

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2024

Bc. Marek Bolf



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE POMOCÍ ŘÍZENÍ DOMOVNÍCH TECHNOLOGIÍ

OPTIMISING THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES BY CONTROLLING HOME TECHNOLOGIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Bolf

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Jablončík

BRNO 2024

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Marek Bolf

ID: 211101

Ročník: 2

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace využití obnovitelných zdrojů energie pomocí řízení domovních technologií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout systém řízení energií v budovách se zaměřením na využití obnovitelných zdrojů energie. Tento návrh bude zaměřen na konkrétní instalaci v rodinném domě. Ta bude obsahovat fotovoltaickou elektrárnu včetně bateriového úložiště, ohřevu vody, nabíjecí stanici elektromobilů, odečtu elektroměrů, chytré zásuvky apod. Student se bude zabývat praktickým návrhem optimalizačního algoritmu pro univerzální použití v budovách. Pro konkrétní instalaci bude vytvořen algoritmus, který bude energie v budově řídit a bude určen pro gateway s linuxovým jádrem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2024

Termín odevzdání: 21.5.2024

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Jablončík

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa zo začiatku venuje rozboru spôsobov efektívneho riadenia energií a rozboru obnoviteľných zdrojov energie. Následne je práca zameraná na detailný popis návrhu optimalizačného algoritmu, ktorý plánuje a distribuuje tok elektrickej energie v domácnosti. Efektivita algoritmu bola výpočtami ukázaná na zozbieraných dátach z dní v minulosti. Tento algoritmus je zameraný taktiež na komunikáciu s ostatnými zariadeniami v domácnosti. V práci je algoritmus vysvetlený slovne, diagramom a výpočtami. Následne bol vybraný typ riadiacej jednotky.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

finančná úspora, obnoviteľné zdroje energie, optimalizácia, optimalizačný algoritmus, riadenie energií

ABSTRACT

Initially, this thesis is devoted to the analysis of methods of efficient energy management and the analysis of renewable energy sources. Subsequently, the thesis focuses on detailing the design of an optimization algorithm that schedules and distributes the flow of electricity in the home. The effectiveness of the algorithm has been computationally demonstrated using data collected from days in the past. This algorithm is also aimed at communicating with other devices in the home. In this paper, the algorithm is explained verbally, with diagram and calculations. Subsequently, the type of control unit has been selected.

KEYWORDS

financial savings, renewable energy, optimization, optimization algorithm, energy management

BOLF, Marek. *Optimalizace využití obnovitelných zdrojů energie pomocí řízení domovních technologií*. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2024. Vedúci práce: Ing. Lukáš Jablončík

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Marek Bolf
VUT ID autora: 211101
Typ práce: Diplomová práca
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečnéj práce: Optimalizace využití obnovitelných zdrojů energie pomocí řízení domovních technologií

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Chcem sa poďakovať vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Lukášovi Jablončíkovi, za trpezlivosť, odborné vedenie, vecné rady a ľudský prístup.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 12 |
| 1 Spôsoby riadenia energií | 13 |
| 1.1 Inteligentné zariadenia | 13 |
| 1.2 Riadenie energeticky náročných spotrebičov | 14 |
| 1.2.1 Nabíjačka elektromobilu | 14 |
| 1.2.2 Tepelné čerpadlo | 15 |
| 1.2.3 Klimatizácia | 17 |
| 1.3 Ostatné technológie | 17 |
| 1.4 Nadradené riadiace systémy | 17 |
| 1.4.1 Loxone | 18 |
| 1.4.2 KNX | 20 |
| 1.4.3 Foxtrot | 20 |
| 1.4.4 Porovnanie riadiacich systémov | 21 |
| 2 Obnoviteľné zdroje energie | 24 |
| 2.1 Solárna energia | 24 |
| 2.1.1 Pasívny solárny systém | 24 |
| 2.1.2 Aktívny fotovoltaický solárny systém | 25 |
| 2.1.3 Aktívny fototermitický solárny systém | 27 |
| 2.2 Veterné elektrárne | 27 |
| 2.3 Vodné elektrárne | 29 |
| 2.3.1 Prílivové elektrárne | 30 |
| 2.4 Geotermálna energia | 31 |
| 2.5 Bioenergia | 32 |
| 3 Optimalizačný algoritmus | 34 |
| 3.1 Štruktúra optimalizačného algoritmu | 34 |
| 3.1.1 Inicializačná časť | 36 |
| 3.1.2 Algoritmus A | 42 |
| 3.1.3 Algoritmus D | 51 |
| 3.1.4 Algoritmus C | 53 |
| 3.1.5 Algoritmus E | 60 |
| 3.1.6 Zhodnotenie algoritmu na základe prepočítaných údajov | 66 |
| 3.2 Predikcia spotreby elektrickej energie | 67 |
| 3.3 Riadiaca jednotka | 71 |
| Záver | 73 |

| | |
|----------------------------|----|
| Literatúra | 74 |
| Zoznam symbolov a skratiek | 81 |

Zoznam obrázkov

| | | |
|------|--|----|
| 3.1 | Ukážka blokovej schémy optimalizačného algoritmu | 35 |
| 3.2 | Návrh inicializačnej časti algoritmu | 41 |
| 3.3 | Návrh prvej časti algoritmu A | 44 |
| 3.4 | Návrh druhej časti algoritmu A | 46 |
| 3.5 | Priebeh dodávanej energie z distribučnej siete a batérie počas dňa v optimalizovanej variante | 48 |
| 3.6 | Priebeh nabíjania a vybíjania batérie počas dňa v optimalizovanej variante | 49 |
| 3.7 | Priebeh dodávanej energie z distribučnej siete a batérie počas dňa v neoptimalizovanej variante | 50 |
| 3.8 | Priebeh nabíjania a vybíjania batérie počas dňa v neoptimalizovanej variante | 50 |
| 3.9 | Návrh dovolenkového algoritmu D | 52 |
| 3.10 | Návrh algoritmu C | 54 |
| 3.11 | Časť algoritmu popisujúca výber lacných spotových intervalov pre nabíjanie batérie | 56 |
| 3.12 | Graf zobrazujúci priebeh nabíjania a vybíjania batérie počas dňa v optimalizovanej variante | 59 |
| 3.13 | Graf zobrazujúci dodávanú energiu zo siete a z fotovoltaiky v závislosti na cene spotového trhu v optimalizovanej variante | 59 |
| 3.14 | Graf zobrazujúci priebeh distribúcie energie v neoptimalizovanej variante | 60 |
| 3.15 | Prvotná časť algoritmu E | 61 |
| 3.16 | Časť algoritmu E pri stave nemožnosti akumulácie celého množstva energie | 63 |
| 3.17 | Vyhodnocovanie finančne najvýhodnejšej varianty distribúcie prebytkov v algoritme E, kedy je overené, že celkovú prebytkovú energiu je možné akumulovať do batérie | 65 |
| 3.18 | Zhrnutie výsledkov po prepočítaní historických dát | 67 |
| 3.19 | Porovnanie predikovaných dát s reálnymi | 68 |
| 3.20 | Stav batérie počas dňa pri uvažovaní odchýlky reálnych dát od predikovaných | 70 |
| 3.21 | Stav batérie v priebehu dňa pri uvažovaní odchýlok reálnych dát od predikovaných | 71 |
| 3.22 | Logická topológia siete znázorňujúca riadiacu jednotku a komunikáciu so zariadeniami v domácnosti | 72 |

Zoznam tabuliek

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Porovnanie obsahu troch variantov inštalácie Loxone [14] | 19 |
| 1.2 | Porovnanie vlastností inštalácie Loxone, KNX a Foxtrot | 22 |
| 3.1 | Ceny za nákup energie na začiatku dňa 8.1.2024 | 47 |
| 3.2 | Ceny za nákup energie na začiatku dňa 15.1.2024 a množstvo potrebnej energie | 58 |

Úvod

Obnoviteľné zdroje energie, sú také, ktoré sa v prírode nachádzajú v prírode, samé sa obnovujú a sú prakticky nevyčerpatelné. Dôležitý faktor je, že využívaním týchto zdrojov energie sa ľudstvo stáva menej závislým na fosílnych palivách, ktoré sú vyčerpatelné a ich spotreba produkuje veľa oxidu uhličitého a iné škodlivé plyny do atmosféry Zeme.

Produkovaná energia z týchto zdrojov, ako je napríklad fotovoltaická elektrárň, šetrí investorovi financie, avšak jej potenciál nie je vždy využitý naplno, nakoľko produkovaná energia nie je dostatočne efektívne riadená a distribuovaná, a teda nedochádza k požadovanému efektu.

Riešením tohto problému môže byť navrhnutie riadiaceho optimalizačného algoritmu, ktorý bude komunikovať s komunikačnými jednotkami zariadení, ktoré premieňajú energiu z obnoviteľných zdrojov na elektrickú energiu. Naopak algoritmus na základe získaných historických dát taktiež môže predikovať spotrebu elektrickej energie. Na základe informácií o produkcii a spotrebe energie od týchto zariadení, následne môže algoritmus počítat so zdrojmi energie, ktoré sú k dispozícii a tie následne efektívne rozdeľovať. Okrem týchto zariadení je taktiež dôležité, aby algoritmus mal povedomie o hodnote celkovej spotreby objektu a nepreťažoval tak hlavný domový istič, pričom túto hodnotu je možné získať napríklad prostredníctvom komunikácie s inteligentným elektromerom.

V prvej časti tejto diplomovej práce budú predstavené energeticky náročné zariadenia, ktoré veľkou mierou prispievajú k veľkej spotrebe objektu. Taktiež budú v tejto kapitole predstavené existujúce riadiace systémy, ktoré sú dodávané od spoločností a dokážu jednoducho riadiť energiu, ale taktiež zvyšovať komfort bývania. Ďalej bude popísaný všeobecný spôsob riadenia energií. V druhej kapitole bude urobený rozbor obnoviteľných zdrojov energie, pričom bude braný ohľad na časti, z ktorých sa skladajú, na ich aktuálny vývoj vo svete a taktiež bude kladený dôraz na praktické využitie týchto zdrojov energie v rodinných domoch a menších objektoch. V poslednej časti tejto práce bude najskôr predstavená základná koncepcia riadiaceho algoritmu následne bude detailne popísaná jeho každá časť a k slovnému vysvetleniu budú doložené vývojové diagramy a grafické závislosti. Taktiež budú popísané informácie, ktoré bude potrebné, aby riadiaci algoritmus mal k dispozícii a mohol tak pracovať efektívne. Taktiež bude popísaný spôsob, akým bude dochádzať k riadeniu a vyhodnocovaniu týchto dát riadiacim algoritmom.

1 Spôsoby riadenia energií

Efektívne riadenie energií je dôležité z viacerých dôvodov, pričom pre väčšinu populácie je to najmä ekonomického hľadiska a to obzvlášť v dnešnej dobe. Taktiež je dôležité brať ohľad na životné prostredie, nakoľko z výskumov z posledných rokov je známe, že sa Zem globálne otepluje a zvyšuje sa skleníkový efekt. Práve efektívnym riadením energií je možné jednak šetriť finančné prostriedky, viac chrániť životné prostredie, a takisto šetriť zásoby neobnoviteľných zdrojov, čiže zdrojov, ktorých má Zem len obmedzený počet. Aj z týchto dôvodov je možné vidieť, že sa v posledných rokoch veľmi rozmohol dopyt po energetickom manažmente budovy, zo strany zákazníkov sa zdvihol záujem napríklad o zber dát z elektromerov, plynomerov, vodomerov práve z dôvodu sledovania reálnej spotreby. Taktiež sa do popredia dostávajú systémy pre automatizované riadenie budov, ktoré môžu efektívne riadiť výkon jednotlivých spotrebičov, pričom cieľom je zapracovať umelú inteligenciu do systémov pre automatizovanú správu budovy z dôvodu ešte efektívnejšieho riadenia a energií.

1.1 Inteligentné zariadenia

Tieto zariadenia disponujú možnosťou pripojenia do dátovej siete či už pomocou dátového kábla, bezdrôtovo pomocou Wi-Fi, prípadne pomocou iného komunikačného protokolu. Môže sa jednať napríklad o inteligentnú práčku, sušičku, sporák, chladničku a iné. Z hľadiska energetickej náročnosti môžu zariadenia preplánovať energeticky náročný proces na čas, kedy je k dispozícii lacnejšia tarifa elektrického prúdu, to znamená na základe informácie zo siete o stave HDO, v prípade prítomnosti batériového úložiska sa na základe informácií z batériového úložiska o dostatku elektrickej energie na daný proces, sa môže elektrická energia zobrať odtiaľ a nemusí sa tak čerpať zo siete, prípadne je možné nastavovať rôzne režimy prevádzky, ako je napríklad režim dovolenka, kedy zariadenie pracuje na nižší výkon, nakoľko sa v objekte nikto nenachádza. Vďaka sieťovému pripojeniu je možné od týchto zariadení dostávať hlásenia o procesoch alebo servisné hlásenia.

Dôležitú úlohu zohrávajú pri týchto spotrebičoch rôzne senzory a snímače. Jednak sa pomocou týchto senzorov dá zistiť či zariadenie pracuje efektívne, taktiež sa napríklad pomocou váhových senzorov v práčke alebo umývačke riadu môže spočítať dostatočné množstvo vody čím sa zabráni jej zbytočnému plytvaniu [1].

1.2 Riadenie energeticky náročných spotrebičov

Jedná sa o spotrebiče, ktorých výkon potrebný na správnu funkciu je oveľa vyšší ako výkon ostatných spotrebičov v domácnosti. Práve z tohto dôvodu je potrebné brať väčší ohľad na tieto spotrebiče a snažiť sa čo najefektívnejšie riadenie.

1.2.1 Nabíjačka elektromobilu

Nabíjacie stanice existujú v prevedení s nabíjaním pomocou striedavého prúdu (AC) alebo jednosmerného prúdu (DC). Okrem samotnej nabíjacej stanice a nabíjacieho káblu je dôležitou časťou palubná nabíjačka, ktorá sa stará o prevod striedavého prúdu na jednosmerný, nakoľko batéria sa môže nabíjať len jednosmerným prúdom, stará sa o to aby sa zo začiatku nabíjalo konštantným prúdom a následne konštantným napätím a taktiež sa stará komunikáciu s nabíjacou stanicou. Výkon palubnej nabíjačky ovplyvňuje dobu, po ktorú sa bude elektromobil nabíjať, pričom štandardné výkony palubných nabíjačiek sú 3,7kW – 22kW [2].

Pri AC nabíjaní, prúd tečie najskôr do palubnej nabíjačky, kde sa transformuje na jednosmerný a následne odteká do batérie. Výhodou tohto typu nabíjačky je, že ich výroba a inštalácia je jednoduchšia, a taktiež sú výrazne lacnejšie oproti DC nabíjačkám. Pri DC nabíjaní, prúd tečie priamo do batérie, bez potreby použitia palubnej nabíjačky, nakoľko transformácia na jednosmerný prúd prebieha už priamo v nabíjacej stanici. Nevýhodou DC nabíjačiek je ich technologická náročnosť a tým pádom aj niekoľkonásobne vyššia cena oproti AC nabíjačkám. Naopak výhodou je rýchle nabíjanie o výkone 150kW alebo super nabíjanie od spoločnosti Tesla o výkone až 250kW [3].

Nabíjačky, ktoré sa bežne umiestňujú do rodinných domov, majú výkon 11kW alebo 22kW. V prípade 22kW sa jedná o prúdové zaťaženie pri plnom výkone takmer 32A na každú fázu, čo je veľmi veľký prúd, zvlášť prihliadnúc k tomu, že bežné rodinné domy majú výšku hlavného domového ističa 25A alebo 32A, a taktiež je ešte potrebné zabezpečiť chod ostatných domácich spotrebičov. Výkon a počet nabíjacích staníc v domácnosti má tak teda výrazný podiel na súdobosti celej elektroinštalácie, prierezu hlavného prívodného káblu, a teda aj na výške hlavného domového ističa, čo sa opäť odráža na výške mesačného poplatku za daný hlavný istič. Z tohto dôvodu je nutné udržiavať komunikáciu s riadiacou jednotkou nabíjačky a umožňovať zvýšený výkon nabíjania len v prípade, že je v domácnosti aktuálne malý odber elektrickej energie a teda vyhnúť sa tak preťaženiu a následnému vybaveniu hlavného ističa. Takýmto spôsobom je možné inštalovať nabíjačku aj do staršej elektroinštalácie, kde sa nachádza hlavný istič s nižším nominálnym prúdom.

1.2.2 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo pracuje na princípe odoberania tepla z okolia, či už sa jedná o vzduch, zem alebo vodu, v závislosti na typu prevedenia, ktorému následne zvýši teplotnú hladinu a prenesie ho na miesto kde je potreba. Teplo sa môže využiť napríklad na ohrev vody v okruhoch vykurovania alebo ohrev teplej úžitkovej vody. Výhodou tepelných čerpadiel je, že vyrobená energia je oveľa väčšia než energia potrebná na chod tepelného čerpadla, čo znamená, že majú veľmi vysokú účinnosť, je to ekologické riešenie, ktoré pre svoj chod nepotrebuje fosílnu palivo a z ekonomického hľadiska sa jedná o riešenie s najnižšími prevádzkovými nákladmi [4]. Výkon a spôsob prevedenia tepelného čerpadla sa líši v závislosti od typu stavby, od jej veľkosti a od miesta, kde sa stavba nachádza. Typy tepelných čerpadiel sú:

1. Zem - voda
2. Vzduch - vzduch
3. Vzduch - voda
4. Voda - voda

Typ Zem - voda Využíva teplo spod zemskeho povrchu, ktoré je tam naakumulované zo zemskeho jadra. Pre tento typ sa pri realizácii môže zvoliť spôsob s hĺbkovými vrtmi alebo s kolektorom. Pri hĺbkových vrtoch sa jedná o variantu s nie príliš veľkými priestorovými nárokmi, je to riešenie, ktoré má vysokú efektívnosť a nie je nákladné na výkyvy teplôt, no nevýhodou je vysoká počiatočná investícia. Naopak u varianty kolektora sa jedná o priestorovo náročné riešenie, kde musí byť niekoľko desiatok metrov potrubia zakopaných pod povrchom pozemku, v ktorom následne prúdi voda spoločne s nemrznúcou zmesou, ktorá sa otepluje teplom získaným spod zemskeho povrchu, toto riešenie je lacnejšie a menej legislatívne náročné [4], [5].

Typ vzduch - vzduch Pracuje na princípe ohrievania vzduchu získaného z okolia, ktoré následne odovzdajú do interiéru budovy. Výhodou je nízka investícia, nízke počiatočné náklady, jednoduchá inštalácia, no naopak nevýhodou je nie príliš vysoká účinnosť a najmä nemožnosť ohrievanie úžitkovej vody [4].

Typ vzduch - voda Je postavený na princípe získavania okolitého tepla vonkajšou jednotkou, avšak toto teplo sa následne odovzdáva cez výmenník tepla do akumuláčnej nádrže. Nevýhodou tohto typu tepelného čerpadla je jeho citlivosť na zmeny okolitého vzduchu, nakoľko s klesajúcou okolitou teplotou klesá aj jeho účinnosť. Práve z toho dôvodu je medzi vonkajšou jednotkou a akumuláčnou nádržou použitý výmenník tepla so zabudovanou elektrickou špirálou, ktorá zvyšuje ohrievanie prúdiacu vodu [6]. Oproti typu vzduch - voda je možné týmto typom ohrievať aj teplú úžitkovú vodu.

Typ voda - voda Ako zdroj tepla sa využíva povrchová alebo podzemná voda. Povrchová voda je odoberaná z jazier, podzemná voda je odoberaná z vrtov, pričom jeden vrt je vsakovací a druhý je čerpací. Z čerpaceho vrtu je voda dovedená do výmenníka, kde sa z odoberie teplo a následne ochladená voda odteká do vsakovacieho vrtu. Spolu s typom Zem – voda sa jedná o najúčinnnejšie typy, no zároveň je pri tomto type potrebné brať ohľad na legislatívne veci ako je vybavenie povolenia od správcu toku, prípadne vyhotovenie vrtov, zložitosť inštalácie a teda výšku počiatočnej investície [4], [7].

Efektivita tepelných čerpadiel Pre určenie účinnosti tepelného čerpadla sa meria skutočný sezónny faktor SPF (Seasonal Performance Factor), ktorý v jednoduchosti vyjadruje pomer medzi preneseným teplom a spotrebovanou elektrickou energiou potrebnou pre chod tepelného čerpadla počas vykurovacej sezóny, a taktiež zohľadňuje účinnosť počas rôznych ročných období. Čím je hodnota SPF vyššia, tým efektívnejšie tepelné čerpadlo pracuje a tým menšie budú náklady na jeho prevádzku [8], [9].

Spoločnosť Fraunhofer ISE poskytla údaje z testu tepelného čerpadla z rodinného domu v Nemecku, ktorý testovala za obdobie od decembra 2020 do augusta roku 2021. Rodinný dom má obytnú plochu 190m², je obývaný piatimi ľuďmi a za rok tento objekt spotrebuje 40kWh/(m²a). Na streche tohto objektu sú inštalované 4 fotovoltaické panely s výkonom 1,5kWp a 8 fototermtických panelov s celkovým výkonom 2,9kWp. Tepelné čerpadlo s geotermálnym zdrojom má výkon 6kW a koeficient výkonu COP je rovný 4,7, pričom tento koeficient hovorí o vyrobenej energii v pomere s dodanou energiou. Čerpadlo, ktoré ako zdroj tepla používa vzduch, dosiahlo SPF 3,29, s fotovoltaickými panelmi bola hodnota SPF 3,82. Pri efektívnom riadení elektrickej energie vyrobenej z fototermtických panelov, dosiahlo toto čerpadlo SPF až 4,39 a CO₂ emisie boli znížené o 52%. Čerpadlo, ktoré ako zdroj tepla používa teplo zo Zeme, s jedným vrtom o hĺbke 110m, dosiahlo hodnotu SPF 4,24, v kombinácii s fotovoltaikou hodnota SPF stúpila na 4,87. Pri efektívnom riadení elektrickej energie vyrobenej z fotovoltaiky, stúpila hodnota SPF pri tomto type až na 5,74. CO₂ emisie boli znížené o 63%. Počas doby pozorovania bolo vyrobených 10404kWh, pričom 3362kWh bolo spotrebovaných na beh kompresora tepelného čerpadla, prídavných ohrievačov a obehových čerpadiel. Z toho vyplýva, že čistá vyrobená energia má hodnotu 7042kWh, pričom spotreba domu na 9 mesiacov je 5700kWh. Prebytočná energia bola dodávaná naspäť do distribučnej siete, nakoľko sa na stavbe nenachádzali akumulátory. [9]

Z uvedených údajov je vidno, že tepelné čerpadlá vďaka svojej efektivite jednak znižujú emisie CO₂ a šetria financie na prevádzkové náklady. Taktiež sa na základe údajov potvrdila skutočnosť o vyššej efektivite čerpadiel, ktoré zdroj tepla čerpajú

zo Zeme a efektívnosť sa výrazne zvyšuje pri kombinácii s fotovoltaickou elektrárnou. Taktiež sú veľmi zaujímavou voľbou fototermitické panely, ktoré pomáhajú zvyšovať efektívnosť tepelného čerpadla výrazným spôsobom a zároveň svojou vysokou efektívnosťou poskytujú umožňujú realizáciu tepelného čerpadla s menším vrstvom. Príklad je uvedený v [9], kde bola spočítané, že fototermitika s tepelným čerpadlom s vrstvom hlbokým 75 metrov dosiahne rovnakú efektívnosť akú dosiahlo tepelné čerpadlo s vrstvom hlbokým 110m. Zároveň aj pokles CO₂ o 63% by bol v oboch prípadoch rovnaký.

