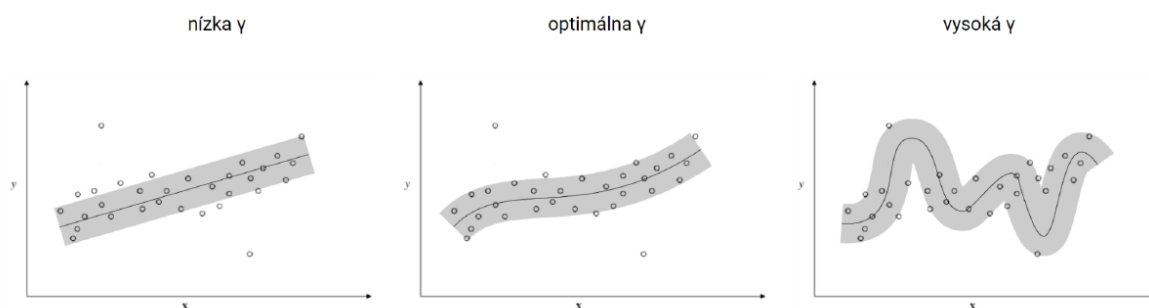
Na riadku 8 sa zadáva dátum predikovaného dňa. Zvyšné parametre metód sa nastavujú v sekcii "parameters_selection".

5.1.4 SVR + PSO

Regresia podporných vektorov (SVR – support vector regression) modeluje vzťah medzi výrobou el. energie a atribútmi počasia ako nadrovinu, ktorá v sebe a vo svojom blízkom okolí pokrýva čo najviac pozorovaní (vektorov atribútov počasia a výroby el. energie). Metóda má 3 parametre:

- veľkosť blízkeho okolia ε (epsilon),
- výška penalizácie C (cost) za pozorovania, ktoré ležia mimo nadroviny a jej blízkeho okolia,
- parameter γ (gamma), ktorý sa používa v RBF (radial basis function) kernel funkcii a ovplyvňuje komplexnosť nadroviny modelujúcej pozorovania.

Nízke hodnoty produkujú jednoduchú nadrovinu, napr. priamku alebo rovinu, ktorá pokryje všetky pozorovania, ale s vyšším rozptylom. Vysoké hodnoty produkujú komplexnejšiu nadrovinu s nižším rozptylom, napr. krivka, zvlnená rovina, ktorá v extrémnom prípade presne kopíruje pozorovania a vytvorí pretrénovaný model (overfitting). Pozri Obr. XX.



Obrázok 30 – Príklad SVR modelu s rôznymi hodnotami parametra γ (gamma)

Výroba počas každých 15 minút v dni bola modelovaná zvlášť SVR modelom. Keďže výroba počas roka bola nenulová v čase 02:45 až 18:45, použili sme 65 oddelených modelov na predpovedanie hodnôt výroby nasledujúci deň. Každý model bol trénovaný len na hodnotách z daného času, ktorý predpovedal.

Výber trénovacích dát

Pre výrobu počas každých 15 minút sa vyberali vhodné atribúty zo 47 dostupných atribútov, ktoré obsahovali: predpovede počasia, včerajšie meteorologické merania, doplnkové solárne dáta a výrobu počas 3 posledných dní. Atribúty boli vybrané na základe lineárnej a nelineárnej korelácie výroby v danom čase počas dňa s atribútmi. Vždy sa vybrali 3 s najväčšou koreláciou a všetky atribúty s koreláciou väčšou ako 0.5. Lineárna korelácia bola učená ako hodnota Pearsonovho koeficientu. Nelineárna korelácia bola určená ako hodnota Pearsonovho koeficientu na zlogaritmizovaných hodnotách výroby a atribútov.

Pre processing

Hodnoty atribútov pre SVR modely boli normalizované do intervalu (0, 1).

Post processing

- Predikcia sa vykonáva iba pre časy, kedy sa nachádza slnko na oblohe. Zvyšná časť dňa je v predikcii nahradená hodnotou 0.
- Potenciálne záporné hodnoty predikcie sú nahradzované hodnotou 0.
- Hodnoty z oddelených predikčných modelov pre jednotlivé časy dňa sú vyhladené pomocou Savitzky-Golay filtra polynómom 5. stupňa s veľkosťou okna 29 (Obr. XX).



Obrázok 31 – Príklad vyhladenia predikcie (modrá) Savitzky-Golay filtrom

Optimalizácia parametrov

Parametre SVR modelov (ϵ , C , γ) boli optimalizované pomocou roja častíc (PSO – particle swarm optimization) tak, aby bola minimalizovaná chyba RMSE (root mean square error) na posledných 10% trénovacej množiny.

Zdrojové súbory

- Dataset creation.ipynb – vytvorenie jedného datasetu so 47 atribútmi (súboru dataset_all.csv) z dostupných dát o výrobe, predpovediach počasia, včerašých meteorologických meraniach a doplnkových solárnych dát. + vytvorenie oddelených datasetov pre každých 15 minút počas dňa s vybranými korelujúcimi atribútmi (súbory 2_00.csv až 19_45.csv v adresári datasets).
- SVR.ipynb – paralelizovaný výpočet predikcie, optimalizácia parametrov s PSO, post processing a vyhodnotenie priemernej dennej chyby RMSE.