1.2.3 Klimatizácia

V podstate sa jedná o tepelné čerpadlo typu vzduch – vzduch a pozostáva z jednej vonkajšej jednotky a jednej alebo viacerých jednotiek. Vnútorňa jednotka odoberá vzduch z vnútorného prostredia, z ktorého sa vďaka výparníku a chladiacemu médiu odčerpá teplo. Teplý vzduch je odvedený do vonkajšieho prostredia cez vonkajšiu jednotku a pomocou kompresora cirkuluje chladiace médium, ktoré ochladzuje vzduch, následne sa ochladený vzduch pomocou ventilátora vnútornej jednotky vracia späť do interiéru budovy [10].

1.3 Ostatné technológie

Okrem riadenia energeticky náročných spotrebičov je taktiež možné efektívnejšie pristupovať aj k ostatným technológiám v domácnosti. Môže sa jednať napríklad o efektívne riadenie osvetlenia, kedy základným princípom je ako znížiť spotrebu elektrickej energie pri osvetlení je aplikovanie úsporných alebo LED žiaroviek, zakúpenie stmievateľných svetiel, prípadne použitie pohybových senzorov. Pri tvorbe algoritmu sa bude počítať s potrebným výkonom, ktorý svietidlá potrebujú pre svoju funkciu, čo znamená, že táto hodnota bude zohľadnená tak, aby pri pripojení energeticky náročného spotrebiča bola stále dostatočná rezerva pre prípad zopnutia všetkých svetiel v dome. V aktuálnej dobe je najviac diskutované vykurovanie, z toho dôvodu sa budú vyčítať aktuálne informácie poskytnuté riadiacou jednotkou tepelného zdroja a zároveň sa bude tepelnému zdroju odosielať požiadavka na zvýšenie teploty v objekte, respektíve výkonu vykurovania, ak taká požiadavka vznikne.

1.4 Nadradené riadiace systémy

na komfort bývania. Z hľadiska ovládania je pre užívateľov cieľ čo najintuitívnejšie ovládanie a z hľadiska a vyčítania dát je užívateľským cieľom jedna prehľadná aplikácia, v ktorej bude možné rýchlo a jednoducho nájsť všetky dáta. Týmto požiadavkám vyhovujú nadradené riadiace systémy, ktoré jednak monitorujú spotrebu

energií, taktiež monitorujú a ovládajú rôzne fyzikálne veličiny akými sú napríklad teplota, hodnota oxidu uhličitého alebo vlhkosť, taktiež sa ale tieto systémy starajú aj o zvýšený komfort obyvateľov tým, že väčšina opakujúcich sa úkonov je plne automatizovaná. Prostredníctvom týchto systémov je možné napríklad stmievať osvetlenie, púšťať hudbu alebo ovládať elektronickú kontrolu vstupu. Domy, ktoré riadi nadradený systém, je možné označiť ako chytré domy. Nasledujúce podkapitoly budú venované popísaniu a porovnaniu trochu pravdepodobne súčasne najznámejším riadiacim systémom.

1.4.1 Loxone

Loxone je rakúska spoločnosť založená v roku 2009, ktorá má aktuálne zastúpenie vo viac ako v dvadsiatich krajinách sveta. V súčasnosti sa jedná o jednu z najrýchlejšie rastúcich spoločností na svete v oblasti domovej automatizácie so sídlom v meste Kollerschlag [11].

Veľkou výhodou tohto systému je jeho kompatibilita s veľkým množstvom zariadení tretích strán vďaka prídavným Loxone modulom, čo znamená, že všetky údaje sú dostupné len v jednej aplikácii, jednoduché programovanie prostredníctvom Loxone Config aplikácie a taktiež to, že systém dokáže fungovať aj bez pripojenia na internet. Inštalácia komponentov je veľmi jednoduchá a vďaka tomu, že systém podporuje všetky topológie zapojenia okrem kruhovej, tak aj časovo a finančne úspornejšia. Podľa informácií od výrobcu sa takto ušetrí až 80% kabeláže v porovnaní s konkurenčnými systémami a vďaka širokej škále možností, človek ročne ušetrí až 50000 úkonov [12], [13].

Základné programovanie je možné taktiež urobiť pomerne rýchlo vďaka možnosti automatického programovania, pričom je možné tento program v budúcnosti upravovať na mieru pre každú budovu. Integrácia zariadení od výrobcov tretích strán je možná aj vďaka verejne dostupnej knižnici, v ktorej sú uložené vytvorené a odskúšané šablóny pre zaintegrovanie daného zariadenia do systému Loxone. Výhodou systému Loxone je aj to, že väčšina koncových prvkov existuje v bezdrôtovej forme, čo znamená, že je možné tieto prvky použiť tam kde je privedenie kabeláže nemožné. Odporúčaná kabeláž je Loxone Tree kábel, ale taktiež je možné použiť aj dátový kábel CAT6A alebo CAT7.

Z hľadiska cenovej kalkulácie boli podľa vykonané tri možnosti inštalácie, od najlacnejšej so základnými funkciami, cez prémiovú kalkuláciu, až po exkluzívnu kalkuláciu pre rodinný dom s obytnou plochou 120 m². To čo sa v jednotlivých kalkuláciách nachádza je zhrnuté v tabuľke 1.1. Z tabuľky 1.1 je možné zhodnotiť, že veľmi základnú inštaláciu chytrého domu je možné dosiahnuť už za menej ako sto tisíc českých korún. Naopak ani u najdrahšej varianty stále nie je zahrnuté všetko to,

| Obsah inštalácie | Základ | Premium | Exclusive |
|--------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Monitorovanie teploty vlhkosti | Áno | Áno | Áno |
| Detekcia požiaru | Áno | Áno | Áno |
| Riadenie vykurovania | Áno | Áno | Áno |
| Zabezpečovací systém | Áno | Áno | Áno |
| Osvetlenie (základ) | Áno | Áno | Áno |
| Osvetlenie (stmievateľné) | Nie | Áno | Áno |
| Automatické tienenie | Nie | Áno | Áno |
| Meteostanica | Nie | Áno | Áno |
| Elektronická kontrola vstupu | Nie | Nie | Áno |
| Audiosystém | Nie | Nie | Áno |
| Pokročilé sledovanie spotreby | Nie | Nie | Áno |
| Cena v Kč (s DPH) | 89 000 | 153 000 | 394 000 |

Tab. 1.1: Porovnanie obsahu troch variantov inštalácie Loxone [14]

čo je so systémom Loxone možné dosiahnuť. Taktiež je nutné konštatovať, že uvedené ceny sú ceny len za materiál a nezahŕňajú programovanie a montážne práce, takisto je množstvo komponentov individuálne pre každú stavbu, ale pre získanie povedomia o cene sú tieto informácie dostatočné [14].

Podľa prípadová štúdia rodinného domu zameraná na porovnanie ušetrenej energie po zaobstaraní systému Loxone. Pred zavedením systému Loxone dom spotreboval za jeden rok 17325 kWh pričom sa jednalo o súčet spotrebovaného plynu a elektrickej energie. Po zavedení systému Loxone, respektíve po aplikovaní energetického manažmentu a efektívnom riadení energií, dom spotreboval za jeden rok 7172 kWh, pričom sa jednalo len o čisto elektrickú energiu. Systém Loxone riadi vykurovanie a komunikáciu so solárnou elektrárnou. Z uvedených čísel je teda vidno, že množstvo spotrebovanej energie kleslo až o 58,6%. Ak by sa táto štúdia vzťahovala na Českú republiku, tak pri súčasnej priemernej cene 5,80 Kč za 1 kWh elektrickej energie, sa jedná o úšetrienie financií v hodnote až 58 887 Kč za rok [15], [16].

Loxone Miniserver Jedná sa o základný riadiaci prvok, bez ktorého funkčnosť systému nie je možná. Na pamäťovej karte v Miniserveri je uložený program, ktorý riadi celý objekt. Program je možné do Miniservera nahrať z lokálnej Wi-Fi siete, ale aj pomocou vzdialeného prístupu. Miniserver komunikuje prostredníctvom proprietárneho protokolu Loxone Link s ostatnými prídavnými modulmi, ktorých môže byť pripojených na jeden miniserver maximálne 30 a táto zbernica môže mať len líniovú topológiu a musí byť zakončená odporom. Prostredníctvom proprietárneho protokolu Loxone Tree komunikuje Miniserver s koncovými prvkami. Koncové prvky

môžu byť pripojené ku zbernici všetkými topológiami okrem kruhovej a na vetve Miniservera ich môže byť maximálne 50. Miniserver taktiež umožňuje komunikáciu s hlasovými asistentami ako je napríklad Alexa alebo Apple Homepod. Z hľadiska možností pripojenia, sa na miniserveri nachádza 8 spínacích relé so spínacím prúdom 10A, 4 digitálne vstupy, 4 analógové vstupy, LAN konektor, ktorý slúži pre prístup na internet, ale taktiež slúži aj pre priame pripojenie počítača a napájacie svorky [17].

1.4.2 KNX

Celosvetový štandard, vyvinutý v roku 1990, ktorý bol vytvorený za účelom umožnenia komunikácie zariadení od iných výrobcov a rôznych protokolov medzi sebou, akými sú napríklad DALI, BACnet alebo Modbus. Systém umožňuje riadiť osvetlenie, vykurovanie, tienie alebo audiosystém a mnohé ďalšie podobne, ako systém Loxone spomenutý v predchádzajúcej podkapitole. KNX štandard je decentralizovaný zbernicový systém, čiže nepoužíva riadiacu jednotku, ako tomu je napríklad u systému Loxone, ale každý prvok, ktorý je ku zbernici pripojený, má v sebe vlastnú riadiacu jednotku, ktorá rozhoduje na základe nahratého programu. Následne komponent odosiela požiadavky na akčný člen, ku ktorému je pripojený. Ako príklad je možné uviesť tlačidlo na ovládanie svetla, ktoré po stlačení vyšle po KNX zbernici telegram na akčný člen, akčný člen na základe údajov uvedených v telegrame vie rozoznať, o ktoré svetlo sa jedná a toto svetlo následne rozsvieti alebo vypne v závislosti na obsahu telegramu. Virtuálne spojenie snímaču a akčného členu sa nazýva skupinová adresa. Pre programovanie sa využíva softvérový nástroj ETS [18], [19].

KNX zbernica je dvojvodičová a vo väčšine prípadov zároveň poskytuje aj napájanie prvkov. Zbernica môže byť realizovaná pomocou KNX krúteného páru, prípadne klasickým dátovým vodičom, ale taktiež v prípade nemožnosti privedenie ďalšej kabeľáže môže byť realizovaná aj bezdrôtovo alebo použitím silnoprúdového vedenia za použitia sieťového napätia 230 V. Z hľadiska topológie sa na hlavnú líniu pripájajú ďalšie línie, pomocou líniových spojok, ktoré môže byť spojené topológiou hviezdy, stromu alebo línie, pričom na každej línii môže byť pripojených maximálne 64 zariadení. [20]

1.4.3 Foxtrot

Celým názvom Tecomat Foxtrot, sa jedná o zbernicový riadiaci systém od spoločnosti Teco a.s. Spoločnosť vznikla v roku v 1993 v českom meste Kolín [21]. Systémom je možné riadiť prvky domovej automatizácie, tak ako tomu bolo u predchádzajúcich dvoch spomenutých systémov. Komunikácia medzi jednotlivými periférnymi

prvkami prebieha po komunikačnej zbernici TCL2, ktorá musím mať líniovú topológiu a komunikácia s koncovými prvkami prebieha po dvojvodičovej zbernici CIB, ktorá môže mať ľubovoľnú topológiu okrem kruhovej. Komunikácia je postavená na sériovej komunikácii, pričom jeden sériový kanál podporuje štandard RS-232 a druhý sériový kanál podporuje štandard RS-485, RS-422 alebo prípadne protokoly, ako Modbus alebo Profibus. Jednotlivé koncové zariadenia sú zbernicou pripojené ku riadiacej jednotke. Systém ponúka široké možnosti programovania prostredníctvom vyvinutého softvéru Mosaic. [22]

Riadiaca jednotka Foxtrot Typickým značením centrálnych jednotiek je CP. Prídavné moduly sú k riadiacej jednotke pripojené cez zbernicu TCL2 pričom komunikácia je postavená na RS-485. Zbernica TCL2 musí byť na vždy na jednom konci pripojená na ukončovacie svorky. Každá centrálna jednotka má taktiež priradený znak, ktorý označuje do akej série patrí, pričom tento údaj je dôležitý pre prekladač používateľského programu. Jednotka obsahuje viacero pamäťových registrov, sériové kanály, konektory pre zbernicu TCL2, CIB, ethernetové rozhranie a slot pre pamäťovú kartu. Nastavovanie parametrov pre sériové kanály a ethernetové rozhranie je realizované cez softvér Mosaic. [22]

1.4.4 Porovnanie riadiacich systémov

Systém Loxone pre svoju funkciu potrebuje centrálnu riadiacu jednotku, ktorou je Miniserver. Na druhej strane existuje aj varianta čiastočne decentralizovaného zapojenia systému Looxne, kedy sa môžu použiť komponenty, ktoré sa umiestňujú napríklad do elektroinštalačných krabičiek a poskytujú koncovým prvkom rovnaké aktory, ako sú napríklad digitálne vstupy alebo relé, ktoré primárne poskytuje buďto Miniserver alebo iné rozširujúce moduly, ktoré sú umiestnené v rozvážači. Tento typ kabeláže siete znižuje veľkosť rozvážača, ale stále je nutné mať v inštalácii osadený Miniserver. Foxtrot pre svoju funkciu takisto potrebuje riadiacu jednotku, ktorá sa umiestňuje do rozvážača. Naopak systém KNX sa od týchto dvoch systémov odlišuje práve tým, že riadiacu jednotku pre svoje fungovanie nepotrebuje, čo znamená, že je tento systém decentralizovaný a tým pádom má každý prvok zabudovanú riadiacu jednotku v sebe. Výhodou centrálného riadenia je jednoduchšia správa programu, naopak pri výpadku riadiacej jednotky strácame kontrolu nad systémom. Pri decentralizovanom systéme výpadok môže ovplyvniť, len dané zariadenie, pričom ostatné zariadenia môžu pracovať ďalej. Nevýhodou KNX môže byť taktiež aj rýchlosť zbernice, nakoľko podľa [18] rýchlosť dosahuje len 9,6 kb/s. Prítomnosť, respektíve neprítomnosť centrálny riadiacej jednotky môže byť citelná pri

| Obsah inštalácie | Loxone | KNX | Foxtrot |
|---|---------------------|------|----------------------|
| Prítomnosť riadiacej jednotky | Áno | Nie | Áno |
| Značné obmedzenie programovania | Nie | Áno | Nie |
| Lahká škálovateľnosť | Áno | Áno | Áno |
| Poplatok za získanie programovacieho prostredia | Nie | Áno | Nie |
| Dĺžka komunikačnej zbernice [m] | 500 | 1000 | 400 |
| Maximálny počet zariadení na zbernici | 64 | 256 | - |
| Rýchlosť zbernice [kb/s] | Link: 125, Tree: 50 | 9,6 | TCL2: 345, CIB: 19,2 |

Tab. 1.2: Porovnanie vlastností inštalácie Loxone, KNX a Foxtrot

potrebe tvorby zložitejšieho algoritmu. Pri systéme Loxone a Foxtrot je možné použiť predpripravené bloky v programovacom prostredí, ktoré poskytujú rôzne funkcie umožňujúce väčšiu voľnosť pri práci s nameranými dátami. Pri nastavovaní logiky programu je následne tieto údaje možné použiť tak, ako programátor potrebuje a vytvárať tak komplexnejšie algoritmy. Pri systéme KNX je potrebné myslieť na to, že každý prvok má v sebe svoju riadiacu jednotku, ktorá umožňuje len obmedzené množstvo operácií, čo znamená následné obmedzenia pri realizácii riadiaceho algoritmu a výber správnych komponentov.

Škálovateľnosť siete je pomerne jednoduchá u všetkých troch systémov, je ale potrebné dbať na to, aby nebol prekročený maximálny počet zariadení na zbernici. U systému Loxone alebo Foxtrot sa nový prídavný modul osadí do rozvádzača a pripojí sa na komunikačnú zbernicu k riadiacej jednotke. Centrálna riadiaca jednotka následne zabezpečí to, aby bola umožnená komunikácia medzi všetkými prvkami. U systému KNX sa prídavný modul v rozvádzači pripojí na KNX zbernicu, v prípade pridania nového koncového prvku sa tento prvok taktiež pripojí na zbernicu KNX. Ak je ale daná línia už plná, nový prvok je potreba pripojiť na novú líniu. Zároveň, ale je potreba pamätať na to, že v tomto systéme sa nenachádza riadiaca jednotka, ktorá by túto informáciu rozdistribovala do siete, čiže aby nové zariadenie mohlo komunikovať s ostatnými zariadeniami na iných líniiach, je potrebné nainštalovať viacero líniových spojok, čo môže byť viac finančne a časovo náročné ako u predošlých dvoch spomenutých systémoch.

Programovacie prostredia pre systém Loxone a Foxtrot sú voľne dostupné a je možné si ich zadarmo stiahnuť. Naopak programovacie prostredie u KNX nie je voľne dostupné a pre jeho získanie je potrebné absolvovať školenie a následne je potrebné si túto licenciu zaplatiť, pričom aktualizácie tohto softvéru nie sú zahrnuté v cene. Z hľadiska intuitívnosti jednotlivých prostredí je pravdepodobne najviac intuitívne prostredie Loxone Config i keď toto hľadisko môže byť veľmi individuálne.

Z hľadiska finančného porovnania týchto troch systémov nie je úplne jednoznačne možné povedať, ktorý systém je najlacnejší a naopak, ktorý systém je najdrahší,

nakoľko každý systém je niečím odlišný. Jeden systém môže mať vyvinutý jeden prvok, ktorý slúži na nejaký úkon alebo na meranie nejakej fyzikálnej veličiny, pričom ale zvyšné dva nemusia mať vyvinutý priamy ekvivalent, a tak je potrebné použiť viacero komponentov, ktoré môžu byť v konečnom dôsledku drahšie. Z toho dôvodu je pri plánovaní inštalácie potrebná dôkladná rozvaha a zváženie všetkých výhod a nevýhod jednotlivých systémov.

2 Obnoviteľné zdroje energie

Jedná sa o zdroje energie, ktoré sa v prírode samé obnovujú a stále sa aj budú samé prirodzene obnovovať, nakoľko sú prakticky nevyčerpatelné. Zároveň sa z hľadiska znečisťovania životného prostredia jedná o najčistejšiu formu energií, nakoľko sa pri výrobe neprodukuje oxid uhličitý, čiže sa nezvyšuje uhlíková stopa a jedná sa o udržateľný systém výroby energií do budúcnosti. Taktiež sa pomocou obnoviteľných zdrojov energie znižuje závislosť na fosílnych palivách, čo je taktiež veľmi dôležité nakoľko fosílna palivá sú vyčerpatelnými zdrojmi energie. Tento typ výroby takisto umožňuje držať ročný nárast priemernej globálnej teploty pod 1,5 °C. Na rok 2024 je predpokladaná výrobná kapacita obnoviteľnej elektrickej energie na 4500 GW, pričom táto hodnota by dokázala pokryť ročnú spotrebu energií celej Číny a Spojených štátov amerických. [23], [24].

2.1 Solárna energia

Tento typ energie bol využívaný už pradávna, kedy terajšie civilizácie využívali energiu zo Slnka na ohrev svojich domov, tým že boli stavby orientované na južnú svetovú stranu alebo využívali energiu zo Slnka na ohrev vody v provizórnych nádržiach. Tieto princípy pasívneho využívania solárnej energie sa využívajú dodnes či už sa jedná o orientáciu domov na južnú svetovú stranu, ktorá je najmä dôležitá u pasívnych domov, orientácia solárnych panelov na južnú svetovú stranu alebo akumulácia tepla do akumuláčnych nádrží, z ktorých sa následne čerpá teplá voda. V dnešnej dobe sa, ale taktiež používa aktívny solárny systém, ktorý spočíva v použití fotovoltických alebo fototerických solárnych panelov, slúžiacich pre výrobu elektrickej energie z absorbovanej energie zo slnečného žiarenia. Taktiež podľa aktuálnych výskumov sa práve solárna energia považuje za najlepší zdroj energie zo všetkých známych obnoviteľných zdrojov energie. [25]

Podľa údajov od Slovenského hydrometeorologického ústavu [26], na Slovensko dopadne v priemere 1200kWh/m² slnečného žiarenia. Podľa [27] je priemerná spotreba rodinného domu so štyrmi obyvateľmi 250kWh mesačne, čo znamená 3MWh ročne.

2.1.1 Pasívny solárny systém

Princípom je snaha o čo najvyššie prirodzené tepelné zisky v zimnom období a naopak znižovať tepelné zisky v letnom období. Tak ako bolo okrajovo spomenuté v predchádzajúcej podkapitole, jedná sa princípy, ktoré boli využívané od pradávna. Jedná sa napríklad o orientáciu presklenou časťou objektu na južnú svetovú stranu za

účelom prirodzeného absorbovania tepla a svetla, použitie dostatočne hrubej tepelnej izolácie, ktorá pomáha udržať teplo vo vnútri objektu, naopak v letných mesiacoch teplo neprepúšťa alebo použitie okien vyrobených z kvalitných tepelnoizolačných materiálov, nakoľko okná predstavujú najvyššie tepelné straty. [25] Tieto princípy je teda potrebné mať na pamäti už pri projektovaní stavby. Pri správnom návrhu stavby, je možné dosiahnutie finančnej úspory v budúcnosti prakticky bez nutnosti inštalácie žiadneho dodatočného technologického zariadenia.