5.1.5 UNET

Na úlohu sme chceli skúsiť aplikovať aj model založený na neurónových sieťach. Počas prvotnej analýzy súvisiacich prác sme sa rozhodli použiť konvolučnú neurónovú sieť, ktorá má pôvod v počítačovom videní, no je vhodná i na spracovanie časových radov. Následne sme na základe nastavenia problému ako transformácie viackanálového časového radu počasia na zodpovedajúci časový rad výroby vybrali jednodimenzionálnu U-Net architektúru (Obr. XX). Ide o architektúru vychádzajúcu z Enkóder-Dekóder prístupu a zdala sa nám ako najvhodnejšia, keďže bola vyvinutá na analogické úlohy transformácie vstupu na výstup rovnakej dimenzionality.

Model sme implementovali pomocou knižnice PyTorch jazyka Python. Odovzdávané zdrojové kódy sú vo formáte Jupyter Notebook. Zároveň bol kód integrovaný so systémom Weights and Biases pre sledovanie a zaznamenávanie výsledkov experimentov. Pomocou neho sme optimalizovali hyperparametre tréningu ako rýchlosť učenia, zložitosť modelu (počty kernelov) a ďalšie. Tieto sú bližšie vysvetlené v priložených notebookoch.

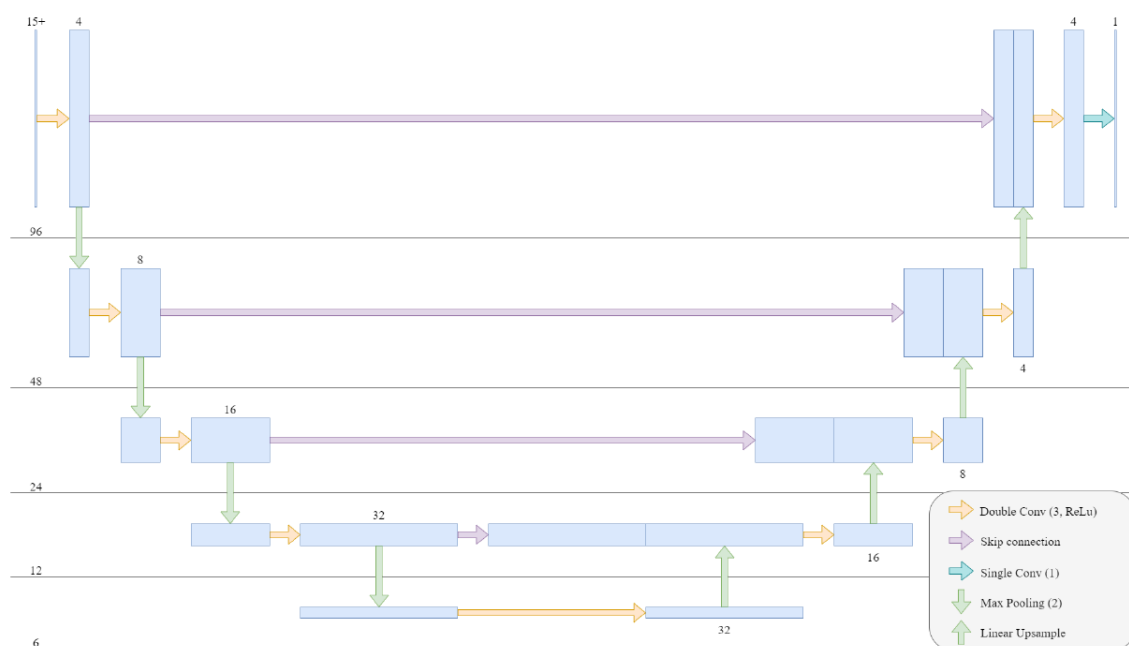
Postup tréningu (Výber dát a Pre processing)

Počas experimentov sme natrénovali vždy jeden model na zvolenej trénovacej sade a pomocou neho sme predpovedali výrobu počas celej dĺžky trénovacej sady. Pre predikciu výroby v daný deň bolo použitých niekoľko atribútov počasia a ako voliteľný parameter sme pridali aj niekoľko časových radov výroby z predchádzajúcich dní. Počas tréningu boli použité historické merania počasia z danej lokality. Pri vyhodnocovaní na testovacej sade boli zasa použité historické predpovede počasia z

predchádzajúceho dňa, aby sme tak simulovali reálne použitie v praxi. Všetky atribúty dátovej sady boli normalizované na rozsah hodnôt (0, 1).

Najlepší model

Počas tréovania sme otestovali niekoľko prístupov k tréovaniu a rôzne zložitosti modelov. Z hľadiska zložitosti sa ako najlepší model ukázala UNet architektúra, ktorá vstup v prvej vrstve spracuje konvolúciou na 4 kanály a následne v nižších vrstvách vždy zdvojnásobí počet kanálov predchádzajúcej, pričom skráti dĺžku časových radov na polovicu. Finálny vektor má tak po prechode enkóderom 64 kanálov a dĺžku 6 (pri vstupe dĺžky 96). Prvotné verzie modelu mali problém s nadhodnocovaním výroby na základe daných atribútov o počasí. Toto bolo vyriešené modifikáciou účelovej MSE funkcie tak, aby penalizovala nadhodnocovanie počas tréovania 8x viac ako podhodnotenie. Taktiež sme modelu poskytli údaje o výrobe z predchádzajúcich troch dní, čo tiež pomohlo zmierniť tento problém.