2.1.2 Aktívny fotovoltaický solárny systém

Funkcia fotovoltaických solárnych panelov je postavená na fotoelektrickom jave. Fotoelektrický jav hovorí o tom, že pri absorbovaní elektromagnetického žiarenia povrchom materiálu, sú z tohto materiálu z dôvodu rôznych energetických hladín elektromagnetického žiarenia uvoľnené voľné elektróny. V prípade fotovoltaických panelov sa pri elektromagnetickom žiarení jedná o slnečné žiarenie a povrch materiálu predstavuje povrch panelu, ktorý je vytvorený z polovodičových materiálov. Pri absorbovaní slnečného žiarenia polovodičovou vrstvou panelu sa uvoľnia voľné elektróny, ktoré vplyvom predanej energie prejdú do vodivého pásma, čím dochádza k rozdielu napätia. V dôsledku opakovania tohto procesu, zrážania atómov a ďalšieho uvoľňovania voľných elektrónov prichádza k vzniku jednosmerného elektrického prúdu. [25], [28]

Fotovoltaické panely sú založené na báze kremíku a sú rozdelené do viacerých typov, pričom dva najhlavnejšie sú monokryštalický a polykryštalický typ panelu. Monokryštalické panely dosahujú vyššiu účinnosť oproti polykryštalickým panelom. Účinnosť monokryštalických panelov dosahuje 13-17 % a účinnosť polykryštalických panelov je 10-14 %. Monokryštalické panely majú taktiež dlhšiu odhadovanú životnosť, konkrétne sa jedná o 25 až 30 rokov, zatiaľ čo u polykryštalických majú odhadovanú životnosť 20 až 25 rokov. Vyššia účinnosť monokryštalických panelov a ich dlhšia životnosť sa taktiež odráža aj na ich vyššej cene oproti polykryštalickým panelom. Zároveň je nutné zdôrazniť, že panely po uplynutí tejto doby neprestanú vyrábať elektrickú energiu, ale budú ju vyrábať len s menšou účinnosťou. Na účinnosť má takisto vplyv umiestnenie fotovoltaických panelov. Panely sa môžu umiestniť na hocikaký typ strechy, pričom najlepšie miesto pre umiestnenie je časť strechy orientovaná na juh, prípadne juhozápad alebo juhovýchod. Inštalácia panelov je taktiež možná aj na ostatné svetové strany, ale tým sa automaticky znižuje ich účinnosť a orientácia panelov a pri orientácii na sever z hľadiska účinnosti inštalácia stráca zmysel úplne. Panely je takisto možné pridvihnúť, pričom doporučený sklon je 15°. Najvyššiu účinnosť teda panely dosahujú pri správnom umiestnení, z časového hľadiska dosahujú najvyššiu účinnosť medzi jedenástou až trinástou hodinou a

z hľadiska ročných období je to samozrejme v letných mesiacoch. [25], [29]

Výkon fotovoltaického panelu sa značí v jednotkách W_p , čo znamená jeho nominálny výkon pri určitých podmienkach. Následne na základe výkonu jednotlivého panelu je potrebné spočítať výkon celej fotovoltaickej elektrárne a túto hodnotu previesť na kWh respektíve MWh. Na základe tohto údaju je možné zhotoviť projekt fotovoltaickej elektrárne. Ak by bola do uvažovaná úvaha o ročnej spotrebe rodinného domu na 3 MWh, tak ako je spomenuté v predchádzajúcej podkapitole, tak na plné pokrytie tejto spotreby by bola potrebná fotovoltaická elektrárňa o výkone 3 kW $_p$. Napríklad od Západoslovenských elektrární by takéto riešenie by pre rodinný dom stálo 7000 €. [30]

Z hľadiska použiteľnosti nie je možné priamo použiť elektrický prúd vyrobený fotovoltaickou elektrárnou, nakoľko sa jedná o jednosmerný prúd a zariadenia a spotrebiče v domácnosti pre svoju funkciu potrebujú prúd striedavý. Z tohto dôvodu je potrebné začleniť do inštalácie striedač, ktorý sa bude starať o transformovanie jednosmerného prúdu na striedavý. Striedač taktiež poskytuje dáta o aktuálnom výkone, množstve vyrobenej energie alebo množstve prúdu dodávaného po fázach. Fotovoltaickú elektráreň je možné používať v type on grid, čo znamená, že je možné čerpať elektrickú energiu jednak vyrobenú z fotovoltaických panelov a taktiež aj priamo z distribučnej siete. Inými slovami, objekt nie je plne závislý len od energie vyrobenej fotovoltaickou elektrárnou. V prípade, že bude vyrobenej energie prebytok, je možné časť tejto energie poslať naspäť do distribučnej siete. Pri výpadku elektrického prúdu zo strany distribučnej siete nie je možné vyrábať elektrickú energiu pomocou fotovoltaickej elektrárne, nakoľko by mohlo prísť k pretokom do distribučnej siete, a tým pádom by mohlo prísť k ohrozeniu pracovníkov opravujúcich distribučné vedenie. Ďalší typ je Off-Grid, čo znamená, že objekt nie je pripojený do distribučnej siete a teda je závislý na elektrickej energii vyrobenej fotovoltaickou elektrárnou. V tomto prípade je takisto nutné použiť batérie, do ktorých je možné akumulovať vyrobenú elektrickú energiu, ktorú je následne možné použiť, nakoľko len energia zo Slnka môže byť nedostačujúca z dôvodu, že nie je možné vyrábať v noci alebo z dôvodu nepriaznivého počasia. Posledným typom je hybridný typ. Pri tomto type je možné jednak čerpať elektrickú energiu z distribučnej siete a zároveň sú v objekte nainštalované batérie. V prípade prebytku vyrobenej energie je teda možné si vybrať či sa energia bude akumulovať do batérií alebo sa bude predávať naspäť do distribučnej siete. Zároveň pri výpadku prúdu na strane distribučnej siete, je naďalej možné vyrábať elektrickú energiu pomocou fotovoltaickej elektrárne, pretože striedač zabráni pretokom do distribučnej siete na danom výstupe. Z tohto hľadiska je hybridný systém najvýhodnejší, avšak to sa odráža aj na cene. [31]

V prípade silnoprúdovej projektovej dokumentácie je vhodné počítať minimálne s prípravou pre fotovoltaiku do budúcnosti. To znamená jednak počítať s prestupom

pre káble na strechu, natiahnutie káblových chráničiek pre silové a dátové vodiče a taktiež počítat s priestorovou rezervou v rozvádzači. Taktiež je potrebné dopredu určiť, ktoré zariadenia budú na zálohovanej vetve túto skutočnosť využiť už pri káblovaní rozvádzača. Tieto aspekty totiž v budúcnosti ušetria jednak čas a financie, ale taktiež rozhodnú o tom či realizácia vôbec bude alebo nebude možná.

2.1.3 Aktívny fototermitický solárny systém

Tieto panely sa od fotovolaických panelov odlišujú tým, že nevyrábajú elektrickú energiu, ale slúžia pre ohrev vody, ktorá sa následne môže použiť pre vykurovanie alebo užívanie, prípadne sa panely môžu použiť aj pre ohrev vody v bazéne. Systém pozostáva z panelu, systému potrubia a bojleru určeného pre solárny ohrev. V potrubí preteká nemrznúca teplotnosná kvapalina, ktorá sa vplyvom slnečného žiarenia ohrieva a táto ohriata kvapalina následne cez výmenník v bojleri ohrieva vodu. Panely môžu byť ploché alebo trubicové, pričom trubicové panely majú vyššiu efektivitu, nakoľko vďaka kruhovému tvaru neznižujú efektivitu počas dňa v závislosti na polohe Slnka, avšak sú výrazne drahšie oproti plochým panelom. Fototermitické panely majú oproti fotovoltickým vyššiu účinnosť a dlhšiu životnosť, avšak ako už bolo spomenuté, tieto panely nedokážu vyrábať elektrickú energiu a nedokážu tak poskytnúť zásobovanie spotrebičov a zariadení v domácnosti. Priemernú spotrebu štvorčlennej domácnosti je schopný pokryť základný variant fototermitickej elektrárne, ktorého cena sa pohybuje okolo 70000 Kč. [32]

2.2 Veterné elektrárne

Kvôli nepravidelnosti zemského povrchu nastáva nerovnomerné ohrievanie zemského povrchu, čo má za následok rozdiely atmosférického tlaku. Týmto zmenami atmosférického tlaku vzniká vietor. Vzduch sa pohybuje z miesta s vyšším tlakom na miesto s nižším tlakom. Zatiaľ čo teplý vzduch stúpa nahor a smeruje smerom k pólom, je tento jav označený ako tlaková níz. Naopak studený vzduch klesá smerom k zemskému povrchu a tento jav je označený ako tlaková výš. Následne vďaka rotácii Zeme môžu veterné prúdy dostať iný smer a taktiež na ich smer vplývajú vodné plochy, hory, budovy a mnohé iné. Práve kvôli správne umiestneniu elektrárne je potrebné brať do úvahy stav okolia, aby bol k dispozícii nenarušený prúd aby bola elektrárň umiestnená v dostatočnej vzdialenosti od prekážok, ktoré by mohli pôsobiť ako vetrolam. Nevýhodou veterných elektrární je to, že sú závislé od sily vetra, čo znamená, že v prípade slabého vetra sa energia nevyrába vôbec alebo len v zanedbateľných množstvách, drahá inštalácia a taktiež hluk. [33], [34]

Veterná elektrárň pracuje na princípe premeny kinetickej energie na elektrickú energiu pomocou generátoru a následne je táto elektrická energia odvádzaná do elektrickej siete. Samotná elektrárň sa skladá z viacerých častí, no tie najzákladnejšie sú lopatky rotora, turbína, prevodovka a generátor. Tvar lopatiek, zohráva dôležitú úlohu pri premene kinetickej energie, získanej od vetra, na mechanickú energiu, ktorou roztáčajú turbínu, do ktorej sú pripojené. Lopatky sú vyrábané z hliníku, sú aerodynamické, najbežnejší typ turbíny je s tromi lopatkami a ich dĺžka je od 50 metrov a viac. Turbína vplyvom predania kinetickej energie od lopatiek roztočí svoj hriadeľ. Nakoľko sa turbína otáča pri nízkych otáčkach, ktoré sú nedostatočné pre generátor, nakoľko nemá tolko pólov, musí sa medzi hriadeľ turbíny a hriadeľ generátora vsadiť prevodovka, ktorá má za úlohu zvyšovanie otáčok, avšak existujú aj typy bez prevodoviek. Pri otáčaní hriadeľa generátora osadeného permanentnými magnetmi a pri prechode cez stator osadený medenými cievkami vzniká otáčavé elektromagnetické pole a teda vzniká striedavý prúd. Prúd je následne po vodičoch odvedený do transformátora, ktorý zvýši napätie a teda zníži straty pri prenose elektrickej energie pri ceste do trafostanice. [35], [36]

Z hľadiska zásobovanie veľkého množstva domácností sa používajú farmy veterných elektrární, ktoré sú postavené na odlahlých miestach, prípadne sú taktiež tieto farmy realizované na mori, ktoré môžu dosahovať až dvojnásobok vyrobenej energie oproti elektrárnám na súši. Taktiež existuje variant veternej elektrárne, ktorý je možno umiestniť na pozemok rodinného domu. Tento typ veterných elektrární pracuje na rovnakom princípe ako veľké veterné elektrárne. Okrem horizontálneho umiestnenia lopatiek je v tomto prípade možné aj vertikálne umiestnenie, čo má samozrejme za následok iný tvar lopatiek. Z hľadiska umiestnenia sa považuje za vhodné miesto to, kde priemerná celoročná rýchlosť vetra je vyššia ako 4m/s, pričom tieto údaje pre danú lokalitu je možné nájsť na veternej mape danej krajiny alebo je možné v danej lokalite robiť merania po dobu minimálne 2 mesiacov a následne na základe údajov prehlásiť danú lokalitu za vhodnú alebo nevhodnú. Dôležitým parametrom je to, že energia z vetra sa zvyšuje s kvadrantom sily vetra, čo znamená, že pri zdvojnásobení rýchlosti vetra sa veterná energia zvýši až osemkrát, a tak je možné pracovanie elektrárne v aj pri menšom vetre. [37]

U veterných elektrární vhodných pre domáce použitie sú riešenia on-grid alebo off-grid, podobne ako je tomu u solárnej elektrárne. Pri on-grid riešení je elektrárň pripojená aj do distribučnej siete. Elektrický prúd vyrobený veternou elektrárnou tečie do striedača, kde sa upraví jeho frekvencia a fáza tak, aby bolo možné jeho použitie v domácej alebo distribučnej sieti. V prípade prebytkov energie sa tieto prebytky môžu posielat naspäť do distribučnej siete. Off-grid systém nie je pripojený do distribučnej siete, a teda prebytočná vyrobená elektrická energia sa môže akumulovať do batérií [38], [39]. Výhodné je kombinovať veternú elektrárň spoločne

so solárnou a tým vytvoriť hybridný systém. Tieto dva typy si navzájom môžu vykrývať svoje nedostatky, keďže veterná elektrárň môže pracovať aj v noci, naopak veterne dni sú najmä v jesenných a zimných mesiacoch výroba solárnej elektrárne nie je príliš vysoká [39]. Pred samotnou inštaláciou je teda potrebné najskôr zvážiť či sa inštalácia oplatí a akú dlhú bude mať inštalácia návratnosť. U veternej elektrárne sú tieto výpočty náročnejšie nakoľko je počiatočná investícia vysoká, a taktiež kvôli tomu, že vietor je menej predvídateľný ako napríklad slnečné žiarenie, preto je vo všeobecnosti potrebné počítať s vyššou dobou návratnosti. V závislosti na danom modeli sa pohybujú náklady od 3000€ do 9000€ za 1kW výkonu a ročné náklady na údržbu je potreba počítať 2 až 3% z investičných nákladov. Nevýhodou taktiež môže byť, že výška rotora musí byť minimálne dvojnásobne vyššia ako je výška najvyššej budovy v okolí, aby bola dosiahnutá predpísaná efektívnosť. [40]

2.3 Vodné elektrárne

Pre funkciu vodnej elektrárne je základom to, aby bola priehrada postavená na rieke, ktorá má vysoký pokles nadmorskej výšky. V hornej časti sa nachádza rezervoár, v ktorom je naakumulovaná voda z rieky, ktorá pomocou čerpadiel regulovane vteká do potrubia priehrady smerom k turbíne. Sila vody následne roztáča lopatky turbíny, ktorá roztáča hriadeľ generátora. Vďaka otáčaniu hriadeľa s permanentnými magnetmi vnútri statora s namotnými medenými závitmi vzniká elektromagnetické pole, ktoré generuje striedavý prúd, ktorý putuje do transformátora, ktorý zvyšuje jeho napätia na hodnotu vhodnú pre diaľkový prenos. Takéto typy elektrární sú označené ako on-grid. Off-grid elektrárne poskytujú elektrickú energiu do oblastí, v ktorých nie je dovedená elektrická kabeľáž z distribučnej siete. Daná oblasť je tak plne závislá len na elektrickej energii vyrobenej vodnou elektrárnou. Pomocou čerpadiel je taktiež možné vodu odčerpať naspäť do rezervoáru a poslať ju späť cez turbínu v prípade vyššieho dopytu po elektrickej energii [41]. Na Slovensku je celkový súčet inštalovaného výkonu vodných elektrární 1653MW. Toto predstavuje približne 40% celkového inštalovaného výkonu zo všetkých typov elektrární, pričom celkový hydroenergetický potenciál Slovenskej republiky je využitý na 57,5%. [42]. Pri uvažovaní ročnej spotreby energie rodinného domu 3MW by teda tento inštalovaný výkon stačil len na pokrytie celkovej spotreby 551 domácností.

Vodné elektrárne napomáhajú k ochrane území pred povodňami, vyrovnávajú a regulujú nerovnomerné prietoky v riekach, a taktiež zásobujú vodou priemysel a poľnohospodárstvo [41]. Okrem výhod zo sebou nesú vodné elektrárne aj viaceré negatívne názory, pričom tieto negatíva sú pravdepodobne najviac diskutované verejnosťou zo všetkých typov obnoviteľných zdrojov. Výstavba vodných elektrární totiž vplýva negatívne na živočíchy žijúce v riekach, nakoľko sa výstavbou zmení ich

prírodné prostredie, čo má za následok ich zlú reprodukciu, taktiež sa ovplyvňuje prírodný tok riek alebo výstavba spôsobí automaticky nemožnosť obývania v jej blízkosti [43].

Z hľadiska použitia vodných elektrární pre domácnosti je možné použiť takzvaný typ mikro, ktorého výkon je menší než 100kW. Nutnosťou je vodný tok v blízkosti stavby, na ktorý je možné osadiť elektráreň. U tohto typu je potrebné brať do úvahy výšku od miesta vtekania vody do potrubia až do miesta kde bude umiestnená turbína, nakoľko čím väčšia výška bude, tým väčšiu energiu bude voda mať a tým pádom roztočí turbínu viac a produkcia elektrickej energie bude vyššia, tieto informácie o danom vodnom toku je možné získať z údajov od hydrometeorologického úradu. Ďalej množstvo vody, ktoré môže pretiecť potrubím. Na základe tohto výpočtu je teda potrebné stanoviť prvky systému, čiže zvýšiť resp. znížiť priemer potrubia, vybrať vhodný typ turbíny, zistiť možnosti ohľadom výberu iného miesta za účelom navýšenia spádu, prípadne prehodnotiť požadované množstvo energie. Výsledkom vynásobenia týchto dvoch parametrov vo výsledku vyjde teoretické množstvo energie, ktoré dokáže elektráreň vyrobiť. Avšak reálna hodnota je zhruba 50 až 60% z tohto čísla, nakoľko sa od neho ešte musia odpočítať straty vznikajúce pri procese výroby. Z legislatívneho hľadiska je potrebné pre túto stavbu získať povolenie od úradu životného prostredia. [44]

Podľa [45] bol vykonaná simulácia návrhu pre hybridný systém v kombinácii vodnej a fotovoltickej elektrárne na školu Bunnasopit v provincii Nan v Thajsku. V tejto štúdii bola zvolená vodná elektráreň, ktorá za deň vyrobí 36kWh a fotovoltická elektráreň vyrobí za deň 14kWh a do systému boli taktiež zakomponované aj akumulátory. Na základe odhadovanej spotreby a odhadovanej výroby bolo prídelené k záveru, že tento systém ročne ušetrí až 2 433,33\$, pričom počiatočná investícia bola 116 454,33\$. [45]

2.3.1 Prílivové elektrárne

Elektrárne, ktoré sa umiestňujú na dno oceánu u pobreží, využívajú pro tvorbu elektrickej energie, energiu prílivových prúdov, ktoré sú spôsobené gravitačnou silou Slnka a Mesiaca. Pri zmene výšky hladín oceánu táto vzniká energia, ktorá pôsobí na turbíny, ktoré sa roztáčajú a pomocou generátora je vyrábaná elektrická energia. Princíp je veľmi podobný veternej elektrárni, avšak voda je približne o 800 krát hustejšia ako vzduch, čo znamená, že na turbíny pôsobí vyššou silou. Výhodou tohto typu elektrární je, že prílivy a odlivy sú ľahko predvídateľné a nastávajú v pravidelných časoch, a teda je možné poskytnúť pomerne presnú predpoveď ohľadom vyrobenej energie. Zároveň, ale táto pravidelnosť nezodpovedá dopytu po elektrickej energii zo strany domácností. Taktiež nevýhodou tohto typu elektrárne je jej zložitá

inštalácia, ktorá si vyžaduje veľké množstvo podmorských prác, ktoré sú náročné fyzicky a taktiež finančne nákladné. [46]

2.4 Geotermálna energia

Využíva sa teplo, ktoré pomaly uniká zo zemského jadra do vyšších vrstiev podložia v dôsledku tavenia magmatických hornín, erupcií magmy a aktivity tektonických platní. Uniknuté teplo nemá vo všetkých miestach planéty rovnakú teplotu, ale mení sa na základe vzdialenosti vrtu od horúceho prameňa v podloží alebo na základe vzdialenosti od bodu aktivity tektonických platní. Teplo sa do domácností z podložia získava pomocou hĺbkových vrtov, ktoré sú zhotovené pri montáži tepelného čerpadla, pričom pri obnovovaných vrtoch sa podzemné teplé vody po ochladení na povrch vypúšťajú do riek a pri neobnovovaných vrtoch sa musia podzemné vody znovu dopĺňať reinjektážnym vrtom, kedy sa cez tento vrt vracia ochladená voda naspäť. Teplo zo Zeme je možné používať na vykurovanie veľkých objektov, domácností prípadne je známe použitie v prípade termálnych kúpalísk a prameňov. Na území Slovenska predstavuje každých 100 metrov vrtu zvýšenie teploty o 3°C. [47], [48]

Výhodou geotermálnej energie je, že elektrárne alebo zariadenia využívajúce túto energiu môžu fungovať dlhé desaťročia, nie sú obmedzené životnosťou 20 až 25 rokov ako je tomu napríklad u fotovoltaických panelov. Ďalšou veľkou výhodou je, že tieto elektrárne môžu pracovať rovnako efektívne bez ohľadu na ročné obdobie a bez ohľadu na to či je práve deň alebo noc, to znamená, že môžu pracovať 24 hodín 7 dní v týždni. Cez zimu slúži tepelné čerpadlo na vykurovanie, avšak v lete môže byť použité na ochladzovanie objektov vďaka odoberaniu tepla z vodných vykurovacích okruhov, ktoré sa následne odvedie do Zeme. Z hľadiska priestorovej náročnosti sú tieto typy elektrární najmenej priestorovo náročné v porovnaní s predchádzajúcimi predstavenými typmi. Napríklad pre výrobu 1GWh je pri tomto type potrebný priestor o ploche 1046km², veterných elektrární 3458km² a pre fotovoltaické elektrárne až 8384km². Naopak hlavnou nevýhodou napríklad oproti fotovoltaickej elektrárni, je vysoká počiatočná investícia na kúpu a vybavenie všetkých administratívnych náležitostí a povolení. Napríklad zakúpenie tepelného čerpadla typu zem-voda môže stať okolo 280 000 až 360 000Kč [49], prípadne aj viac v závislosti od výrobcu a následne je k tejto cene ešte potrebné pripočítať cenu za vyhotovenie zemných vrtov. Ďalšou nevýhodou je mierne narušenie štruktúry podzemia čo v krajných prípadoch môže viesť k malej seizmickej aktivite alebo dovedenie toxických plynov ako je napríklad arzén alebo ortuť na zemský povrch prostredníctvom zemných vrtov v prípade, že vrty nie sú správne izolované. [50]

Využívanie geotermálnej energie bolo vyhlásené americkou agentúrou na ochranu životného prostredia za energeticky najefektívnejší a ekologicky najlepší systém chladenia a vykurovania. Z hľadiska výhod používania geotermálnej energie v praxi hovorí záver z realizovaného projektu na americkej Ball State University, kde bol kotol na uhlie nahradený tepelným čerpadlom. Ročná úspora na nákladoch na vykurovanie dosahuje takmer 2 milióny amerických dolárov [50].

Výhodu použitia geotermálnej energie potvrdzuje aj [51], kde predmetom bolo porovnanie tepelných čerpadiel využívajúcich geotermálne zdroje a vzduchové tepelné čerpadlá za účelom nájdenia vhodného riešenia pre vykurovanie centrálného laboratória univerzity Hakim Sabzeravi v Iráne. Mimo teplých mesiacov, to znamená v časovom intervale od novembra do apríla boli vykonané teoretické testy na úsporu energií a CO₂. Výsledkom je, že geotermálne tepelné čerpadlá dokážu, podľa výpočtov, ušetriť energiu oproti vzduchovým čerpadlám ročne v hodnote 239MWh a znížiť produkciu CO₂ o 140 ton ročne. Toto predstavuje finančnú úsporu 27 280\$. Z hľadiska účinnosti tepelných čerpadiel bol tiež použitý ekonomizér, ktorý slúži na spätné získavanie tepla a bolo ním dosiahnuté zvýšenie COP o 9% u geotermálneho čerpadla a u vzduchového čerpadla bol zaznamenaný vzrast o 7,5%, čo predstavuje ušetrenú energiu 6,89kW u geotermálnych čerpadiel a 7,7kW u vzduchových. Pri počítaní návratnosti sa ukázalo, že pri uvažovanej spotrebe, počiatkovej investícii a ročných prevádzkových nákladov, sa stane geotermálny typ čerpadla po dvanástich rokoch finančne výhodnejším oproti vzduchovému čerpadlu aj napriek vyššej počiatkovej investícii.

Z výsledkov štúdie spomenutej v predchádzajúcom odstavci je viditeľné, že použitie tepelného čerpadla so zdrojom geotermálnej energie je z dlhodobého hľadiska výhodnejšie ako použitie vzduchového čerpadla. Počiatkové náklady na inštaláciu geotermálneho tepelného čerpadla môžu byť síce niekoľkonásobne vyššie v porovnaní s nákladmi na vzduchové čerpadlo, avšak jeho výhody či už hľadiska funkcionality alebo cenovej úspory sa začnú ukazovať časom.

2.5 Bioenergia

Základom tohto typu energie je biomasa. Biomasa je organická hmota, ktorá vzniká ako odpadový produkt napríklad v poľnohospodárskom, potravinárskom alebo drevárskom priemysle. V drevárskom priemysle sa z odpadových častí dreva a pilín vyrábajú drevené pelety, ktoré sa používajú pre následné spaľovanie v kotloch na vykurovanie domu. Spaľovanie peliet sa môže použiť aj v peciach, kde je teplo použité na ohrev vody, z ktorej následná para môže roztáčať turbínu, ktorá produkuje elektrickú energiu. Pri spaľovaní dochádza k uvoľňovaniu CO₂, avšak jeho hodnota je rovnaká hodnota, ako hodnota CO₂, ktorú daná hmota absorbovala v prírode pri

procesu fotosyntézy. Naproti tomu spaľovanie fosílnych palív uvoľňuje veľké množstvo CO₂ do ovzdušia, nakoľko fosílna palivá sú na planéte prítomne milióny rokov a v tom čase bola atmosféra Zeme iná. Potravinový odpad sa skladuje vo vzduchotesných nádržiach, v ktorých sa z neho produkuje bioplyn, taktiež známy ako metán. Tento plyn je použitý pre následné spaľovanie a výrobu tepla. Taktiež môžu byť dané suroviny pestované za zámerom následného využitia v bioenergetickom odvetví. K roku 2022 bola zaznamenaná spotreba bioenergia v množstve 41EJ, čo predstavuje 6,5% celkovej spotreby energií planéty. [52], [53]

Z hľadiska domáceho použitia sú populárne domáce bioplynové stanice. Bioplyn v tejto stanici vzniká vplyvom rozkladu organickej hmoty ako sú zbytky jedla alebo odpad produkovaný zvieratami. Potom je tento plyn dovedený do plynojemu kde sa očistí. Následne je možné bioplyn použiť na vykurovanie. Prekážkou je, že túto technológiu nie je jednoduché uviesť do prevádzky, ďalej jej výhoda je dosiahnutá najmä vtedy ak je k dispozícii veľa organického materiálu, z ktorého je nakoniec bioplyn vyrábaný a taktiež je potrebné získať legislatívne povolenie. [54]

Riešenie domácej bioplynovej stanice poskytuje aj [55], ktorá funguje na rovnakom princípe ako obyčajná bioplynová stanica, avšak produkovaný plyn je možné použiť na varenie na plynovej varnej doske, ktorá je súčasťou dodávky. Produkcia plynu by mala denne stačiť na dve hodiny varenia. Z hľadiska hodnoty CO₂ je uvedené, že je možné ušetriť až 6 ton CO₂ ročne, čo je pozitívna hodnota vzhľadom k cene, ktorá je 975\$.

3 Optimalizačný algoritmus

Pre dosiahnutie čo najlepších výsledkov je potrebné do algoritmu implementovať komunikáciu a spracovanie údajov z čo najviac možných zariadení a technológií umiestnených v objekte. Tieto údaje majú nadväznosť na plánovanie distribúcie elektrickej energie, ale taktiež môžu mať nadväznosti na funkcie, ktoré skôr zvyšujú komfort bývania ako sú napríklad tienenie alebo stmievanie osvetlenia.

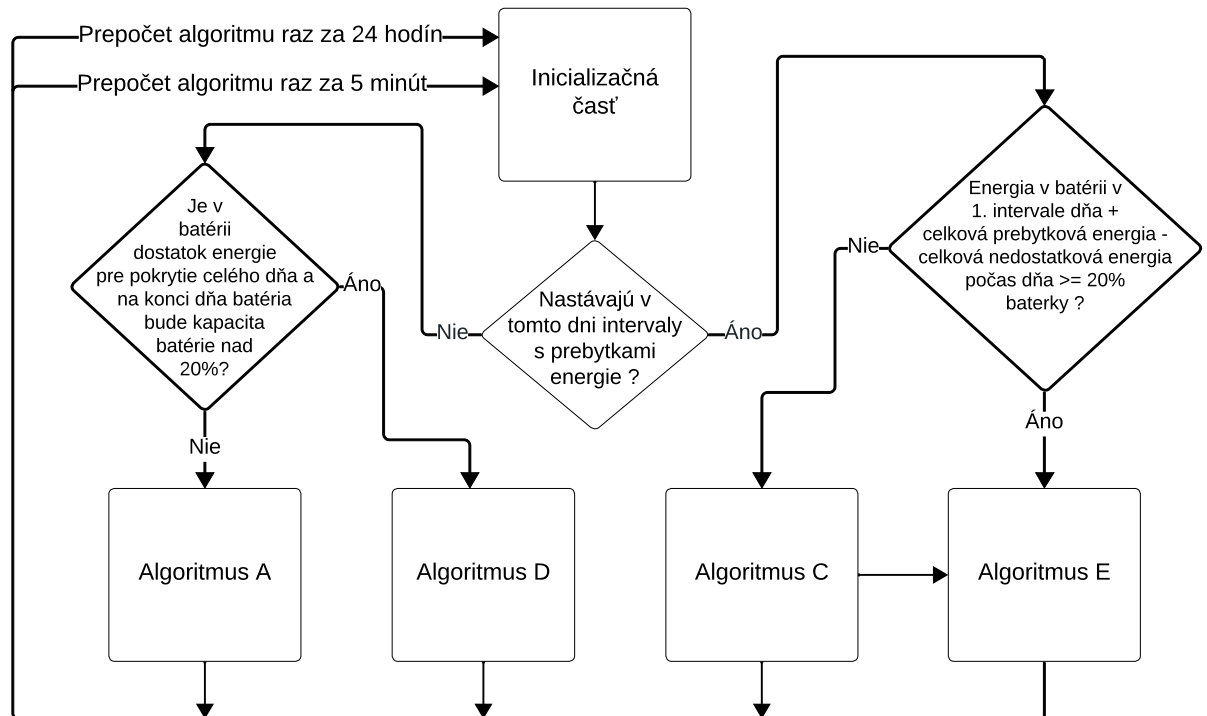
Algoritmus, ktorý bol v tejto práci navrhnutý, sa zameriava na efektívne plánovanie a riadenie distribúcie elektrickej energie. Z toho dôvodu bolo pri tvorbe algoritmu uvažované s komunikáciou s inteligentným elektromerom, s riadiacimi jednotkami energeticky náročných spotrebičov, s vyčítaním údajov z internetových služieb ako je predpoveď výroby fotovoltaickej elektrárne alebo ceny elektrickej energie na spotovom trhu. Na základe vyčítaných údajov je následne možné energiu distribuovať efektívne, čo znamená, že spotrebiče s vysokým odberom, ktorých chod je možné presunúť a naplánovať, sa presunie do doby, kedy je cena na spotovom trhu nízka, a teda pokrytie tejto spotreby bude menej finančne náročné. Na základe komunikácie s riadiacimi jednotkami energeticky náročných spotrebičov, komunikácie s elektromerom a s počítaním výkonnostnej rezervy, je taktiež zabezpečené monitorovanie hodnoty aktuálneho prúdu spotrebovávaného v domácnosti, čím je zaistené, že nepríde k neprimerane veľkej prúdovej záťaži, ktorá by mohla viesť k zhodeniu hlavného domového ističa. Taktiež je na základe znalosti vyššie spomenutých údajov možné určovať, v ktorých intervaloch sa má nabíjať batéria fotovoltaickej elektrárne, kedy sa má spotreba domu pokrývať z batérie, kedy sa má spotreba domu pokrývať energiou z distribučnej siete alebo kedy sa majú prebytky energie vyrobenej fotovoltaickou elektrárnou akumulovať do batérie alebo naopak kedy sa majú predať do distribučnej siete. V stavbe, ktorá bola rozoberaná v práci, je implementovaná fotovoltaická elektráreň, avšak z hľadiska komplexnosti návrhu algoritmu, by bolo možné algoritmus implementovať aj do stavieb s iným zdrojom obnoviteľnej energie.

3.1 Štruktúra optimalizačného algoritmu

Základom algoritmu je plánovanie efektívnej distribúcie elektrickej energie, predikovanie spotreby elektrickej energie na nasledujúci deň, maximálne využitie vyrobenej energie fotovoltaickou elektrárnou, monitorovanie aktuálnej spotreby domu, komunikácia so zdrojmi elektrickej energie, ktoré pre konkrétnu stavbu rozoberanú v tejto práci, sú distribučná sieť, hybridný menič fotovoltaickej elektrárne a batéριοvé úložisko. Plánovanie je rozdelené vždy na 24 jednoodinových intervalov. Následné prepočítavanie algoritmu bude realizované každých 5 minút. Údaje budú poskytovať

informácie o tom s akým množstvom energie môže algoritmus pracovať, koľko je aktuálne k dispozícii z domácich zdrojov a aké množstvo energie do objektu prichádza z distribučnej siete alebo naopak aké množstvo energie bolo do distribučnej siete odoslané z objektu. Cieľom je maximálne využiť výrobný potenciál fotovoltaickej elektrárne za účelom čo najvyššej finančnej úspory.

Na základe toho bolo počas procesu navrhovania zvážených viacero variánt optimalizačného algoritmu, ktoré boli následne testované a prepočítavané na reálnych zozbieraných dátach z konkrétnej stavby. Na základe porovnania výsledkov bol následne vybraný najlepší návrh, ktorého jednotlivé časti budú rozobrané detailnejšie v nasledujúcich kapitolách. Bloková schéma tohto algoritmu je zobrazená na Obr. 3.1 Samotný algoritmus je rozdelený na inicializačnú časť a jednotlivé algoritmy A, D,



Obr. 3.1: Ukážka blokovej schémy optimalizačného algoritmu

C a E. V inicializačnej časti prebieha načítanie počiatočných údajov, ktoré sú pre následné plánovanie a prácu algoritmu dôležité. Jedná sa napríklad o zadanie typu distribučnej sadzby, ktorú má stavba pridelenú, zadanie množstva rezervovaného výkonu alebo napríklad výšku hlavného domového ističa. Časti A, D, C a E následne riešia situácie, ktoré môžu nastať pri predikovaní a plánovaní distribúcie elektrickej energie. V týchto častiach je implementované to, ako sa má algoritmus správať, ak

sa počas dňa vyskytujú hodinové intervaly, v ktorých nastáva prebytok elektrickej energie alebo naopak nedostatok, kedy je najvýhodnejší predaj alebo naopak kedy je najvýhodnejší nákup elektrickej energie z distribučnej siete.

3.1.1 Inicializačná časť

V tejto časti sú zadávané údaje, ktoré sú dôležité pre prvotné nastavenie, prvotnú predikciu a prvotný výpočet. Tieto údaje sú:

- **Typ distribučnej sadzby** je údaj, ktorý algoritmu hovorí o tom, v akých hodinových intervaloch sa cena za energiu pohybuje v cenách vysokého alebo nízkeho tarifu, respektíve či aktuálna sadzba má vôbec možnosť vysokého a nízkeho tarifu, nakoľko existujú aj jednotarifné sadzby, ktoré sa počas celého dňa pohybujú na úrovni vysokého tarifu. O typ sadzby si žiada investor v žiadosti o pripojenie stavby do distribučnej siete, avšak nemusí byť vždy žiadosti o konkrétny typ sadzby vyhovené a distribútor môže investorovi prideliť inú sadzbu. Výška tarifu hovorí o tom za akú cenu za akú cenu je energia distribuovaná, a teda pri vysokom tarife sa platí vyšší poplatok ako pri nízkom tarife. Stavbe, ktorá je predmetom tejto práce, bola pridelená distribučná sadzba AKU8V4 od distribútora ČEZ. Označenie AKU8V4 znamená, že vysoký tarif je v čase 22:00-06:00 a nízky tarif je v čase 06:00-22:00.
- **Nákup a predaj za spotové ceny** oproti fixným cenám energie, ktoré sú stanovené dodávateľom elektrickej energie, sú spotové ceny rôzne v závislosti na aktuálnej situácii na trhu. V takomto prípade sa teda nakupuje ale aj predáva energia za spotové ceny [56]. Pre prácu s algoritmom je predpoklad ten, že stavba má povolenie pre obchodovanie s energiou na burzovom trhu. Na základe dostupných informácií o cenách spotového trhu sa teda analyzuje najlepší čas na nákup a predaj elektrickej energie.
- **Zadanie rezervovaného výkonu fotovoltickej elektrárne** predstavuje maximálne množstvo energie, ktorú môže fotovoltický systém dodávať do verejnej siete. Táto hodnota je stanovená v zmluve a investor sa zaväzuje k dodržaniu tejto hodnoty. V prípade, že by prišlo k prekročeniu tejto hodnoty a do distribučnej siete by bolo dodané viac energie, než je zazmluvnené, investor sa vystavuje povinnosti zaplatiť pokutu, pričom kontrola dodávaného množstva prebieha po 15 minútových meracích intervaloch [57]. V stavbe, ktorá je predmetom práce je zazmluvnená hodnota rezervovaného výkonu na 15,5 kW.
- **Parametre meniča FVE** predstavuje údaj o tom či je menič jednofázový alebo trojfázový, a teda či dokáže pracovať na napätí 230 V AC alebo až 400 V AC. Ďalší parameter sú maximálne výkony meniča, čo znamená aký maxi-

málny výkon dokáže preniesť z distribučnej siete, naopak do distribučnej siete, aký výkon dokáže prijať z fotovoltaických panelov a aký výkon dokáže dodávať do domácnosti v prípade výpadku prúdu na strane distribútora. Ďalším parametrom je jeho maximálny je jeho maximálny nabíjací a vybíjací prúd, ktorý smeruje do, respektíve z batérie. Poslednými údajmi sú účinnosť nabíjania, vybíjania a všeobecná účinnosť meniča. Menič fotovoltaickej elektrárne má samozrejme ešte ďalšie iné parametre a vlastnosti, avšak do algoritmu sú zahrnuté vyššie zmienené údaje. Menič, ktorý je umiestnený v tejto stavbe má maximálny výkon, ktorý dokáže prijať z fotovoltaickej elektrárne stanovený na 30000 Wp, je trojfázový, do distribučnej a z distribučnej siete dokáže preniesť výkon 15000 W pričom maximálny prúd je 24,1 A. Účinnosť nabíjania je stanovená na 98,5 % a účinnosť vybíjania je stanovená na 97,5 %. Všeobecná účinnosť meniča je 98 % [58]. Tieto údaje musia byť v algoritme zohľadnené, aby algoritmus dokázal čo najpresnejšie vypočítať aké množstvo bude mať kedy k dispozícii, a teda aby neprišlo k mylným výpočtom, kedy sa bude počítať napríklad s vyšším výkonom než je v skutočnosti.

- **Parametre batériového úložiska** z hľadiska činnosti algoritmu sa jedná najmä o maximálnu použiteľnú kapacitu batérie, operačné napätie, o odporúčaný vybíjací a nabíjací prúd a o jej životnosť. Batériové úložisko [59], ktoré je použité v stavbe, má použiteľnú kapacitu 15,5 kWh, odporúčaný nabíjací a vybíjací prúd batérie je 25 A, operačné napätie je v rozsahu 300-393 V a jej životnosť, než jej kapacita klesne pod 80 %, je stanovená na 6000 cyklov. Na základe odporúčaného nabíjacieho a vybíjacieho prúdu batérie spoločne s operačným napätím je nutné nastaviť maximálne možné množstvo energie, ktoré je do batérie počas 1 hodiny možné akumulovať alebo naopak odoberať. Pre toto batériové úložisko bola vypočítaná hodnota 9kWh, a to ako súčin odporúčaného prúdu a operačného napätia 360 V. Na základe ceny batériového úložiska a životnosti je potrebné vypočítať cenu za jeden batériový cyklus, nakoľko aj toto má vplyv na cenu, a teda z toho vyplýva, že ak nastane prípad, kedy objekt nenakupuje počas celého dňa energiu z distribučnej siete, stále sa za energiu platí v podobe minútého cyklu, respektíve časti cyklu batérie. Batériové úložisko v tejto stavbe bolo zakúpené v hodnote 7110 €, pričom bolo uvažované 50 % dotácia, čo znamená, že pre výpočet batériového cyklu bola uvažovaná cena 3555 €. Na základe týchto údajov bola spočítaná cena za cyklus batérie ako delenie ceny batérie s životnosťou batérie, a teda výsledok za 1 cyklus batérie je 0,593 €.
- **Výška hlavného ističa** parameter, ktorý je dôležitý preto, aby maximálny dodávaný prúd v domácnosti neprekročil túto hodnotu. Taktiež pri nákupe energie z distribučnej siete je potrebné kontrolovať to či je možné dané množ-

stvo energie nakúpiť. Práve preto, je v algoritme zahrnutá aj komunikácia s riadiacimi jednotkami energeticky náročných zariadení a elektromerom, od ktorých si algoritmus vyžiada aktuálne dáta o spotrebe a na základe toho určí či je možné nakúpiť z siete stanovené množstvo alebo či je možné nakúpiť len menšie množstvo, nakoľko v opačnom prípade by práve mohlo prísť k zhoďeniu hlavného ističa. V tejto časti je ešte riešený možný presun zapínania týchto energeticky náročných spotrebičov na iné intervaly, pokiaľ to je možné. Ako príklad je možné uviesť nabíjanie elektromobilu, kedy je jednoduché naplánovať kedy sa môže elektromobil nabíjať a kedy nie, pokiaľ teda nepríde požiadavka na prioritné nabíjanie, je možné nabíja elektromobilu presunúť na inú dobu, a teda zo siete nakupovať také množstvo energie, aké bolo stanovené.

- **Priortizácia výkonovo náročných zariadení** ako už bolo spomenuté, v objekte sa môžu nachádzať zariadenia, ktorých zapnutie je možné naplánovať na obdobie, kedy je cena energie na spotovom trhu lacná. Zároveň ich zapnutie v intervale, kedy je naplánovaný nákup veľkého množstva energie z distribučnej siete, by spôsobilo prepočítanie algoritmu, nakoľko by mohlo prísť k prekročeniu nominálnej hodnoty hlavného ističa. Tento prípad je v algoritme ošetrený, avšak ak je možné, takéto zariadenia zapnúť v stanovenom intervale, je to vždy lepší prípad. Práve z toho dôvodu boli zavedené priority pre výkonovo náročné spotrebiče ako je napríklad prioritné nabíjanie elektromobilu, ktoré má prioritu 1, čiže najvyššiu, čo znamená, že všetky ostatné úkony, ako je napríklad už spomenutý nákup energie do batérie, musí byť prerušený a naopak energia sa bude nakupovať pre priamu spotrebu elektromobilu. Najvyššia priorita bola zvolená z toho dôvodu, nakoľko prioritné nabíjanie značí, že sa človek potrebuje presunúť na inú lokáciu v čo najkratšom čase za každú cenu, a teda úmerne k tomu bola zvolená najvyššia priorita. Nasleduje tepelné čerpadlo s prioritou 2, nakoľko spínanie tepelného čerpadla je v záujme ponechania softvéru tepelného čerpadla, okrem jediného prípadu, ktorý je prioritné nabíjanie. Číslo 3 je sauna, nakoľko pre zapnutie sauny používateľ nebude chcieť čakať nejakú dobu, než sa dokončí nejaký naplánovaný proces, ale bude chcieť nahriať saunu ihneď. Ďalej nasleduje nabíjanie batérie a po ňom neprioritné nabíjanie elektromobilu. Nasledujúce priority je možné meniť napríklad práve po konzultácii s užívateľom domu.
- **Načítanie predikovaného množstva energie vyrobenej FVE** predikované údaje o výrobe fotovoltaickej elektrárne je možné do optimalizačného algoritmu získať z API, ktoré prevádzkujú spoločnosti, ktoré vedú tieto internetové stránky zaoberajúce sa predikciou výroby fotovoltaickej elektrárne. Na získanie údajov postačuje len zadať GPS súradnice objektu spoločne s vlastnosťami fotovoltaickej elektrárne, ako je jej inštalovaný výkon, sklon a

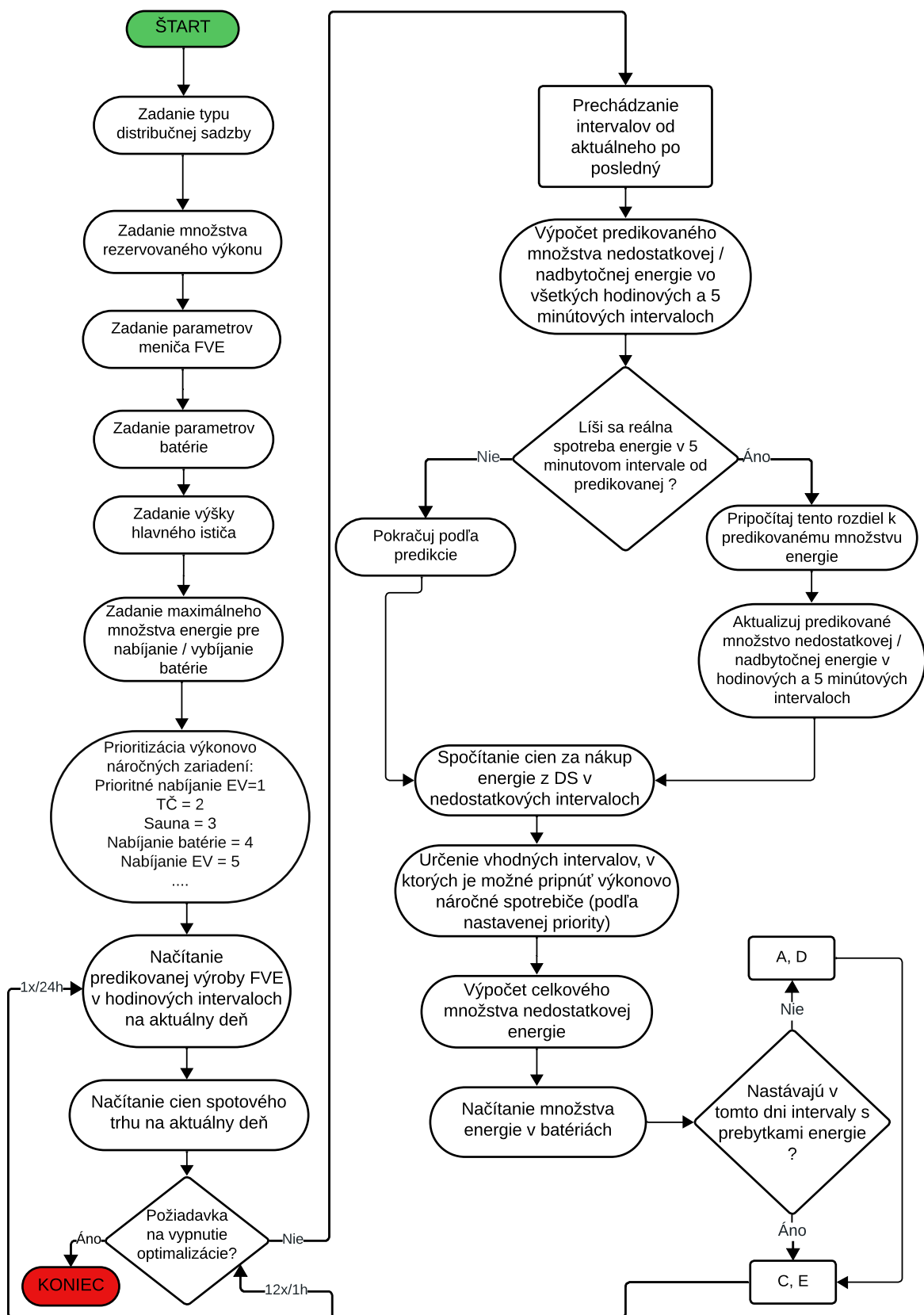
orientáciu panelov. Pri prepočtoch algoritmu, boli použité dáta z [60]. Tento údaj sa načítava len raz za 24 hodín, nakoľko je predikcia stála a stačí načítanie jedenkrát vždy pred prvotným prepočtom na daný deň.