Obrázok 32 – U-Net architektúra natrénovaného modelu. Nad blokmi sú výsledné počty kanálov spracovávaného vektora. Na ľavej strane je zobrazená dĺžka vektora v každej úrovni.

Výsledný natrénovaný model je priložený v odovzdanom repozitári ako best_model.py.

Zdrojové súbory

- models – adresár s definíciou modelu U-Net
- weather_dataset.py – definície datasetu pre načítavanie po dňoch
- train_unet_model.ipynb – notebook pre tréovanie modelov
- test_unet_model.ipynb – notebook pre export výsledkov modelov

5.2 Dosiahnuté výsledky

Vybrané predikčné metódy boli podrobené dôkladnej evaluácii, ktorej súčasťou bol aj odhad hyperparametrov (pre samotné predikčné metódy ako aj PSO a kNN). Spôsob tréovania bol individuálne prispôsobený špecifikám jednotlivých metód, aby sa naplno využil ich potenciál a zvýšila sa presnosť predikcie (napr. využitie posuvného tréovacieho okna na pravidelné znovu-natrénovanie alebo výber atribútov do tréovacej sady).

Aby sa docielilo objektívne vyhodnotenie presnosti predikcie jednotlivých metód, bola záverečná evaluácia vykonaná na jednotnej testovacej sade, ktorá obsahovala merania, meteorologické a solárne atribúty pre obdobie od 1.1.2021 do 31.12.2021. Niektoré dni neobsahovali všetky merania PV produkcie (t.j. z každej štvrťodiny), alebo chýbali merania z celého dňa, a preto boli vyradené z testovacej sady:

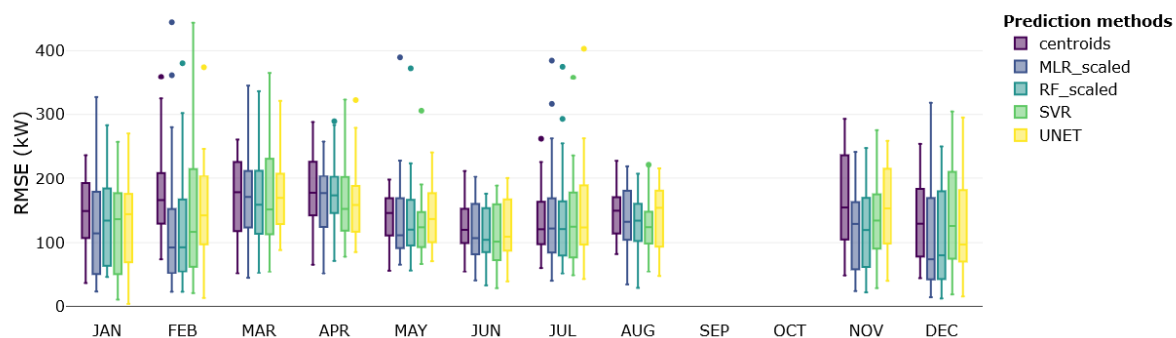
2021-08-20, 2021-08-21, 2021-08-22, 2021-08-23, 2021-08-24, 2021-08-25, 2021-08-26,
2021-08-27, 2021-08-28, 2021-08-29, 2021-08-30, 2021-08-31, 2021-09-01, 2021-09-02,
2021-09-03, 2021-09-04, 2021-09-05, 2021-09-06, 2021-09-07, 2021-09-08, 2021-09-09,
2021-09-10, 2021-09-11, 2021-09-12, 2021-09-13, 2021-09-14, 2021-09-15, 2021-09-16,
2021-09-17, 2021-09-18, 2021-09-19, 2021-09-20, 2021-09-21, 2021-09-22, 2021-09-23,
2021-09-24, 2021-09-25, 2021-09-26, 2021-09-27, 2021-09-28, 2021-09-29, 2021-09-30,
2021-10-01, 2021-10-02, 2021-10-03, 2021-10-04, 2021-10-05, 2021-10-06, 2021-10-07,
2021-10-08, 2021-10-09, 2021-10-10, 2021-10-11, 2021-10-12, 2021-10-13, 2021-10-14,
2021-10-15, 2021-10-16, 2021-10-17, 2021-10-18, 2021-10-19, 2021-10-20, 2021-10-21,
2021-10-22, 2021-10-23, 2021-10-24, 2021-10-25, 2021-10-26, 2021-10-27, 2021-10-28,
2021-10-29, 2021-10-30, 2021-10-31, 2021-11-01, 2021-11-02, 2021-11-03

Priemerná denná chyba predikcie so smerodajnou odchýlkou, vypočítaná na testovacej sade, sa nachádza v Tab. 17

Tabuľka 16 - konečné vyhodnotenie presnosti predikčných metód na testovacej sade dát