- **Načítanie cien spotového trhu** údaje o cene elektrickej energie na spotovom trhu sa načítajú raz za 24 hodín.
- **Požiadavka na vypnutie algoritmu** slúži pre vypnutie optimalizácie, ak by na to bol akýkoľvek dôvod. Kontrola na vypnutie optimalizácie sa kontroluje každých 5 minút a po nej nasleduje ďalší prepočet.
- **Výpočet predikovaného množstva prebytočnej / nedostatkovkej energie** na základe informácií o predikovanej výrobe fotovoltaickej elektrárne v jednotlivých hodinových intervaloch a na základe predikcie spotreby elektrickej energie v jednotlivých hodinových intervaloch založenej na váženom priemerovaní z historických dát, je možné určiť množstvo energie, ktoré v danom hodinovom intervale ostatne ako prebytkové alebo naopak bude potrebné ešte určité množstvo energie buďto dokúpiť z distribučnej siete alebo ho bude potrebné dodať z batérie. Pri prvotnej iterácii výpočtu, ktorá prebehne o polnoci bude táto podmienka nepravdivá. Následne sa celý proces prepočítavania bude opakovať každých 5 minút. Po prebehnutí prvého 5 minútového intervalu (dvanásťkrát za hodinu) už bude možné určiť ako veľmi sa reálna hodnota líši od predikovanej, následne sa podľa upravených hodnôt znovu vykoná prepočet energie na celý a deň a na novo sa určia intervaly nedostatkové a prebytkové. Algoritmus teda bude schopný reagovať dynamicky na zmeny. Tento prepočet má taktiež vplyv na to, ktorá z častí algoritmu na Obr. 3.1 sa v nasledujúcich krokoch použije. Po prepočtoch sa následne spočítajú ceny za energiu vo všetkých nedostatkových intervaloch tak, ako keby boli nakupované z distribučnej siete. Tým pádom je možné určiť, ktoré intervaly sú cenovo najdrahšie, ktoré najlacnejšie, čo pomôže v nasledujúcich krokoch určiť, ktoré intervaly budú pokryté z batérie, a ktoré budú pokryté z distribučnej siete.
- **Určenie vhodných intervalov pre výkonovo náročné spotrebiče** tak ako bolo spomenuté v časti o prioritizovaní jednotlivých zariadení, v tomto kroku prebieha plánovanie, v ktorých intervaloch je možné pripnúť energeticky náročné zariadenia. Vhodné intervaly predstavujú v prvom rade záporné alebo lacné spotové intervaly, kedy je teda veľmi výhodné nakupovať zo siete, nakoľko je energia veľmi lacná alebo je ešte možné z nákupu pri zápornom intervale profitovať. Ďalšou možnosťou sú taktiež záporné intervaly, v ktorých nastáva situácia, kedy je už batéria nabitá na 100 % svojej kapacity, je plno pokrytá spotreba domácnosti, no stále ešte nie sú minulé všetky. V takomto prípade je zakázané prebytočnú energiu predávať, nakoľko pri predaji do distribučnej siete by musel investor ešte platiť za tento predaj. Z toho dôvodu je vhodné

túto zvyšnú energiu smerovať napríklad do nabíjania elektromobilu, ohrievaniu vody v akumuláčnej nádrži alebo napríklad v bazéne. Ak ale nie je možná ani jedna varianta, zvyšná energia z fotovoltaičkej elektrárne nebude prijatá.

- **Zvyšné kroky inicializačnej časti** v týchto krokoch sa sčíta celková nedostatková energia a načíta sa aktuálne množstvo akumulovanej energie v batériách.

Ako posledný krok inicializačnej časti je podmienka, tak ako je zobrazené na Obr. 3.1, ktorá rozhoduje o tom či sa na základe výpočtov v danom dni nachádzajú nejaké hodinové intervaly s prebytkami energie, čo znamená, že po pokrytí celej spotreby domu, ešte zostane stále nejaké množstvo energie k dispozícii. Rozdelenie algoritmu na časti, ktoré sa starajú o dni, v ktorých nastane aspoň jeden prebytkový interval a časti, ktoré sa starajú o dni, kedy nenastáva ani jeden prebytkový interval bolo urobené z dôvodu prehľadnosti a jednoduchšej, prípadnej, programovej implementácie, ale taktiež aj preto, že sa počas vývoja návrhu algoritmu ukázalo toto riešenie ako najlepšie. Vyššie popísaná a vysvetlený inicializačná časť algoritmu je zobrazená na Obr. 3.2



Obr. 3.2: Návrh inicializačnej časti algoritmu

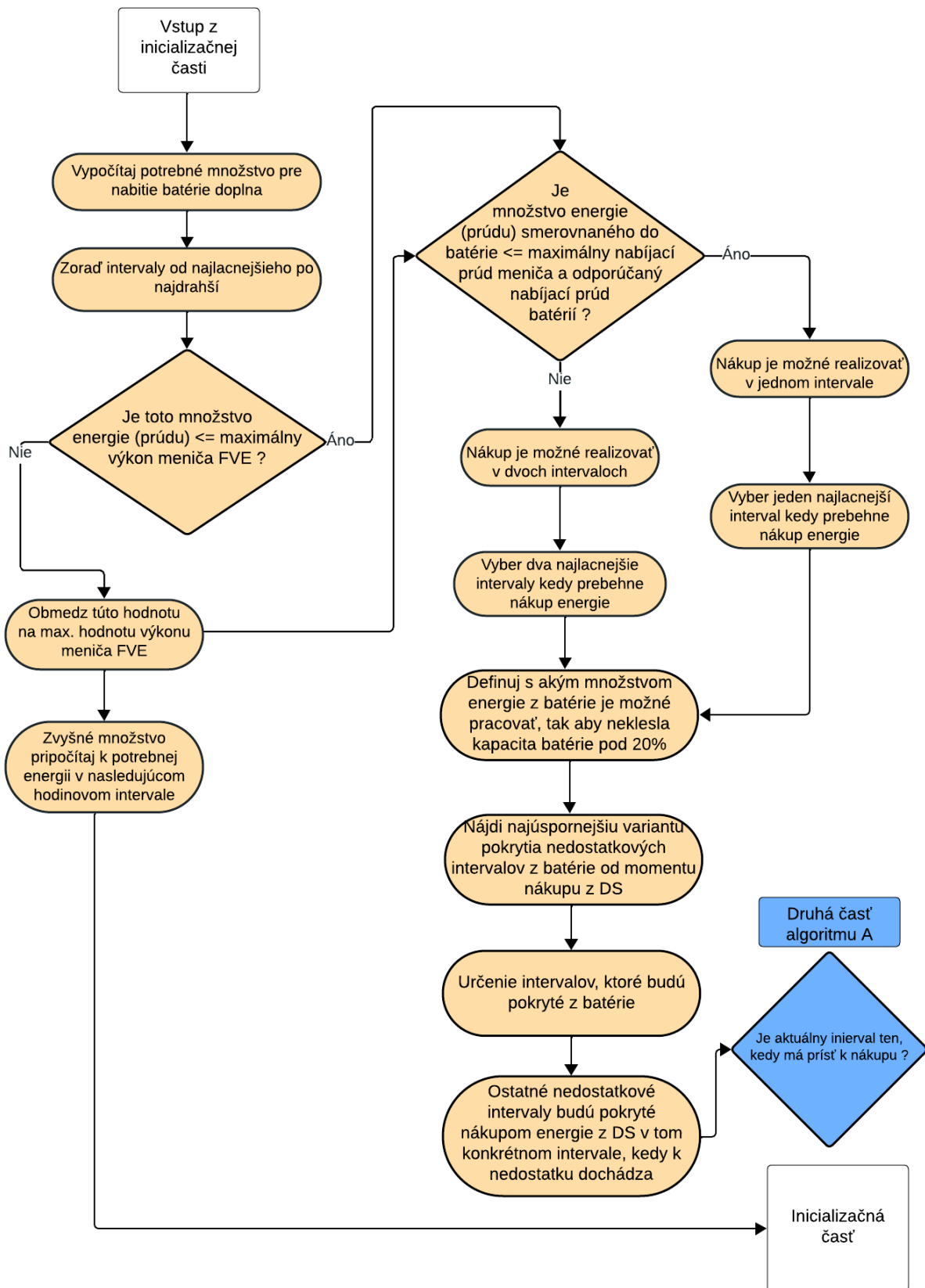
3.1.2 Algoritmus A

Algoritmus s označením A nastáva v prípade, v prípade ak počas dňa nenastáva žiadny prebytkový interval a zároveň v batérii nie je dostatočné množstvo energie, ktoré by pokrylo spotrebu celého dňa a zároveň by batérie neklesla pod 20 % svojej kapacity, tak ako je zobrazené na 3.1. Následne je teda potrebné nakúpiť energiu do batérie tak, aby sa nabila na 100 % kapacity. Množstvo, ktoré je potrebné do batérie kúpiť, sa jednoducho určí na základe znalosti aktuálnej kapacity batérie, ktoré prebehne ešte v inicializačnej časti a toto množstvo sa odpočíta od plnej kapacity batérie. Následne je potrebné vybrať najlacnejší interval, respektíve intervaly, kedy k nákupu príde. Z toho dôvodu príde k zoradeniu intervalov podľa ceny energie na spotovom trhu od najlacnejšieho intervalu pod najdrahší. Na základe prepočítaných dát pri spätnom testovaní algoritmu, najvýhodnejšie intervaly boli vždy v ranných hodinách od polnoci do šiestej hodiny ráno, čo znamená, že v tom čase bol aj zároveň nízky tarif, avšak štatisticky je samozrejme možné, že toto nemusí platiť vždy. Z toho dôvodu sú intervaly zoradené a následne sa bude vyberať buďto jeden alebo dva intervaly na základe požadovaného množstva energie, ktoré má byť nakúpené.

V prvej podmienke sa kontroluje či požadované množstvo energie je menšie alebo nanajvýš rovné maximálnemu výkonu meniča fotovoltaiiky. V prípade, že by tomu tak nebolo, tak sa musí toto množstvo obmedziť len na maximálne možné množstvo, ktoré menič dokáže preniesť a zvyšné množstvo sa musí pri prepočte, ktorý prebieha každých 5 minút, pripočítať čím vzniká rozdiel medzi predikciou. Pre túto konkrétnu stavbu má menič obmedzený maximálny výkon na striedavom vstupe na 15000 W. Po obmedzení tohto množstva na maximálny možný výkon meniča alebo ak je množstvo menšie ako maximálny výkon, nastáva ďalšia podmienka, kedy sa kontroluje či je požadované množstvo menšie alebo najvýš rovné maximálnemu množstvu, ktoré je možné dodávať do batérie. Pre túto konkrétnu stavbu bola stanovená hodnota maximálnej novej energie dodávanej do batérie za jednu hodinu na 9 kWh. Táto hodnota vznikla súčinom odporúčaného nabíjacieho a vybíjacieho prúdu batérií 25 A a operačného napätia 360 V DC. Výsledok je súčinu je 9000 W, avšak pokiaľ sa jedná o výkon dodávaný za jednu hodinu, tak je energie rovná 9000 Wh, respektíve 9 kWh. Ak je podmienka pravdivá, tak je nákup energie možné realizovať len v jednom hodinovom intervale, ktorý bude zo zoradeného zoznamu vybraný ako najlacnejší. Naopak ak bude podmienka nepravdivá, tak to znamená, že sa bude musieť nákup rozložiť na dva intervaly, to znamená najlacnejší a druhý najlacnejší.

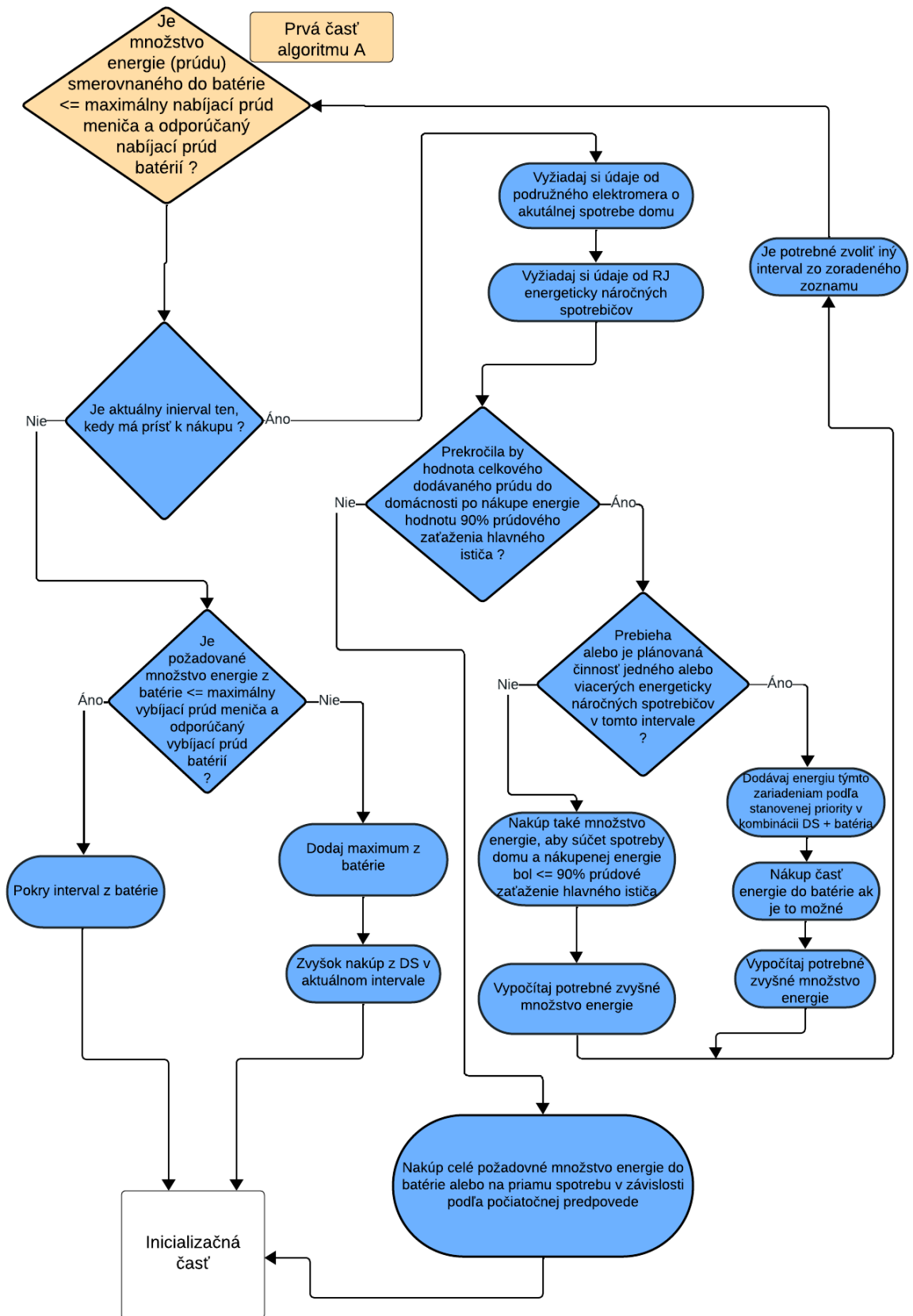
Následne je definovaná maximálna možné množstvo energie, s ktorým je možné pracovať. Tento údaj je dôležitý pri následnom určovaní intervalov, ktoré nedostatkové intervaly môžu byť pokryté z batérie. Nakoľko cieľom algoritmu je batériu držať stále nad úrovňou 20 % kapacity, je toto množstvo dané rozdielom maximálnej

kapacity batérie a 20 % kapacity batérie. V tomto konkrétnom prípade kde maximálna použiteľná kapacita batérie 15,5kWh, je použiteľné množstvo na pokrývanie intervalov 12,4 kWh. Na základe zoradenia intervalov od najlacnejšieho po najdrahší, vedomosťou o tom koľko energie je potrebné dodať do každého intervalu a s informáciou o dostupnej kapacite batérie, je možné nájsť finančne najlepšie riešenie, ktoré intervaly budú pokryté z batérie, a teda nebude sa platiť cena za nákup z distribučnej siete, ale bude sa platiť len cena za minútý cyklus batérie. Potom čo je dokončené označenie intervalov, ktoré majú byť pokryté z batérie, tak sa všetky ostatné intervaly označia ako tie, ktoré majú byť pokryté energiou z distribučnej siete. Popísaná časť algoritmu A je zobrazená na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Návrh prvej časti algoritmu A

Po určení intervalov, ktoré budú pokryté z batérie, nastáva kontrola či aktuálny interval je ten, kedy má prísť k nákupu energie. V prípade ak sa nejedná o tento interval, tak to znamená, že interval môže byť buďto pokrytý z batérie alebo nákupom energie z distribučnej siete, čo rieši nasledujúca podmienka, ktorá kontroluje to, aby z batérie bolo dodané maximálne povolené množstvo a teda zvyšok energie je potrebné dokúpiť z distribučnej siete vid' Obr. 3.4. Ak sa jedná o interval, kedy má prísť k nákupu energie z distribučnej siete, tak ešte pred samotným nákupom energie prebieha komunikácia s podružným elektromerom a s riadiacimi jednotkami energeticky náročných spotrebičov. Je to z toho dôvodu, ako bolo už spomenuté v predchádzajúcej kapitole, aby neprišlo k zhodeniu hlavného ističa. To znamená, že aktuálna spotreba, respektíve dodávaný prúd do objektu po sčítaní s prúdom, ktorý by tiekol do domácnosti z distribučnej siete po nakúpení daného množstva nesmie prekročiť 90 % prúdového zaťaženia hlavného domového ističa. V prípade, že k prekročeniu tejto hranice nepríde, tak sa dané množstvo môže nakúpiť. V opačnom prípade sa kontroluje to či nie je naplánované zapnutie alebo či neprebieha chod energeticky náročných spotrebičov. Podľa stanovenej priority buďto je alebo nie je možné tieto zariadenia odopnúť a presmerovať ich činnosť na iný interval. V prípade ak to možné nie je, tak sa prioritne dodáva energia týmto zariadeniam a nákup do batérie ponechať na neskôr. Tým pádom je potrebné nájsť iný lacný interval, kedy nákup prebehne. V prípade, že neprebieha činnosť energeticky náročných spotrebičov, ale je len vysoká spotreba domu, ako je napríklad varenie, pranie a iné, čiže nie je možné presunúť nič z tejto spotreby na neskôr, tak sa z distribučnej siete nakupuje len také množstvo, aby nebola prekročená hranica 90 % zaťaženia hlavného domového ističa. Zostávajúce množstvo energie, ktoré nebolo kúpené je nutné spočítať a presmerovať ho na iný lacný interval. Táto časť algoritmu A je zobrazená na Obr. 3.4.



Obr. 3.4: Návrh druhej časti algoritmu A

Ukážka použitia algoritmu A

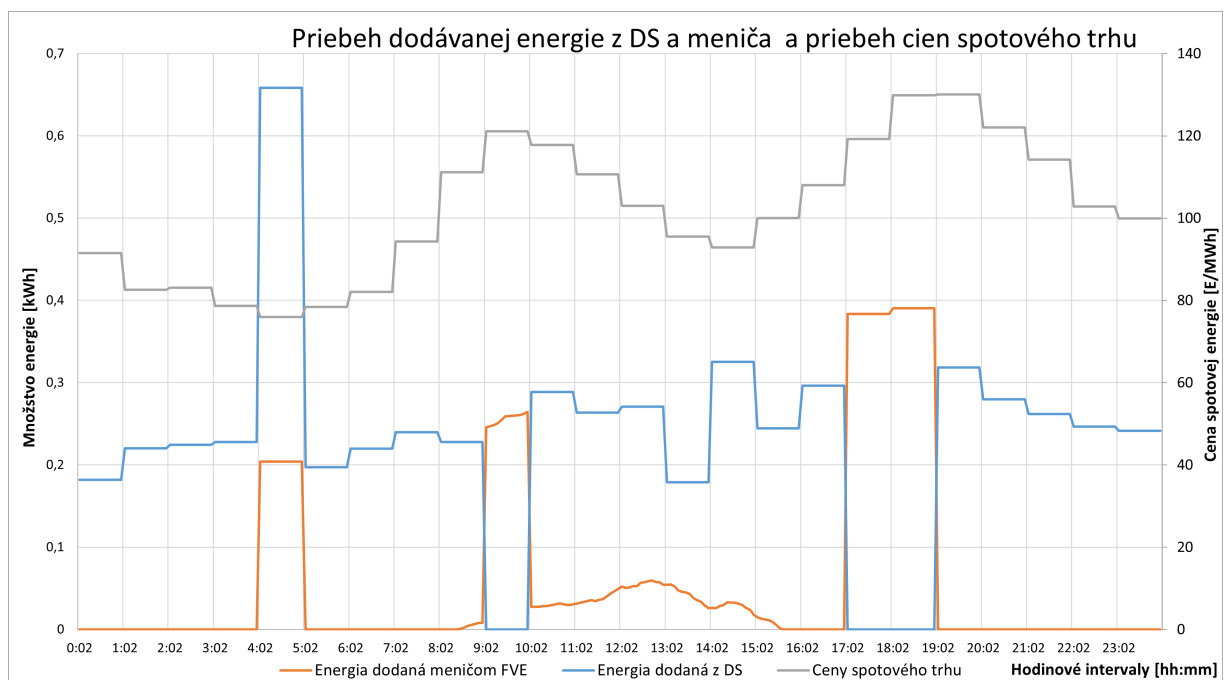
Algoritmus bol prepočítaný a testovaný na historických dátach, ktoré sú zozbierané zo striedača. Na týchto výpočtoch teda nie je vidno dynamickú reakciu algoritmu na náhle zmeny, nakoľko sa jedná o historické dáta, avšak je na výpočtoch vidno jeho úsporu, priebeh, distribúciu energie a nabíjanie a vybíjanie batérie. Z prepočítanej vzorky dní bol vybraný jeden deň, kedy bol použitý algoritmus A. Konkrétne pre tento algoritmus bol vybraný deň 8.1.2024.

| Hodinový interval | Cena spotovej energie [€/MWh] | Cena za nákup energie [€] |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0-1 | 91.49 | 0.272 |
| 1-2 | 82.54 | 0.305 |
| 2-3 | 83.07 | 0.312 |
| 3-4 | 78.64 | 0.305 |
| 4-5 | 75.97 | 0.860 |
| 5-6 | 78.41 | 0.263 |
| 6-7 | 82.1 | 0.522 |
| 7-8 | 94.3 | 0.605 |
| 8-9 | 111.16 | 0.621 |
| 9-10 | 121.11 | 0.605 |
| 10-11 | 117.83 | 0.810 |
| 11-12 | 110.66 | 0.717 |
| 12-13 | 103.02 | 0.712 |
| 13-14 | 95.48 | 0.454 |
| 14-15 | 92.84 | 0.815 |
| 15-16 | 100 | 0.633 |
| 16-17 | 107.98 | 0.752 |
| 17-18 | 119.27 | 1.082 |
| 18-19 | 129.83 | 1.151 |
| 19-20 | 130 | 0.939 |
| 20-21 | 122.06 | 0.799 |
| 21-22 | 114.19 | 0.724 |
| 22-23 | 102.8 | 0.401 |
| 23-0 | 99.96 | 0.385 |

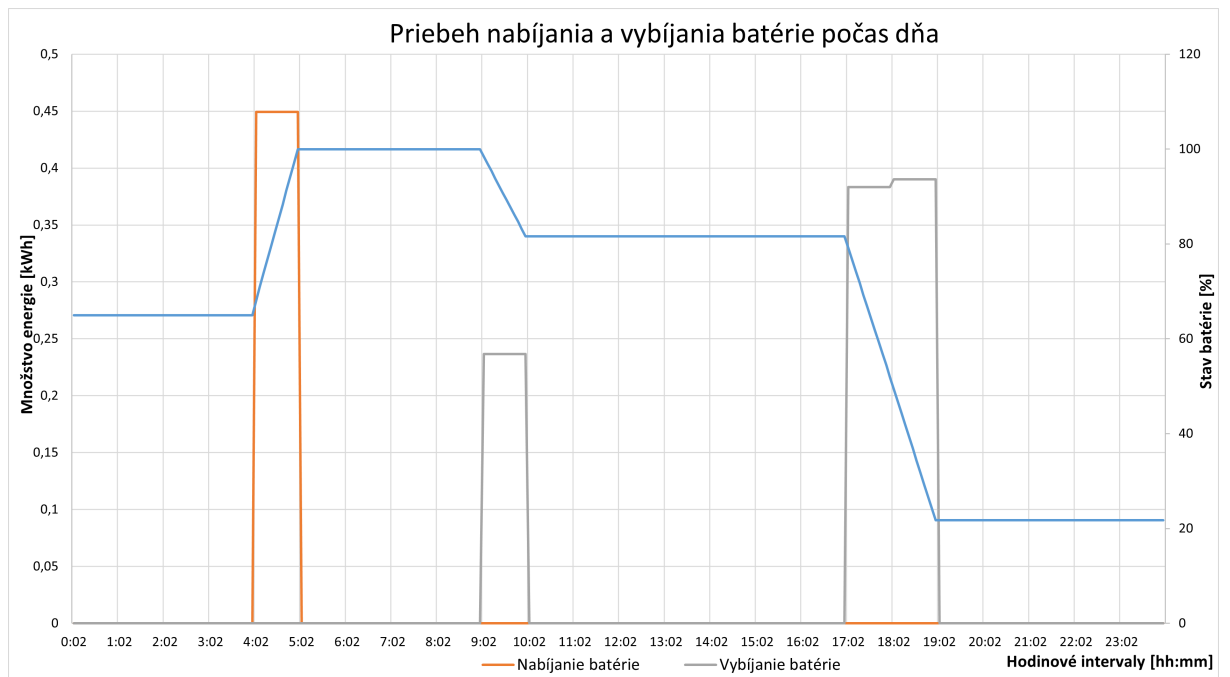
Tab. 3.1: Ceny za nákup energie na začiatku dňa 8.1.2024

Batéria v tomto dni začínala na kapacite 66 %, to znamená, že do plného nabitia bolo potrebné nakúpiť 44 % čo predstavuje množstvo energie 5,4 kWh. Tak ako je vidieť v tabuľke 3.1, vybral sa najlacnejší spotový interval v čase od 04:00.