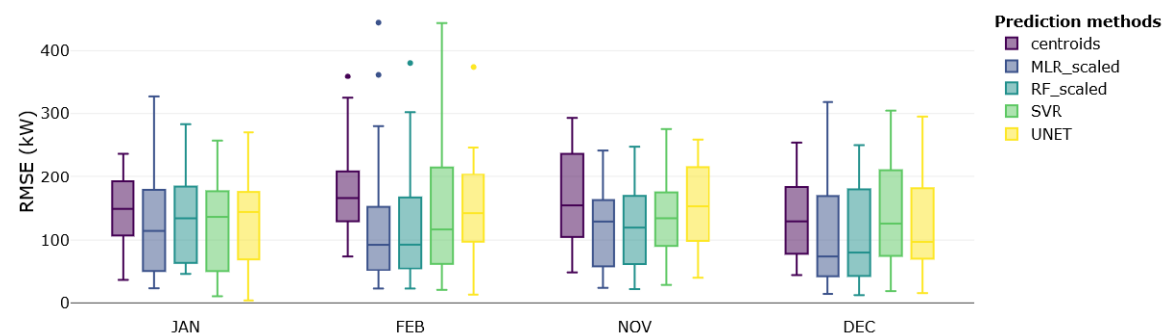
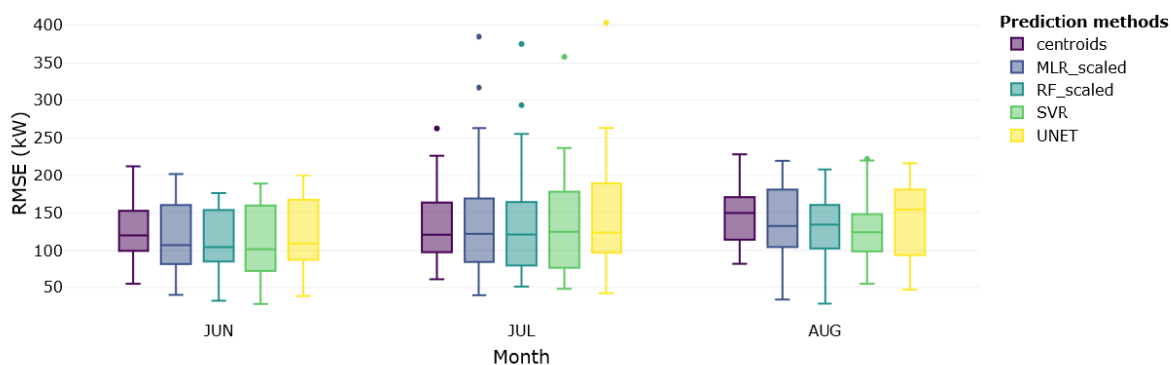
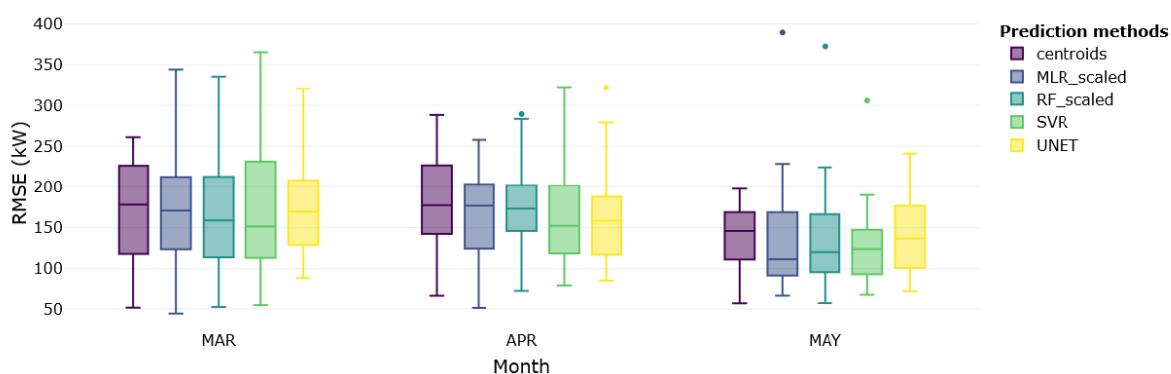
Názov	Priemerná denná RMSE (v kW) \pm smerodajná odchýlka
kNN + RF	132,97 \pm 67,93
kNN + MLR	134,84 \pm 73,54
SVR + PSO	137,26 \pm 69,85
UNet	144,84 \pm 64,22
kNN + centroids	150,97 \pm 59,106

Mesačné priemerné denné chyby predikcie vybraných predikčných metód sú zobrazené na Obr. 6.

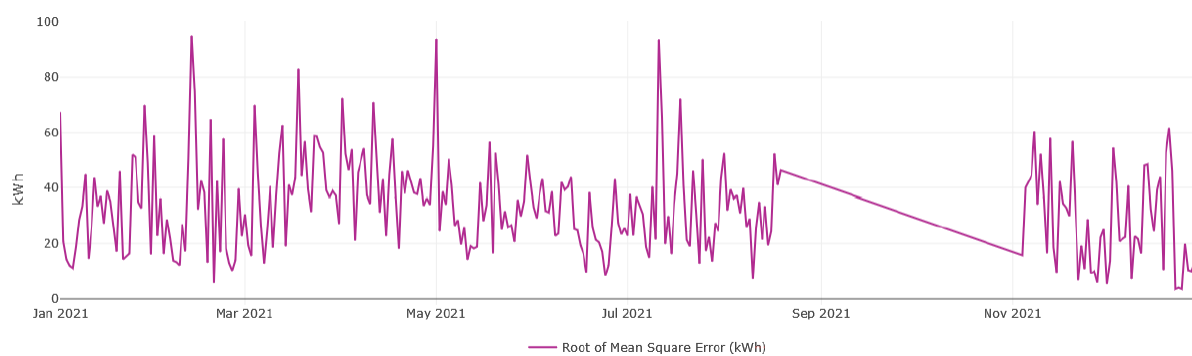


Obrázok 33 - Porovnanie presnosti predikcie testovaných metód pomocou krabicových (boxplot) grafov, zachytávajúcích prvý kvartil, medián, tretí kvartil a odlahlé pozorovania (outliers) pre jednotlivé mesiace v testovacej sade.

Detailnejší pohľad na výsledky podľa ročných období:



Obrázok 34 - Bližší pohľad na výsledky presnosti predikcie testovaných metód podľa mesiacov v ročných obdobiach.



Obrázok 35 - priemerná denná miera predikcie metódy kNN + RF

6 PARAMETRE PRODUKCIE A NÁKLADOV

6.1.1 Analýza problematiky

Výroba elektriny z OZE, hlavne z veternej a slnečnej fotovoltickej energie, zažíva v posledných rokoch pôsobivý nárast. Náklady na výrobu elektriny z vetra a slnka sa medzitým čoraz viac vyrovnávajú nákladom na elektrinu zo spaľovania fosílnych palív. Využívanie obnoviteľných zdrojov energie ešte stále sprevádzajú často relatívne veľké náklady na zriadenie samotného energetického zariadenia. Energetická a ekonomická efektívnosť takéhoto zariadenia mnohokrát nevyhovuje našim požiadavkám. Jedným z dôvodov je nízka energetická efektívnosť v dôsledku vlastností obnoviteľných zdrojov energie, druhým dôvodom je vysoká cena zariadenia s požadovaným výkonom.

V čase veľkej spotreby potom prídu na rad klasické zdroje energie. Jednou z možností optimalizácie procesu výroby a spotreby energie je zavádzanie zásobníkov energie. Táto možnosť však vedie k zvýšeniu ceny zariadenia a náročnosti na riadenie celého energetického procesu. Všetky uvedené, ale aj iné problémy zavádzania OZE možno uspokojivo riešiť ešte pred samotným návrhom a výberom technológie na základe využitia niektorých princípov riadenia celého životného cyklu energetického zariadenia. Tým je proces analýzy energetickej spotreby jednotlivých druhov energie, návrhu hlavného cieľa zníženia energetickej náročnosti, výberu energetického zariadenia, výpočtu ekonomickej efektívnosti na základe nákupnej ceny a priebežných nákladov, nákladov na likvidáciu a ochranu životného prostredia.

Predpokladaný nedostatok dostupných zdrojov energie za prijateľné ceny je spolu s globálnym otepľovaním problémom, ktorý významne determinuje ďalší rozvoj ľudstva. Najlacnejším spôsobom riešenia nedostatku energie je zlepšenie využívania energie – zvýšenie energetickej efektívnosti. Tento prístup paralelne prispieva aj k zníženiu skleníkových emisií.

6.1.2 Predikovanie spotreby elektrickej energie

Predikcia spotreby elektrickej energie hrá v ekonomike prevádzky inteligentných sietí rozhodujúcu úlohu. Presné predpovedanie spotreby elektrickej energie je nevyhnutné pre tvorbu plánov výroby elektrickej energie a celkovú bilanciu v inteligentnej sieti. Variabilita dát a premenných v čase však bráni v dosahovaní uspokojivej presnosti predikcie.

Dáta o spotrebe elektrickej energie predstavujú časové rady obsahujúce odbery elektrickej energie v rámci rovnako veľkých časových úsekov. Vďaka inteligentným meracím systémom sú tieto hodnoty merané v hodinových, polhodinových či štvrt hodinových intervaloch. V dátach sú zrejmé sezónne vplyvy na úrovni denných, týždenných a ročných sezónností. V rámci dňa je výraznejšia spotreba v denných oproti nočných hodinách. Týždne sú charakterizované inými priebehmi spotreby pre pracovné dni a dni voľna (začiatok a koniec pracovného týždňa má často iný priebeh ako je to u dní v strede pracovného týždňa). V rámci ročnej sezónnosti sú zjavné zmeny pri sviatkoch a prázdninách. Tiež je možné v dátach pozorovať vplyv ročných období na odber elektriny.

Analýza dát o spotrebe elektrickej energie z inteligentných meracích systémov zahŕňa množstvo rôznych úloh spracovania týchto dát. Hlavnou úlohou je predikovanie odberov elektrickej energie, no zaujímavými výzvami sú aj analýza odberov s cieľom odhaliť zlé dáta alebo vytváranie typických profilov odberov, či podpora riadenia odberov s cieľom napríklad charakterizovať zákazníkov a podobne.