Množstvo energie, ktoré je potrebné nakúpiť do batérie sa musí sčítať s chýbajúcim množstvom v danom intervale. V tomto prípade je súčet menší než maximálne možné dovolené množstvo energie dodávané do batérie, takže sa nakupuje len v jednom intervale. Následne na základe cien, ktoré zahŕňujú všetky poplatky za dodávku energie, za ostatné intervaly, ktoré sú uvedené v tabuľke 3.1 bolo vybrané najlepšie finančné riešenie, čo znamená pokrytie z batérie intervalov 09:00-10:00, 17:00-19:00. Následne pre porovnanie boli vyhotovené grafy dokumentujúce dodávanie energie z distribučnej siete a meniča fotovoltaickej elektrárne a taktiež grafická závislosť reprezentujúca nabíjanie a vybíjanie batérie v tomto dni pre optimalizovanú a neoptimalizovanú variantu. Na Obr. ?? je vidno ako sa v priebehu dňa distribuovala energia z fotovoltaickej elektrárne a z distribučnej siete. Zároveň je v tomto grafe umiestnená aj krivka cien na spotovom trhu. Z grafu je vidno, že sa už v spomenuťom intervale od 04:00 nakúpila energia do batérie spoločne aj s energiou potrebnou na pokrytie daného intervalu. Tento moment je taktiež možné vidieť na Obr. 3.6, kde sa v tomto čase nabíja batéria doplna. Ďalej je na Obr. 3.6 vidno, že práve v najdrahších obdobiach spotového trhu dochádzalo k pokrývaniu týchto intervalov z batérie.

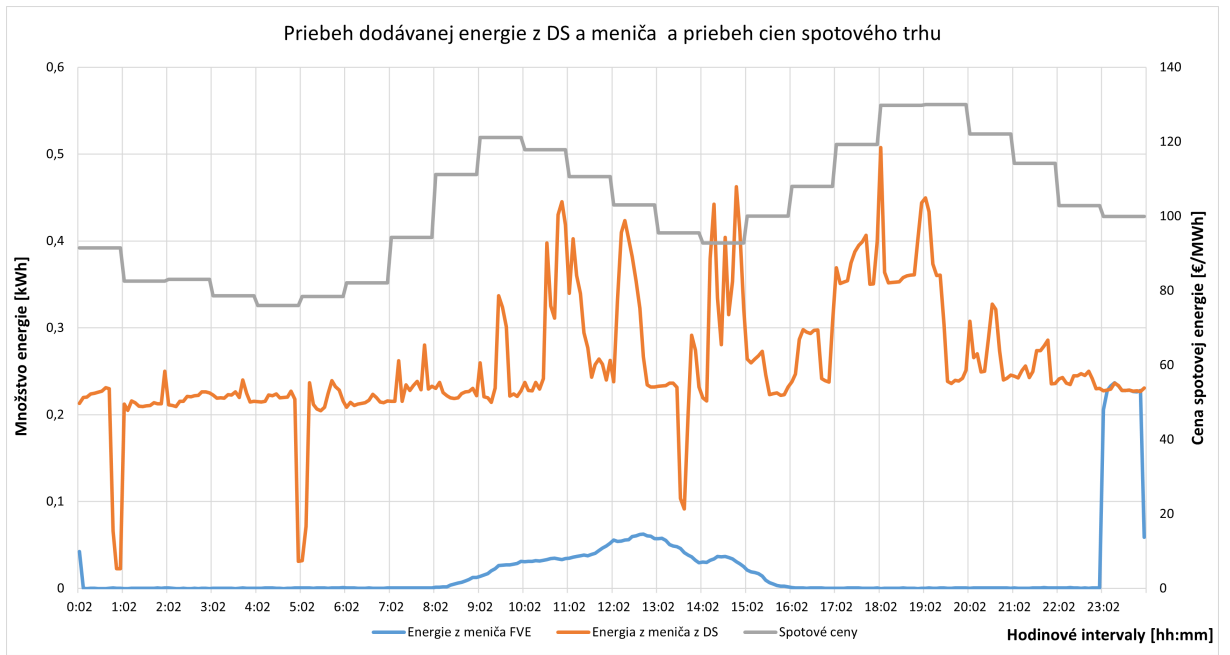


Obr. 3.5: Priebeh dodávanej energie z distribučnej siete a batérie počas dňa v optimalizovanej variante

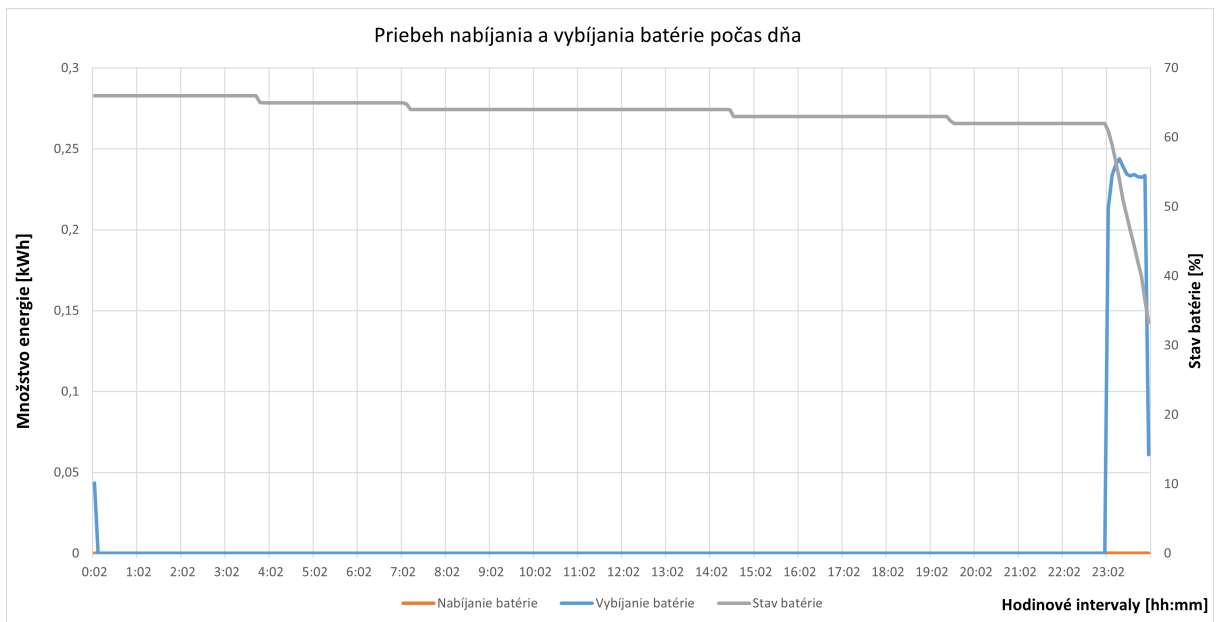


Obr. 3.6: Priebeh nabíjania a vybíjania batérie počas dňa v optimalizovanej variante

Oproti tomu u neoptimalizovanej varianty je z Obr. 3.7, že odber z distribučnej siete neprebíhal efektívne, ale prebiehal vtedy, kedy bolo treba, a teda aj v najdrahších spotových intervaloch. Ďalšia vec je viditeľná z Obr. 3.8 a to tá, že počas dňa nebola vôbec využívaná batéria, aj keď jej kapacita bola na 66 %. Záverom tohto optimalizačného procesu je možné zhodnotiť, že pri neoptimalizovanej variante sa platila cena za energiu 13,93€ s cyklom batérie 0,33 a pri optimalizovanej variante sa platila suma 12,86€ s cyklom batérie 1,1.



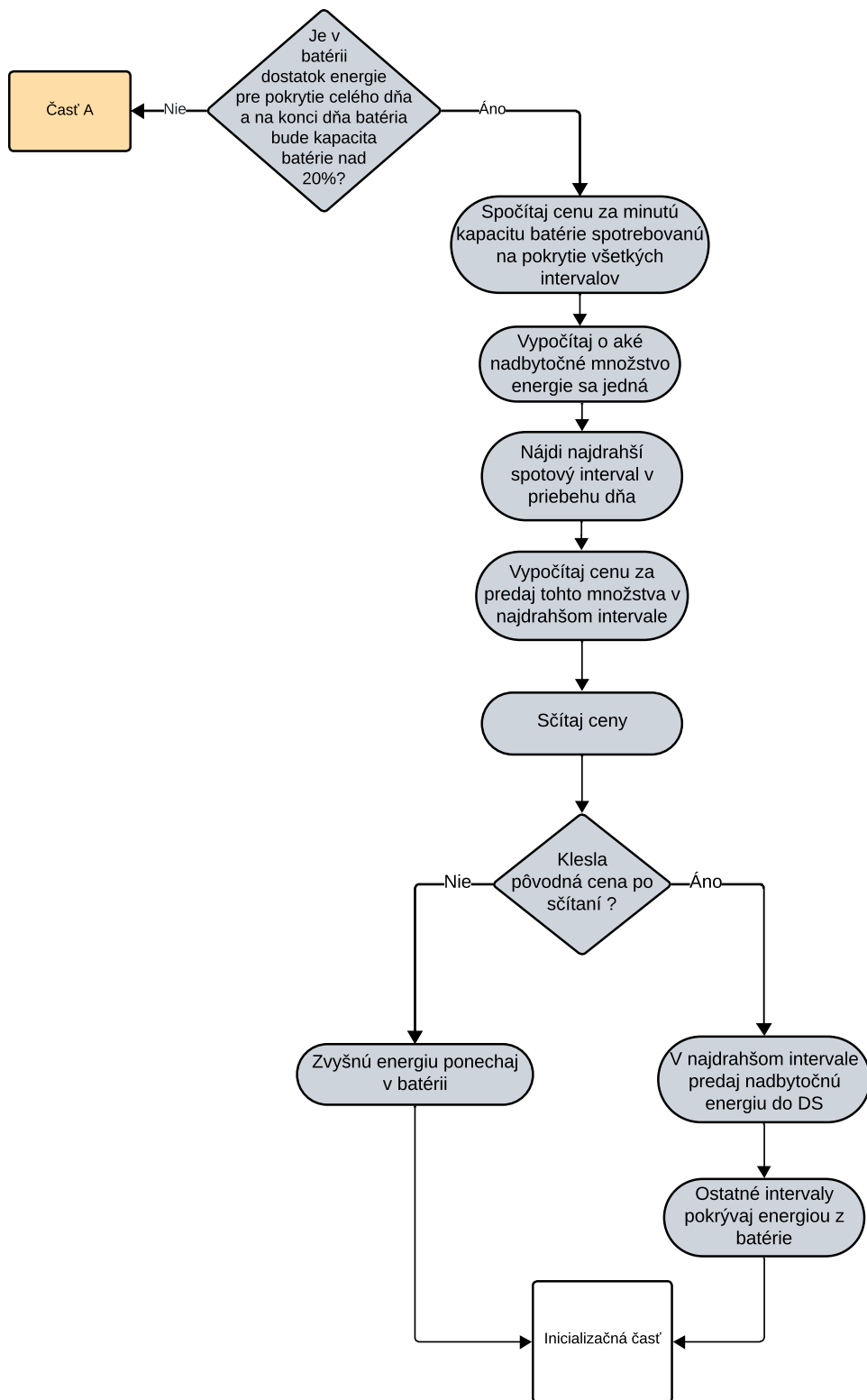
Obr. 3.7: Pribeh dodávanej energie z distribučnej siete a batérie počas dňa v neoptimalizovanej variante



Obr. 3.8: Pribeh nabíjania a vybijania batérie počas dňa v neoptimalizovanej variante

3.1.3 Algoritmus D

Algoritmus D nastáva v prípade splnenia podmienky, kedy na základe predikcie v batérii po pokrytí celodenného nedostatku ostane viac ako 20% batérie. V tomto prípade sa teda platí len za spotrebovaný cyklus batérie. V nasledujúcom kroku sa spočíta množstvo energie, ktoré by na konci dňa malo ostať v batérii navyše nad 20% kapacity a následne sa bude uvažovať predaj tohto množstva v najdrahšom spotovom intervale počas dňa. Následne sa sčíta cena za minutý cyklus batérie s cenou za predaj energie a porovná sa či výsledná cena je nižšia ako len samotná cena za cyklus batérie. Je to z toho dôvodu, že na základe predpokladu bude zostatková energia malá, a tak sa môže stať, že by poplatky za predaj boli vyššie než samotný čistý zisk z predaja, čiže by sa v konečnom dôsledku ešte muselo za predaj platiť. V priebehu prepočítavania spotreby jednotlivých dní z historických dát sa ale nepodarilo nájsť deň, v ktorom by sa dal uplatniť tento algoritmus. To nutne nevyvracia to, že tento algoritmus nie je možné použiť v nejakom dni, ktorý nebol obsahom vzorky prepočítavaných dní. Predpoklad použitia tohto algoritmu je napríklad v letných dňoch, kedy v objekte nikto nie je a tak výroba energie z fotovoltaickej elektrárne spoločne s batériou plne pokryjú spotrebu domu. Inými slovami by sa dal tento algoritmus nazvať ako dovolenkový režim, ktorý sa používa, ak v objekte nikto nie je. Tento algoritmus je zobrazený na Obr. 3.9



Obr. 3.9: Návrh dovolenkového algoritmu D

3.1.4 Algoritmus C

V prípade výskytu intervalov s prebytkami energie sa porovnáva v podmienke vid' Obr. 3.1 či je možné pokryť spotrebu objektu počas celého dňa kombináciou batérie a prebytkov fotovoltaickej elektrárne a zároveň batérie neklesne pod 20 % kapacity. Pokryť celkovú spotrebu objektu len čisto z prebytkov fotovoltaickej elektrárne je nereálne, nakoľko spotreba objektu je aj v noci, kedy fotovoltaické panely neprodujú energiu. V prípade, že táto podmienka výjde ako nepravdivá, tak sa následne použije algoritmus s označením C. Podstatou tohto algoritmu je nakúpiť do batérie len také množstvo energie z distribučnej siete v najlacnejšom intervale, aby následné prebytky fotovoltaickej elektrárne nabili batériu na 100 % kapacity.

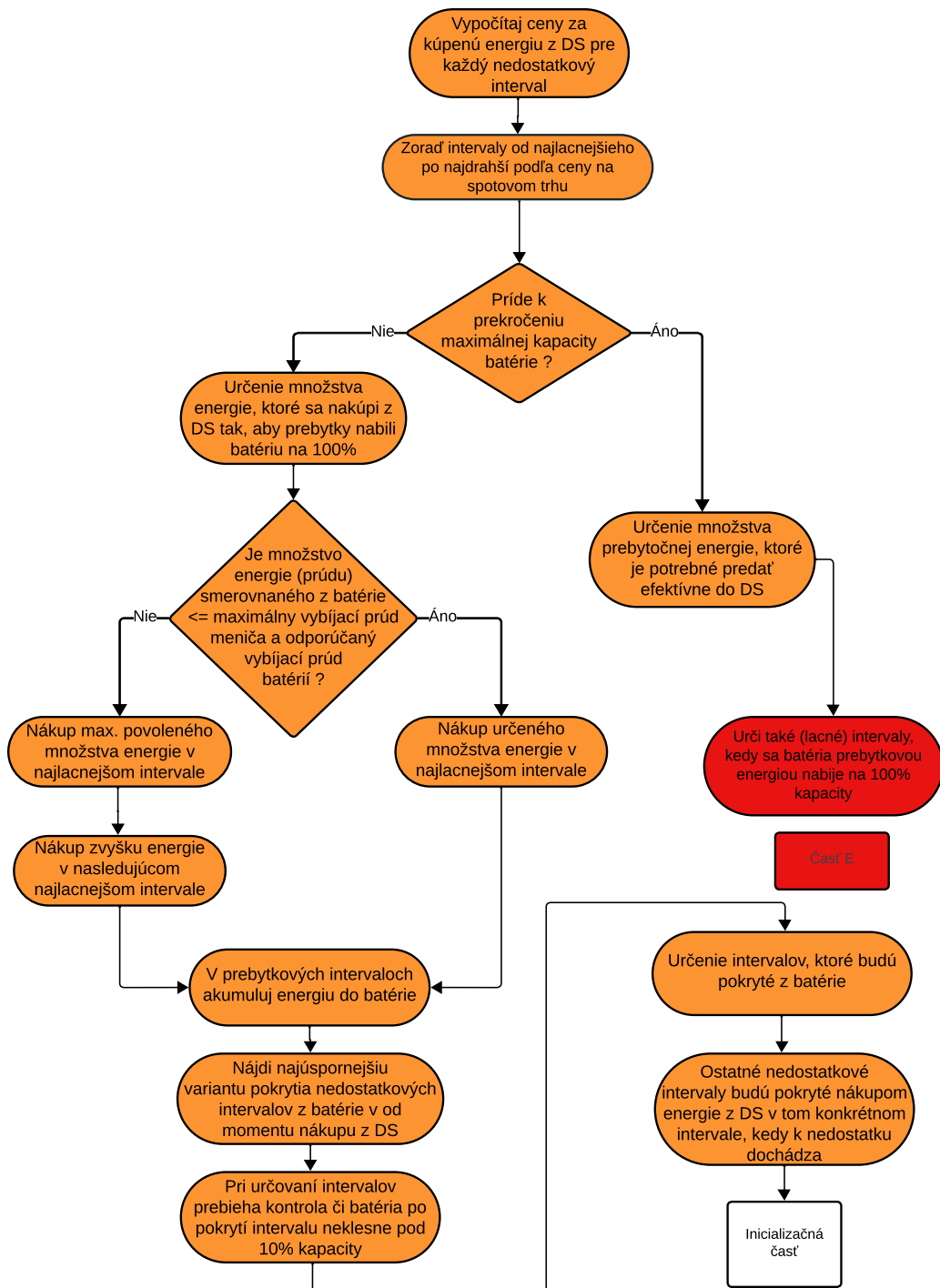
Začiatok algoritmu je podobný algoritmu A, nakoľko aj v tomto algoritme bude prebiehať nákup energie a preto je potrebné zoradiť intervaly od najlacnejšieho po najdrahší a následne určiť cenu za nákup energie pre všetky nedostatkové intervaly, aby bolo následovne možné určiť, ktoré intervaly majú byť pokryté z batérie, a ktoré z distribučnej siete. Následne je potrebné spočítať celkovú prebytkovú energiu od prvého prebytkového intervalu až po posledný prebytkový interval. Počas tejto doby sa môžu vyskytnúť aj intervaly nedostatkové, ale v pre tento algoritmus je potrebné sčítať len prebytkové algoritmy, nakoľko cieľ je nájsť finančne najúspornejšie riešenie pokrytia intervalov z batérie, čo znamená, že ak by boli do tohto započítané aj nedostatkové intervaly vyskytujúce sa v období medzi prvým až posledným prebytkovým intervalom, tak by to ovplyvnilo výsledný súčet prebytkovej energie, a teda už by nebolo možné nájsť najúspornejšie riešenie. Po sčítaní celkovej prebytkovej energie je potrebné porovnať či je toto množstvo väčšie ako je maximálna kapacita batérie.

V prípade, že je menšie alebo rovné, sa určí aké množstvo energie je potrebné nakúpiť z distribučnej siete. Toto množstvo (X) sa určí ako súčet maximálnej kapacity batérie (B) s energiou v batérii pred prvým prebytkovým intervalom (A) a množstvom prebytkovej energie od prvého po posledný prebytkový interval (C).

$$X = B - (A + C) \quad (3.1)$$

Po výpočte sa skontroluje či požadované množstvo neprekročí maximálne možné, ktoré je možné akumulovať do batérie za hodinu. Následne sa nájde najúspornejšia varianta na pokrytie nedostatkových intervalov z batérie od okamihu nákupu energie do batérie. Od momentu nákupu je z dôvodu toho, že ak by v batérii bolo také množstvo energie, že by bolo možné dodávať do nedostatkových intervalov pred nákupom, nastala by opäť podobná situácia ako pri sčítavaní prebytkových spolu s nedostatkovými intervalmi, a teda, že by následne nebolo možné nájsť najúspornejšiu variantu. Pri tomto algoritme je dovolené aj vybitie batérie až na 10 %, nakoľko sa

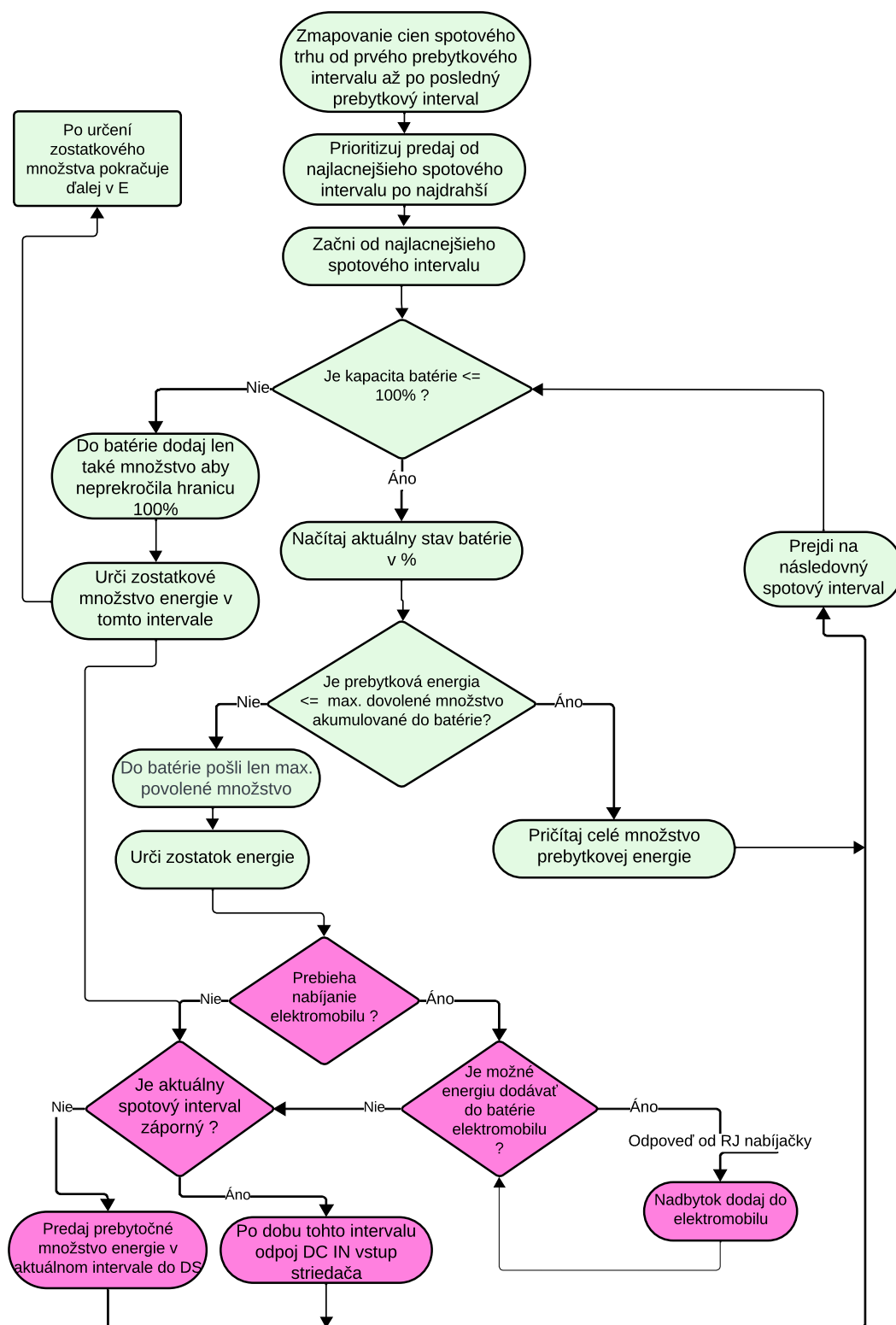
bude jednať len o krátkodobé vybitie, nakoľko prebytky energie znovu batériu nabijú. Táto časť je zobrazená na Obr. 3.10



Obr. 3.10: Návrh algoritmu C

V prípade ak nastal prípad, že príde k prekročeniu maximálnej kapacity batérie,

tak algoritmus prechádza do bloku, ktorý sa vyskytuje v časti E. Tento blok hovorí o tom, že sa hľadajú najlacnejšie spotové intervaly vyskytujúce sa počas prebytkových intervalov a teda počas týchto intervalov sa batéria z prebytkov nabije na 100 % kapacity. V drahších intervaloch sa naopak energia predáva do distribučnej siete, nakoľko zisk je vyšší. Detailný náčrt tohto bloku je na Obr. 3.11



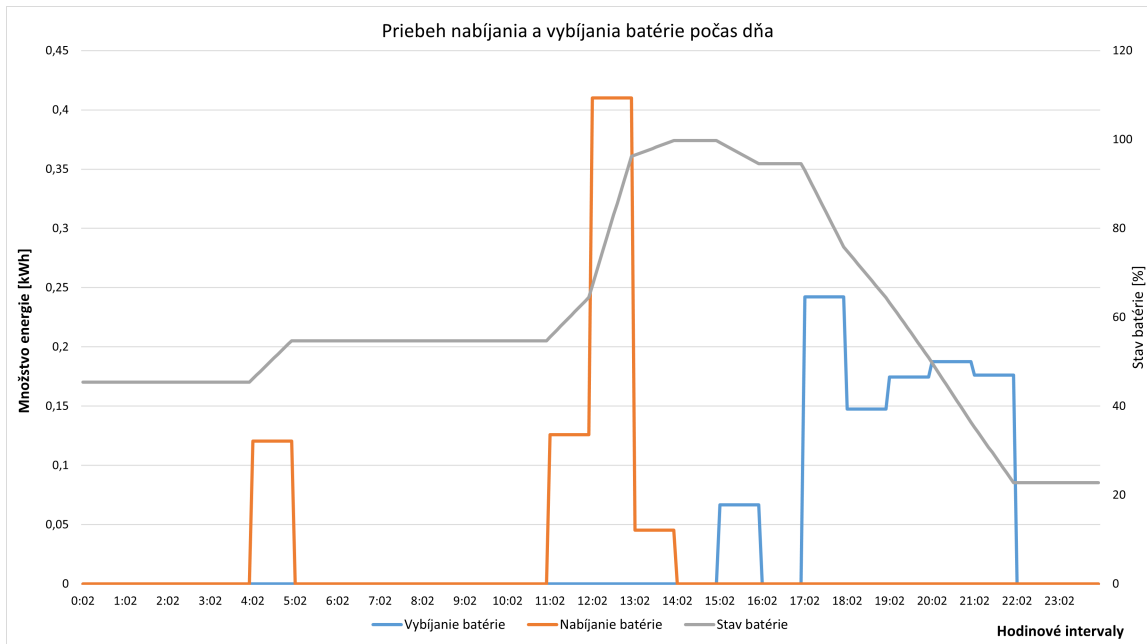
Obr. 3.11: Časť algoritmu popisujúca výber lacných spotových intervalov pre nabíjanie batérie

Ukážka použitia algoritmu C

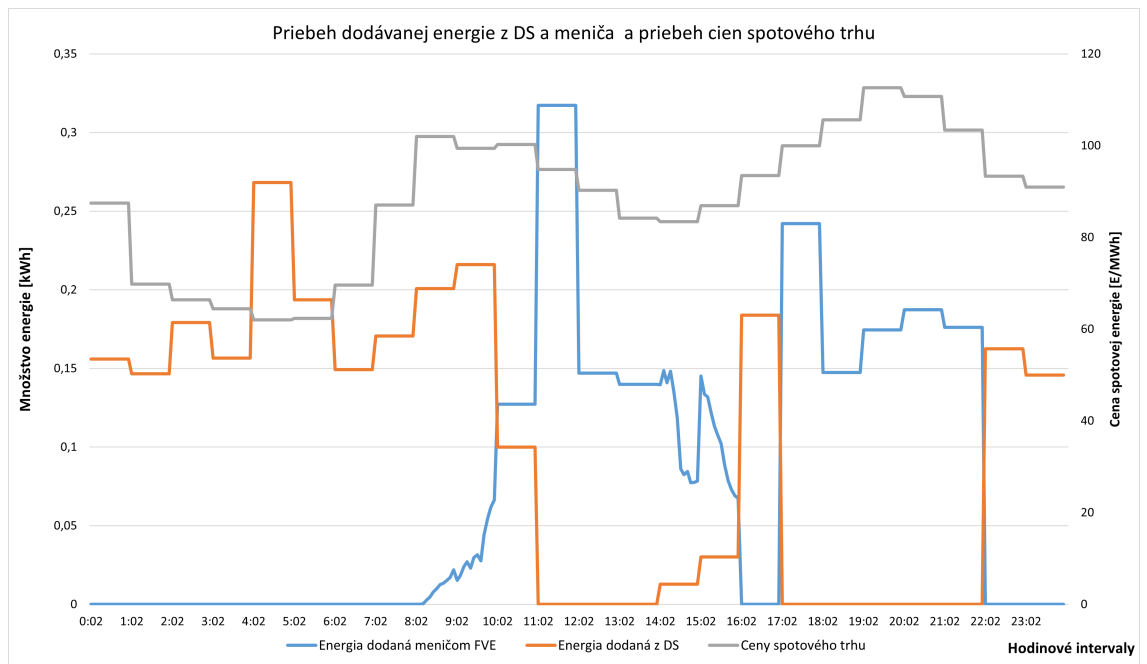
Na základe prepočtu na historických dátach bol pre ukážku algoritmu C vybraný deň 15.1.2024. Na začiatku boli vypočítané ceny za všetky nedostatkové intervaly, ako keby mali byť kupované z distribučnej siete vid' tabuľke 3.2. Následne je na základe množstva energie nastávajúcej od prvého prebytkového intervalu po posledný prebytkový interval možné overiť či príde k prekročeniu maximálnej kapacity batérie alebo nie. V tomto prípade sú prebytkové intervaly len tri a to konkrétne v čase od 11:00-14:00. Po sčítaní hodnôt prebytkovej energie v týchto intervaloch vyjde hodnota 6,97kWh, ktorá je menšia ako maximálna kapacita batérie 15,5 kWh. Podmienka teda vyjde ako nepravda a následne sa určuje aké množstvo energie je potrebné kúpiť z distribučnej siete. V tomto dni sa začalo s batériou nabitou na 46 %, takže je potrebné nakúpiť len 1,44kWh do batérie, nakoľko zvyšné množstvo batérie dobijú prebytkové intervaly. Toto množstvo sa nakúpi v najlacnejšom intervale, čo je o 4:00. Batéria sa teda plne nabije v intervale od 12:00-13:00 tak ako je zobrazené na grafe 3.13. Následne sa určia intervaly, ktoré budú pokryté z batérie za účelom finančnej úspory a to sú v tomto prípade intervaly 16:00-22:00. Tieto priebehy sú viditeľné na Obr. 3.12 a Obr. 3.13.

| Hodinový interval | Prebytková / nedostatková energia [kWh] | Cena spotovej energie [€/MWh] | Cena za nákup energie [€] |
|-------------------|---|-------------------------------|---------------------------|
| 0-1 | -1.872 | 87.48 | 0.225 |
| 1-2 | -1.759 | 69.81 | 0.180 |
| 2-3 | -2.153 | 66.37 | 0.213 |
| 3-4 | -1.881 | 64.41 | 0.183 |
| 4-5 | -1.779 | 62.04 | 0.305 |
| 5-6 | -2.323 | 62.36 | 0.221 |
| 6-7 | -1.792 | 69.59 | 0.332 |
| 7-8 | -2.04825641 | 87.06 | 0.415 |
| 8-9 | -2.409 | 102 | 0.525 |
| 9-10 | -2.592 | 99.39 | 0.558 |
| 10-11 | -1.200 | 100.25 | 0.259 |
| 11-12 | 1.51 | 94.83 | 0 |
| 12-13 | 4.921 | 90.27 | 0 |
| 13-14 | 0.545 | 84.19 | 0 |
| 14-15 | -0.15 | 83.42 | 0.0306 |
| 15-16 | -1.162 | 86.9 | 0.073 |
| 16-17 | -2.206 | 93.45 | 0.462 |
| 17-18 | -2.905 | 100 | 0.627 |
| 18-19 | -1.768 | 105.62 | 0.391 |
| 19-20 | -2.093 | 112.59 | 0.478 |
| 20-21 | -2.249 | 110.75 | 0.509 |
| 21-22 | -2.114 | 103.39 | 0.463 |
| 22-23 | -1.949 | 93.32 | 0.246 |
| 23-0 | -1.74 | 90.94 | 0.216 |

Tab. 3.2: Ceny za nákup energie na začiatku dňa 15.1.2024 a množstvo potrebnej energie



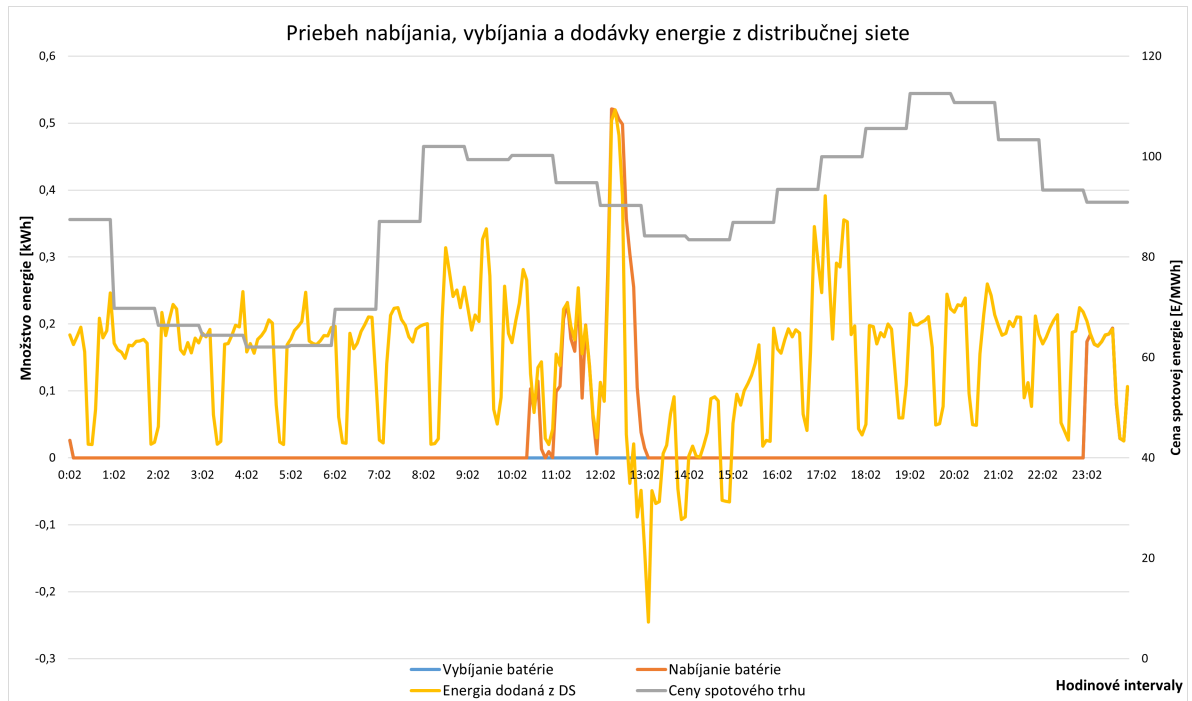
Obr. 3.12: Graf zobrazujúci priebeh nabíjania a vybíjania batérie počas dňa v optimalizovanej variante



Obr. 3.13: Graf zobrazujúci dodávanú energiu zo siete a z fotovoltaiky v závislosti na cene spotového trhu v optimalizovanej variante

Narozdiel od optimalizovanej varianty sa v neoptimalizovanej variante Obr. 3.14

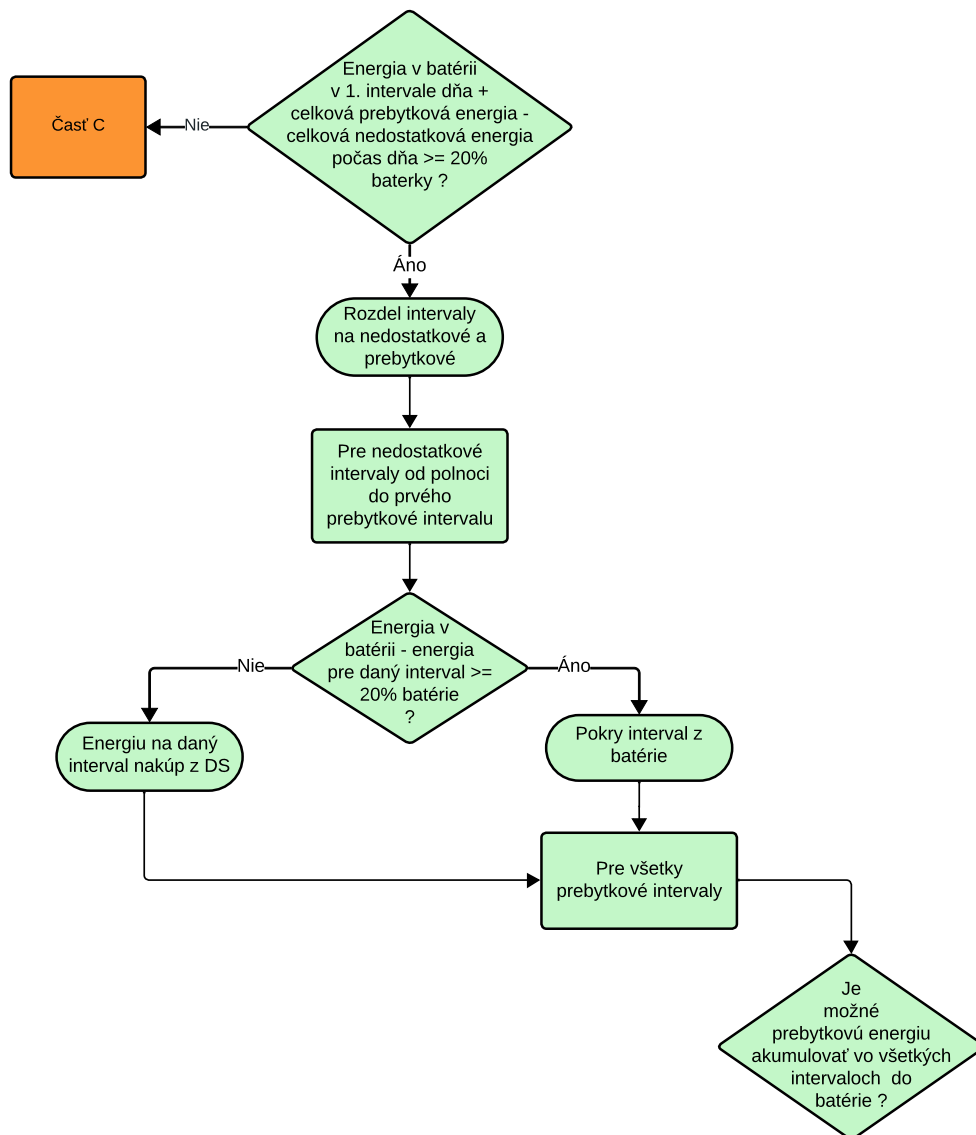
ukazuje to, že energia bola z distribučnej siete nakupovaná v dobe potreby, to znamená, že aj v najdrahších intervaloch a batéria nebola nabíjaná v najlacnejšom intervale. Záverom je možné zhodnotiť, že pri optimalizovanej variante bola výsledná cena energie 4,78€ zatiaľčo neoptimalizovaná varianta 6,85€.



Obr. 3.14: Graf zobrazujúci priebeh distribúcie energie v neoptimalizovanej variante

3.1.5 Algoritmus E

Algoritmus E nastáva v prípade ak je možné s batériou v kombinácii s prebytkami pokryť celkovú spotrebu dňa stým, že na konci dňa ostane v batérii viac ako 20 %. Výnimka môže nastať jedine v prípade ak by bola batéria príliš vybitá v nočných hodinách od polnoci po dobu prvého prvého prebytkového intervalu, a pokrytie intervalu z batérie by znamenalo jej pokles pod 20 % kapacity. V týchto intervaloch teda nastáva kontrola toho či je možné interval pokryť z batérie alebo nie.

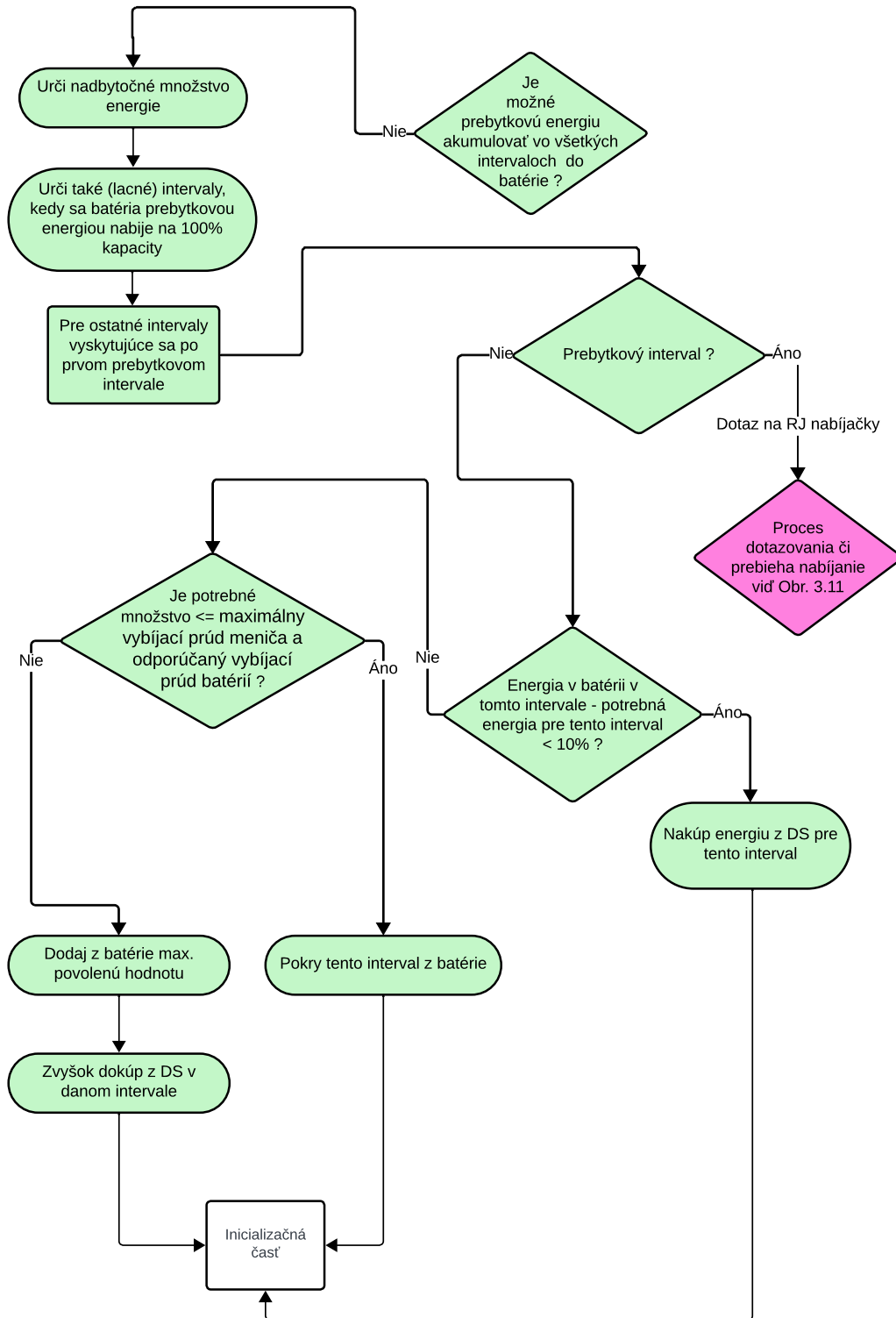


Obr. 3.15: Prvotná časť algoritmu E

Po prejdení týchto intervalov sa skúma či je možné akumulovať do batérie všetku prebytkovú energiu, ktorá počas dňa nastáva. Toto sa overí výpočtom, kedy sa spočítajú všetky hodnoty prebytkovej aj prípadnej nedostatkovej energie, ak sa takýto nedostatkový interval vyskytne v čase od prvého prebytkového intervalu až po posledný prebytkový interval. Výpočet sa počíta len do posledného prebytkového intervalu, aby bolo zaručené to, že sa skutočne prebytky do batérie dajú. Výsledok sa následne porovná s maximálnou kapacitou batérie. Ak by sa totiž počítalo až do konca dňa, stalo by sa, že by podľa výpočtu bolo možné akumulovať všetku energiu do batérií avšak realita by bola iná a následne by sa musela riešiť situácia o predaji,

čo môže komplikovať situácia so záporným spotovým intervalom, ale najmä ide o to, že cieľom je maximálne využitie vyrobenej energie.