Vzhľadom na cieľ má zmysel predikovať odbery pre rôzne dlhý horizont dopredu. Obyčajne sa predikcie rozdeľujú na krátkodobé (predikcia na sekundy až týždeň dopredu) a dlhodobé (na týždne, mesiace, roky). Ďalšie dôležité rozdelenie metód na predikciu odberov je statické vs. dynamické, kde statické metódy je potrebné pri pridaní nových dát znovu preučiť, pričom dynamické metódy je možné doučať ako dáta prichádzajú buď on-line (po každom novom meraní) alebo inkrementálne (v dávkach).

Väčšina techník prezentovaných v literatúre predstavujú statické metódy produkujúce bodové predikcie. Pravdepodobnostné či dynamické metódy obyčajne vychádzajú z nich.

V rámci riešenia problematiky mikrogridov budú primárnym zdrojom dát inteligentné meracie systémy. Zber údajov nameraných prostredníctvom IMS meradiel bude zabezpečovať zberová centrála IMS. Pre potreby simulácií však môžu byť dôležité aj ďalšie merané veličiny, ktoré inteligentné meracie systémy nemerajú. Pre predikciu spotreby a výroby z obnoviteľných zdrojov sú dôležité meteorologické údaje, ktoré významným spôsobom prispievajú k predikcii ďalšieho vývoja tokov energií v sieti. Meteorologické údaje je možné získavať prostredníctvom IoT zariadení umiestnených na vhodných miestach vo vzťahu k príslušným výrobným zariadeniam alebo spotrebičom.

6.1.3 Parametre produkcie a nákladov

Obsah dátovej entity „Parametre produkcie a nákladov“ sa zameriava na parametre spotreby a výroby elektrickej energie a ich nákladov, ktoré vstupujú do optimalizačného procesu a určujú jeho priebeh a tým majú dopad na výsledok účelovej funkcie.

Hlavnou myšlienkou použitia parametrov je ohraničiť požadovanú množinu riešení veľkosti inštalovaných výkonov zdrojovej základne mikrogridu tak, aby výsledky optimalizácie zodpovedali odborným predpokladom a zadaniu. V prípade nedostatočnej definície alebo nekorektného použitia parametrov môžu optimalizačné algoritmy nájsť veľkosti inštalovaných výkonov, ktoré budú v zjavnom nepomere alebo nebudú zodpovedať odborným predpokladom. Rovnako môže dôjsť aj k situáciám, kedy optimalizačné algoritmy nebudú schopné nájsť riešenie, prípadne bude potrebné testovať niekoľko algoritmov súčasne, čím sa predĺži výpočtový čas optimalizácií.

Parametre majú formu štatistických údajov napr. maximálna štvrťhodinová hodnota spotreby za rok, ktoré sú extrahované z časových radov vstupujúcich do optimalizácie. Možnosť extrahovať široké spektrum takýchto štatistických údajov otvára priestor pre podrobné ladenie optimalizačných procesov. Napríklad je možné dať ako vstupný parameter optimalizačnú podmienku ktorá zabezpečí, aby optimalizovaný inštalovaný výkon fotovoltickej elektrárne mal takú hodnotu, ktorá v rámci jedného roku bilančne pokryje aspoň 10 % spotreby odberného miesta. V niektorých prípadoch by totiž mohlo nastať, že optimalizované hodnoty výrobných zdrojov z nízkym ročným koeficientom využitia inštalovaného výkonu (ako napr. fotovoltika) by boli veľmi nízke. Je to z toho dôvodu, že optimalizačné algoritmy dávajú takýmto výrobným zdrojom nižšiu váhu a naopak napr. kogeneračným zdrojom vyššiu váhu pri napĺňaní podmienok účelovej funkcie. Tento nedostatok je možné vykompenzovať vhodnou definíciou optimalizačných podmienok pre zdroje s nízkym koeficientom využitia inštalovaného výkonu.

Dôležitou vlastnosť bilančných optimalizácií je ich štvrťhodinový a súčasne celoročný rozmer, ktorý umožňuje definovať technické a ekonomické parametre v rôznom časovom rozlíšení. Parametre umožňujú realistickú optimalizáciu v štandardnej časovej doméne. Výsledné hodnoty optimalizovaných inštalovaných výkonov sa premietnu do nárastu alebo poklesu energetického obsahu priebehov jednotlivých prvkov v mikrogride, ktoré je možné následne vykresliť.

Pretože v rámci optimalizácií sa pracuje so skutočnými nameranými hodnotami spotreby a výroby, optimalizačné algoritmy tak v plnej miere rešpektujú realitu a pracujú s parametrami produkcie a nákladov z reálnej prevádzky. Toto je veľmi dôležitá vlastnosť vyvíjaného softvérového riešenia, ktoré pracuje s reálnou variabilitou výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov energie. Rovnako sú do optimalizácie zahrnuté aj výpadky výrobných zdrojov napríklad kogeneračných jednotiek, u ktorých sa niekoľkokrát počas roka stáva, že sú mimo prevádzky na niekoľko hodín alebo dokonca dní.

Pokročilý optimalizačný rámec bude obsahovať veľké množstvo parametrov, ktorých determinácia a použitie bude určené optimalizačnou praxou. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené príklady parametrov.

Tabuľka 17 - príklady parametrov pre optimalizačné algoritmy

Prvok mikrogridu	Parameter	Popis
Odber	Maximálny štvrťhodinový odber v [kW]	Maximálna hodnota odberu v rámci celého roka a môže predstavovať parameter, ktorému sa prispôsobí návrh zdrojovej základne mikrogridu.
	Celkový odber [kWh/rok]	Celkový odber elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý aj ekonomického pohľadu.
Kogeneračná jednotka	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja.
	Ročná suma výroby kogeneračnej jednotky [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri kogeneračných jednotkách má hodnotu obvykle nad 80 %.
Fotovoltaická elektrárň	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja. Pri fotovoltaickej elektrárni sa pohybuje na úrovni maximálne 90 % z inštalovaného výkonu.
	Ročná suma výroby fotovoltaickej elektrárne [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri fotovoltaickej elektrárni má hodnotu obvykle do 20 %.
Veterná elektrárň	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna hodnota výroby v rámci celého roka. Obvykle nepresahuje maximálny menovitý výkon zdroja. Pri veternej elektrárni sa pohybuje na úrovni maximálne 100 % z inštalovaného výkonu.
	Ročná suma výroby veternej elektrárne [kWh/rok]	Celková výroba elektrickej energie za kalendárny rok. Tento parameter je dôležitý pretože poskytuje prehľad o veľkosti ročného koeficientu využitia inštalovaného výkonu. Pri veternej elektrárni má hodnotu obvykle od 20 do 30 %.
Bilancia mikrogridu	Maximálna štvrťhodinová výroba [kW]	Maximálna sumárna hodnota výroby v mikrogride v rámci celého roka. Pri výsledkoch optimalizácií a simulácií sa skúma jej veľkosť a eventuálny presah spotreby v mikrogride. Signifikantnú dôležitosť naberá najmä v prípade ostrovnej prevádzky mikrogridu.
	Maximálna štvrťhodinová bilancia v mikrogride [kW]	Maximálna absolútna hodnota rozdielu medzi výrobou a spotrebou v mikrogride v priebehu roka. Pri výsledkoch optimalizácií a simulácií sa skúma jej veľkosť v mikrogride. Od jej veľkosti sa môžu odvíjať ďalšie parametre ako dimenzovanie akumulátora elektrickej energie. Signifikantnú dôležitosť naberá najmä v prípade ostrovnej prevádzky mikrogridu.
	Celková výroba zdrojov v mikrogride [kWh/rok]	Celková sumárna výroba zdrojov v mikrogride. Umožňuje analyzovať ročný pomer výroby a spotreby v mikrogride a tiež umožňuje kvantifikovať sebestačnosť mikrogridu.

7 ZÁVER

Jadrom navrhovaného riešenia je relačná databáza modelu siete, ktorá zabezpečuje uchovanie dát v jednotnej dátovej základni (prvky inteligentných sietí / mikrogridov, vlastnosti prvkov, prepojenia prvkov, namerané údaje a výsledky simulácií a analýz) s flexibilnou možnosťou pridávania nových dátových prvkov, prípadne nových celých štruktúr.

Relačná databáza uchováva všetky aplikačné aj riadiace dáta systému, ktoré sú spravované štandardným databázovým systémom. V prípade kritických operácií nad veľkým objemom dát sa tieto kritické výpočty implementujú priamo v databáze.

Samotný popis dátového modelu, od ktorého závisí správanie sa celého databázového systému, sa nachádza v kapitole 2 tohto dokumentu. Návrh a realizácia dátových štruktúr databázy a entít potrebných pre modelovanie mikrogridov nasleduje za ním.

V ďalšej časti popisujeme Typy zariadení v relačnej databáze, ktorých vytvoreniu slúžil obraz existujúcich objektov v laboratóriách FVE smart grid ÚMMS SAV a LVN STU. Takisto boli v relačnej databáze vytvorené objekty zariadení typu OZE, ktoré môžu byť všeobecne považované za použiteľné v danej téme a nachádzajú sa v časti Model mikrogridu. Na základe týchto podkladov bol vytvorený digitálny obraz v relačnej databáze inštancie prototypu CE2/DB. Podľa reálnych zariadení boli vytvorené objektové štruktúry pre obe laboratória s parametrami a mernými jednotkami a s importovanými hodnotami meraní k určitému časovému rezu.

Dôležitou súčasťou riešenia je aj existencia Zberovej centrály, ktorá zabezpečuje cez serveri tok nameraných dát zo samotných zariadení do inštancie CE2/ZC.

V grafickom prostredí prototypu CE2/DB bola vytvorená schéma laboratória STU, ktorej grafické objekty sú prepojené s objektovými štruktúrami v relačnej databáze a zobrazujú vybrané parametre týchto zariadení. V kapitole popisujeme vlastnosti modulu Schémy ako aj prácu v samotnej grafickej schéme.

Simulácie a analýzy, ktoré boli v rámci míľníka zrealizované, sa zameriavajú na akútny problém výroby elektrickej energie a to jej predikciu (prognózu). Na základe špecifikácie, analýzy súčasného poznania v oblasti a dostupných dátových sád počasia, bolo implementovaných a otestovaných 5 simulačno-predikčných prístupov (kNN + centroidy, kNN + MLR, kNN + RF, SVR + PSO, Unet).

V poslednej časti sa zaoberáme problematikou Parametrov produkcie a nákladov, analyzujeme samotnú tému, upozorňujeme na výzvy spojené s predikovaním spotreby elektrickej energie a uvádzame príklady parametrov pre optimalizačné algoritmy rôznych typov zariadení mikrogridu.

8 ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1	- Návrh štruktúry databázy a entít pre modelovanie sústavy.....	6
Obrázok 2	- Úvodná obrazovka aplikácie.....	7
Obrázok 3	- Funkčné oblasti návrhu relačnej databázy	7
Obrázok 4	- Zobrazenie hierarchického objektového stromu.....	8
Obrázok 5	- Zobrazenie objektového stromu modelu mikrogridu.....	14
Obrázok 6	- Zobrazenie objektového stromu zariadení SAV	14
Obrázok 7	- Zobrazenie objektového stromu zariadení STU.....	15
Obrázok 8	- parametre zariadenia v databáze	16
Obrázok 9	- parametre zariadenia v databáze	17
Obrázok 10	- parametre zariadenia v databáze – variant 1.....	18
Obrázok 11	- parametre zariadenia v databáze – variant 2.....	19
Obrázok 12	- parametre zariadenia v databáze	20
Obrázok 13	- parametre zariadenia v databáze	22
Obrázok 14	- parametre zariadenia v databáze	23
Obrázok 15	- parametre zariadenia v databáze	24
Obrázok 16	- parametre zariadenia v databáze	25
Obrázok 17	- parametre zariadenia v databáze	27
Obrázok 18	- parametre zariadenia v databáze	27
Obrázok 19	- parametre zariadenia v databáze	28
Obrázok 20	- parametre zariadenia v databáze	29
Obrázok 21	- parametre zariadenia v databáze	30
Obrázok 22	- parametre zariadenia v databáze	31
Obrázok 23	- parametre zariadenia v databáze	33
Obrázok 24	- modul Schémy.....	34
Obrázok 25	- označenie prepojeného zariadenia v schéme.....	35
Obrázok 26	- záložka Domumentácia na formulári zariadenia.....	36
Obrázok 27	- technická schéma laboratória.....	36
Obrázok 28	- vizualizácia nameraných fotovoltických dát z Banskej Belej.....	37
Obrázok 29	- Vizualizácia výberu dát do metódy kNN	39
Obrázok 30	- Príklad SVR modelu s rôznymi hodnotami parametra γ (gamma).....	41
Obrázok 31	- Príklad vyhladenia predikcie (modrá) Savitzky-Golay filtrom.....	42
Obrázok 32	- U-Net architektúra natrénovaného modelu. Nad blokmi sú výsledné počty kanálov spracovávaného vektora. Na ľavej strane je zobrazená dĺžka vektora v každej úrovni.	43
Obrázok 33	- Porovnanie presnosti predikcie testovaných metód pomocou krabicových (boxplot) grafov, zachytávajúcich prvý kvartil, medián, tretí kvartil a odľahlé pozorovania (outliers) pre jednotlivé mesiace v testovacej sade.....	45
Obrázok 34	- Bližší pohľad na výsledky presnosti predikcie testovaných metód podľa mesiacov v ročných obdobiach.	45

Obrázok 35 - priemerná denná miera predikcie metódy kNN + RF	46
---	-----------

9 ZOZNAM TABULIEK

<i>Tabuľka 1 - parametre tepelného čerpadla</i>	<i>11</i>
<i>Tabuľka 2 - parametre elektromera</i>	<i>15</i>
<i>Tabuľka 3 - parametre elektrolyzéra</i>	<i>16</i>
<i>Tabuľka 4 - parametre FV elektrárne</i>	<i>18</i>
<i>Tabuľka 5 - parametre FV panela</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 6 - parametre pre synchronný generátor</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 7 - parametre pre úložisku energie</i>	<i>22</i>
<i>Tabuľka 8 - parametre pre veternú turbínu</i>	<i>23</i>
<i>Tabuľka 9 - parametre pre vodnú turbínu</i>	<i>24</i>
<i>Tabuľka 10 - parametre pre tepelné čerpadlo</i>	<i>26</i>
<i>Tabuľka 11 - parametre pre MVE generátor</i>	<i>28</i>
<i>Tabuľka 12 - parametre pre VE generátor</i>	<i>29</i>
<i>Tabuľka 13 - parametre pre KGJ generátor</i>	<i>30</i>
<i>Tabuľka 14 - parametre pre KGJ mikroturbínu</i>	<i>32</i>
<i>Tabuľka 15 - riadiace tlačidlá pre ovládanie prvkov v schéme</i>	<i>35</i>
<i>Tabuľka 16 - konečné vyhodnotenie presnosti predikčných metód na testovacej sade dát</i>	<i>44</i>
<i>Tabuľka 17 - príklady parametrov pre optimalizačné algoritmy</i>	<i>49</i>