V prípade ak nebude možné všetku prebytkovú energiu akumulovať do batérie, tak sa algoritmus dostáva do časti, kedy musí rozhodnúť, tak aby sa batéria z prebytkov nabíjala v najlacnejších možných spotových intervaloch a zbytok bol smerovaný do batérie elektromobilu alebo iného akumuláčného prvku. Ak takýto prvok nie je pripojený, tak zvyšok energie bude predaný do siete v najdrahšom možnom intervale. Zároveň je ošetrované, aby sa nepredal do siete zvyšok energie v prípade, ak je spotový interval záporný. V tomto prípade algoritmus už dopredu vie, kedy je interval záporný a tento predaj zakáže. Po dokončení tohto procesu sa pokračuje ďalej v algoritme E. Tento proces je zobrazený na Obr. 3.11. Keď už je stanovené čo sa má robiť s prebytkami energie, je potrebné určiť ako sa bude algoritmus chovať k intervalom s nedostatkovou energiou. Tieto intervaly sa budú pokrývať z batérie, avšak stále je potrebná kontrola toho, aby batéria pri pokrývaní intervalu neklesla pod 10 % svojej kapacity a zároveň, aby nebolo prekročené maximálne množstvo, ktoré môže dodávať. V opačnom prípade sa musí zvyšok potrebnej energie dokúpiť z distribučnej siete. Táto časť je zobrazená na Obr. 3.16 pričom proces nabíjania je zobrazený fialovým štvorhulníkom, ktorý je detailne rozpísaný na Obr. 3.11.



Obr. 3.16: Časť algoritmu E pri stave nemožnosti akumulácie celého množstva energie

V opačnom prípade ak je akumulácia prebytkového množstva do batérie, tak ná-

sledne nastávajú 3 varianty, pričom sa v každom prípade prepočíta celková úspora zo všetkých troch a následne sa vyberie tá najlacnejšia varianta. Konkrétne sa jedná o to, že prebytková energia sa bude predávať priamo do distribučnej siete v danom intervale (E_{cC}) alebo sa naopak bude energia akumulovať v batérii a následne sa predá doterajšia naakumulovaná energia v najdrahšom spotovom intervale (E_{cB}), alebo posledná možnosť, kedy sa prebytková energia bude len akumulovať a dodávať počas nedostatkových intervalov (E_{cA}). Varianta čistej akumulácie je hľadiska ceny baterky aj ceny úspory stredná varianta, avšak na konci dňa ostane najvyššia kapacita batérie spomedzi týchto troch. Varianta akumulácie energie a následného predaju v najdrahšom intervale je síce najdrahšie na cyklus batérie, avšak na základe prepočítaných dní, toto riešenie vychádza v 90 % prípadov najlacnejšie. Varianta predaja prebytkov priamo v intervale, kedy prebytok nastáva je naopak najlacnejšie z pohľadu minutého cyklu batérie, nakoľko energia z fotovoltaiiky odchádza priamo do distribučnej siete a vôbec nejde do batérie, čím sa nemíňa cyklus batérie. Na druhej strane nie je dodržaná základná myšlienka algoritmu, a teda nevyužije sa maximum energie. Varianta akumulácie energie je z hľadiska minutého cyklu batérie a ceny stredná cesta. Z Obr. 3.17 je vidieť, že tieto procesy sa prepočítavajú paralelne. Znamená to, že v prípade výskytu prebytkového intervalu sa rieši okamžitý predaj prebytkov, pred samotným predajom ešte dochádza ku kontrole či akútálny spotový interval nie je záporný, nakoľko v tom prípade je predaj zakázaný. Ak je interval kladný, tak sa počíta cena zárobku za tento predaj. Zároveň sa tým procesom kontroluje či aktuálne prebytkové množstvo nie je vyššie ako maximálne dovolené množstvo, ktoré sa môže akumulovať do batérie za jednu hodinu. V prípade, že je množstvo menšia ako maximálne, tak sa v taktom prípade energia akumuluje do batérie a bude sa platiť len za spotrebovaný cyklus batérie. Zároveň s týmto procesom prebieha hľadanie najdrahšieho intervalu počas dňa, na ktorý sa následne naplánuje predaj dovedy naakumulovanej energie do batérie. Po prvotnej predpovedi nastávajúcej o polnoci sa každý z týchto troch variant prepočíta a následne sa vyberie tá varianta, ktorá výjde ako najlacnejšia a tým spôsobom sa bude pracovať s prebytkami energie, pokiaľ na základe 5 minútového prepočtu nepríde k inému rozhodnutiu.

3.1.6 Zhodnotenie algoritmu na základe prepočítaných údajov

Algoritmus bol podrobený spätnému testovaniu na dňoch, z ktorých boli zozbierané dáta o spotrebe a výrobe. Vzorka dní bola vybraná tak, aby boli prepočítané dni z každého ročného obdobia a mesiaca. Bolo to z dôvodu aspoň čiastočného podchytenia variability spotreby objektu zapríčinenú počasím a ročným obdobím. Na základe navrhnutého algoritmu, boli tieto dni prepočítané tak, ako keby bol v objekte implementovaný riadiaci algoritmus. Na základe výsledkov je vidieť, že algoritmus je úspornejší v každom dni, avšak v niektorom prípade je úspora menšia, niekedy vyššia. Najvyššiu úsporu dosahuje v letných mesiacoch vďaka efektívnemu pracovaniu s prebytkami elektrickej energie. Algoritmus, najmä v zimných mesiacoch, batériu vybíja až na úroveň 20 % za účelom najvyššej úspory, avšak napríklad tento parameter je možné v algoritme upraviť, tak aby bolo cieľom ponechať v batérii vyššie množstvo energie za účelom nižšieho cyklu batérie a pre vyššiu kapacitu batérie na ďalší deň. Výsledky sú uvedené v Obr. 3.18.

| Deň | Algoritmus | NEOPTIMALIZOVANÉ | | | | OPTIMALIZOVANÉ | | | |
|--------|------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | | Cena [€] | Počiatkový stav batérie [%] | Konečný stav batérie [%] | Minutý cyklus batérie | Cena [€] | Počiatkový stav batérie [%] | Konečný stav batérie [%] | Minutý cyklus batérie |
| 1.1 | A | 3,64 | 92 | 88 | 0,2 | 2,45 | 92 | 22,5 | 0,87 |
| 8.1 | A | 13,93 | 66 | 33,3 | 0,33 | 12,85 | 66 | 21,73 | 1,1 |
| 15.1 | C | 6,85 | 45 | 89 | 0,65 | 4,78 | 45 | 22,7 | 1,34 |
| 15.2 | C | 8,15 | 11 | 8 | 1,21 | 6,83 | 11 | 21,7 | 1,66 |
| 4.3 | E | 0,33 | 20 | 11 | 1,59 | -0,153 | 20 | 26,65 | 1,54 |
| 11.3 | C | 1,76 | 11 | 11 | 1,78 | 1,61 | 11 | 31,6 | 1,57 |
| 18.3 | C | 4,585 | 11 | 11 | 1,78 | 3,74 | 11 | 21,1 | 1,69 |
| 3.4 | E | -0,54 | 20 | 20 | 1,6 | -0,89 | 20 | 57,6 | 1,23 |
| 8.4 | E | 2,09 | 10 | 100 | 0,92 | 0,11 | 10 | 32,5 | 1,57 |
| 13.4 | E | 3,18 | 29 | 100 | 0,75 | 0,83 | 29 | 36 | 1,48 |
| 17.5 | A | 6,62 | 20 | 20 | 0,75 | 5,93 | 20 | 22 | 1,58 |
| 25.5 | C | 4,99 | 20 | 32 | 1 | 4,92 | 20 | 24,6 | 1,54 |
| 31.5 | C | 5,11 | 32 | 20 | 1,72 | 4,697 | 32 | 21,73 | 1,59 |
| 3.6 | E | 1,47 | 46 | 100 | 1,72 | 0,59 | 46 | 92,4 | 1,01 |
| 10.6 | E_cA | 0,44 | 63 | 93 | 0,62 | 0,414 | 63 | 85 | 0,7 |
| 10.6 | E_cB | | | | | 0,195 | 63 | 43 | 1,13 |
| 10.6 | E_cC | | | | | -0,004 | 63 | 41,5 | 0,3 |
| 12.7 | E_cA | 0,24 | 86 | 88 | 0,42 | 0,31 | 86 | 88,5 | 0,52 |
| 12.7 | E_cB | | | | | -0,23 | 86 | 62 | 0,78 |
| 12.7 | E_cC | | | | | -0,25 | 86 | 60 | 0,23 |
| 14.8 | E_cA | 0,21 | 92 | 88 | 0,35 | 0,21 | 92 | 91 | 0,35 |
| 14.8 | E_cB | | | | | -0,145 | 92 | 72,5 | 0,54 |
| 14.8 | E_cC | | | | | -0,179 | 92 | 72,5 | 0,17 |
| 10.9 | E | 0,48 | 84 | 74 | 0,81 | 0,44 | 84 | 72,8 | 0,8 |
| 16.10 | C | 8,97 | 11 | 15 | 1,74 | 8,07 | 11 | 23,7 | 1,69 |
| 13.11. | C | 9,13 | 30 | 30 | 1,4 | 8,88 | 30 | 22 | 1,48 |
| 14.11 | C | 2,07 | 30 | 11 | 1,59 | 1,52 | 30 | 22,1 | 1,44 |
| 24.12 | A | 3,767 | 36 | 30 | 0,06 | 3,53 | 30 | 22 | 1,43 |

Obr. 3.18: Zhrnutie výsledkov po prepočítaní historických dát

3.2 Predikcia spotreby elektrickej energie

V snahe o predikovanie spotreby elektrickej energie v jednotlivých hodinových intervaloch na nasledujúci deň, boli uvažované dáta o spotreba za posledných 21 dní. Toto množstvo dní bolo zvolené preto, lebo portál, odkiaľ sa tieto dáta sťahujú, neumožňuje u vyššieho počtu dní intervaly po jednej hodine. Práve údaje o jednej hodine sú dôležité z hľadiska celého návrhu algoritmu. Spotrebu pokrýva buďto energia nakúpená z distribučnej siete, energia priamo spotrebovaná z fotovoltickej elektrárne alebo energia, ktorá je do domu dodávaná z batérie. Tieto údaje boli zoradené podľa dátumov a následne im podľa aktuálnosti bola priradená váha. Najstaršie dni majú pridelenú váhu 0,4 a následne váha lineárne rastie, až sa dostane na hodnotu 1, ktoré majú najnovšie dni. Hodinový interval bol rozdelený ešte ďalej na 5 minútové intervaly a každý 5 minútový interval bol vynásobený príslušnou váhou.

Následne boli všetky dáta spriemerované a následne podľa spočítaná z týchto dát predikovaná spotreba elektrickej energie v jednotlivých hodinách. Predikcia bola stanovená na dni 28.04.2024-30.04.2024. Následne boli tieto dáta porovnané s reálnymi nameranými dátami. Toto porovnanie pre hodinové intervaly pre deň 28.04.2024 je na zobrazené na Obr. 3.19.

| Predikovaný prebytok / nedostatok energie v hodinových intervaloch 28.4.2024 | Reálny prebytok / nedostatok v hodinových intervaloch 28.4 [kWh] | Rozdiel medzi predpovedanou a reálnou |
|---|---|--|
| -1,247 | -1,217 | 0,029 |
| -1,052 | -1,142 | -0,090 |
| -0,821 | -1,147 | -0,326 |
| -0,900 | -1,123 | -0,223 |
| -1,098 | -1,304 | -0,206 |
| -1,267 | -0,995 | 0,272 |
| -0,638 | -1,217 | -0,579 |
| 1,029 | 2,643 | -1,614 |
| 3,676 | 1,886 | 1,790 |
| 5,990 | 7,856 | -1,866 |
| 7,927 | 0,181 | 7,745 |
| 8,997 | 3,612 | 5,385 |
| 8,896 | 0,710 | 8,185 |
| 6,369 | 0,069 | 6,300 |
| 3,033 | -0,950 | 3,982 |
| 0,424 | 1,322 | -0,898 |
| 0,827 | 0,685 | 0,142 |
| 1,349 | -0,428 | 1,777 |
| 0,943 | 0,087 | 0,856 |
| -0,964 | -0,148 | 0,817 |
| -1,597 | -0,658 | 0,939 |
| -2,170 | -1,448 | 0,722 |
| -2,152 | -2,091 | 0,060 |
| -1,441 | -0,799 | 0,642 |

Obr. 3.19: Porovnanie predikovaných dát s reálnymi

Algoritmus bol realizovaný na deň 28.4. Na začiatku sa na základe predikovaných hodnôt určilo, aký algoritmus bude aplikovaný na tento deň. Na základe množstva predikovanej prebytkovej energie sa jedná o algoritmus E, nakoľko prvá podmienka v tomto algoritme vid' Obr. 3.15 vyšla ako pravdivá. Výsledok súčtu je 49,14 kWh. Znamená to teda, že algoritmus predikuje to, že takéto množstvo energie ostane na konci k dispozícii. To zároveň znamená, že ak sa v algoritmus posunie ďalej, zistí, že nie je možné akumulovať energiu do batérie počas celého dňa, a preto bude musieť energiu predávať do distribučnej siete vid' Obr. 3.16. Najskôr sa ale určí, v ktorých prebytkových intervaloch sa bude batéria nabíjať a naopak kedy sa bude vybíjať, aby bola dosiahnutá čo najvyššia finančná úspora. Pri tomto hľadaní riešenia

zároveň algoritmus narazí na skutočnosť, že počas dňa nastávajú aj záporné spotové intervaly, a teda nebude možný predaj prebytkov v týchto intervaloch. Pokiaľ už bude batéria nabitá a pokrytá spotreba domu, tak sa táto energia nemôže prijať. Práve na tieto intervaly je vhodné naplánovať pripojenie energeticky náročných spotrebičov, ako to bolo spomenuté v podkapitola 3.1. Ak sa od tohto množstva odčíta plná kapacita batérie tak sa jedná o 33,64 kWh, to znamená, že sa v prvej iterácii počíta tým, že toto množstvo je potrebné predať do distribučnej siete. Tento údaj sa ale môže zmeniť na základe reálnych dát.

Následne po začatí odberu energie sa začne prepočet po každých 5 minútach. Algoritmus po každých 5 minútach porovnáva reálnu hodnotu s predikovanou. Ako príklad v prvom intervale si po každých 5 minútach bude algoritmus pričítavať malé množstvo energie, ku predikovanej hodnote energie, ktorá má na konci ostať. Ako je vidieť z Obr. 3.19, algoritmus po prvom intervale pripočíta k hodnote 49,14kWh hodnotu 0,029kWh, nakoľko predikcia bola vyššia než reálna spotreba. Následne by algoritmus týmto istým spôsobom pokračoval ďalej, a teda buď iba energiu pričítaval ku koncovej predikovanej hodnote alebo naopak odpočítaval. Priebeh celého dňa je vidieť na Obr. 3.20. Z tabuľky je vidno, že reálna spotreba, respektíve výroba bola v priebehu dňa značne odlišná od predikovanej hodnoty. Avšak v žiadnom okamihu by neklesla predikovaná koncová hodnota pod hodnotu 20 %, čo znamená, že algoritmus nemá dôvod sa počas celého dňa meniť, a preto stále ostane riadiť algoritmus E s navrhnutým rozvrhom nabíjania, vybíjania a predaja. Samozrejme zmena by nastala, ak by sa do siete pripojila nejaká veľká záťaž, avšak to nie je prípadom tohto dňa.

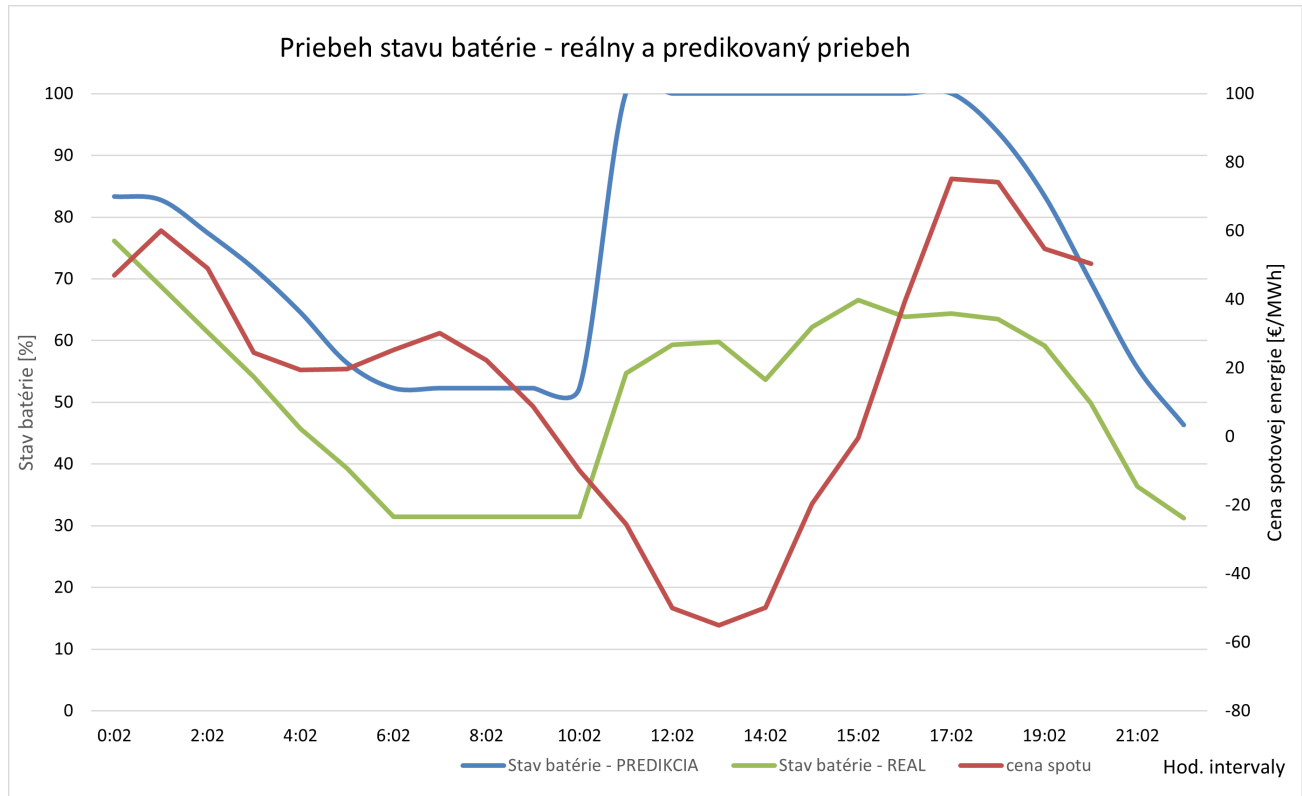
| Hodinový interval | Predikovaný prebytok / nedostatok energie v hodinových intervaloch 28.4.2024 [kWh] | Reálny prebytok / nedostatok v hodinových intervaloch 28.4 [kWh] | Rozdiel medzi predpovedanou a reálnou [kWh] | Ceny spotových o trhu | Úprava celkovej predikovanej hodnoty prebytkovej energie, na základe reálnych dát [kWh] | Energia v batérii po pokrývaní reálnych dát [kWh] | Stav batérie [%] |
|-------------------|--|--|---|-----------------------|---|---|------------------|
| 0 | -1,247 | -1,217 | 0,029 | 46,97 | 49,165 | 11,803 | 76,15 |
| 1 | -1,052 | -1,142 | -0,090 | 60,06 | 49,075 | 10,660 | 68,78 |
| 2 | -0,821 | -1,147 | -0,326 | 49,07 | 48,749 | 9,514 | 61,38 |
| 3 | -0,900 | -1,123 | -0,223 | 24,41 | 48,526 | 8,390 | 54,13 |
| 4 | -1,098 | -1,304 | -0,206 | 19,4 | 48,320 | 7,086 | 45,72 |
| 5 | -1,267 | -0,995 | 0,272 | 19,77 | 48,593 | 6,092 | 39,30 |
| 6 | -0,638 | -1,217 | -0,579 | 25,32 | 48,014 | 4,874 | 31,45 |
| 7 | 1,029 | 2,643 | 1,614 | 30,18 | 49,628 | 4,874 | 31,45 |
| 8 | 3,676 | 1,886 | -1,790 | 35,26 | 47,838 | 4,874 | 31,45 |
| 9 | 5,990 | 7,856 | 1,866 | 22,34 | 49,704 | 4,874 | 31,45 |
| 10 | 7,927 | 0,181 | -7,745 | 8,8 | 41,959 | 4,874 | 31,45 |
| 11 | 8,997 | 3,612 | -5,385 | -0,02 | 36,573 | 8,486 | 54,75 |
| 12 | 8,896 | 0,710 | -8,185 | -9,88 | 28,388 | 9,197 | 59,33 |
| 13 | 6,369 | 0,069 | -6,300 | -25,55 | 22,088 | 9,266 | 59,78 |
| 14 | 3,033 | -0,950 | -3,982 | -50 | 18,105 | 8,316 | 53,65 |
| 15 | 0,424 | 1,322 | 0,898 | -55,01 | 19,003 | 9,638 | 62,18 |
| 16 | 0,827 | 0,685 | -0,142 | -49,91 | 18,861 | 10,322 | 66,59 |
| 17 | 1,349 | -0,428 | -1,777 | -19,52 | 17,084 | 9,894 | 63,83 |
| 18 | 0,943 | 0,087 | -0,856 | -0,35 | 16,227 | 9,981 | 64,39 |
| 19 | -0,964 | -0,148 | 0,817 | 39,35 | 17,044 | 9,833 | 63,44 |
| 20 | -1,597 | -0,658 | 0,939 | 75,23 | 17,983 | 9,175 | 59,19 |
| 21 | -2,170 | -1,448 | 0,722 | 74,16 | 18,705 | 7,727 | 49,85 |
| 22 | -2,152 | -2,091 | 0,060 | 54,75 | 18,765 | 5,636 | 36,36 |
| 23 | -1,441 | -0,799 | 0,642 | 50,38 | 19,407 | 4,837 | 31,21 |

Obr. 3.20: Stav batérie počas dňa pri uvažovaní odchýlky reálnych dát od predikovaných

Na základe znalosti o spotovom trhu bol algoritmom naplánovaný predaj prebytkov na intervaly 07:00-11:00, zvyšnou energiou sa batéria nabije naplno a zvyšná energia sa už neprijme a po výskyte nedostatkových intervalov budú tieto intervaly pokrývané z batérie, tak ako je uvedené na Obr. 3.16.

Táto predpoveď, ale nemôže byť splnená, nakoľko reálna spotreba a výroba je iná ako predikovaná, a teda algoritmus v reálnom svete sa drží predaja v dohodnutých intervaloch, avšak batériu už nedokáže nabiť naplno, nakoľko prebytky energie sú výrazne menšie a zároveň sa v reálnom svete nemusí riešiť problém neprijímania energie z fotovoltaickej elektrárne z dôvodu záporného spotového intervalu. Z toho dôvodu teda energiu akumuluje vo všetkých prebytkových intervaloch do batérie a v prípade výskytu nedostatkového intervalu sa tento interval pokryje z batérie, ak je na to dostatok energie a ako je možné vidieť na Obr. 3.16, tak energie bolo dostatok a batérie počas celého dňa neklesla pod 20 % kapacity. Na Obr. 3.21 sú zobrazené krivky vykresľujúce stav batérie počas dňa spoločne s krivkou ukazujúcou hodnoty spotového trhu. Je viditeľné, že počas záporných intervalov sa obe batérie nabíjajú. Pri predikovanom variante sa batéria rýchlo nabije na plnú kapacitu a následne sa batéria ostáva v stave plného nabitia, nakoľko spotrebu domu plno pokrýva energia z fotovoltaickej elektrárne a zvyšná časť energie z fotovoltaickej elektrárne sa už

ani nesmie použiť a ani predať do siete. Naproti tomu pri reagovaní algoritmu na reálne spotrebu sa batérie môže nabiť doplna pozvoľnejšie. Z hľadiska financií bola nakúpená energia počas neoptimalizovanej varianty ocenená na sumu 0,87€ a bol použitý cyklus batérie bol 0,9. Pri optimalizovanej variante bola cena 0,65€ a použitý batériový cyklus bol 1,39.



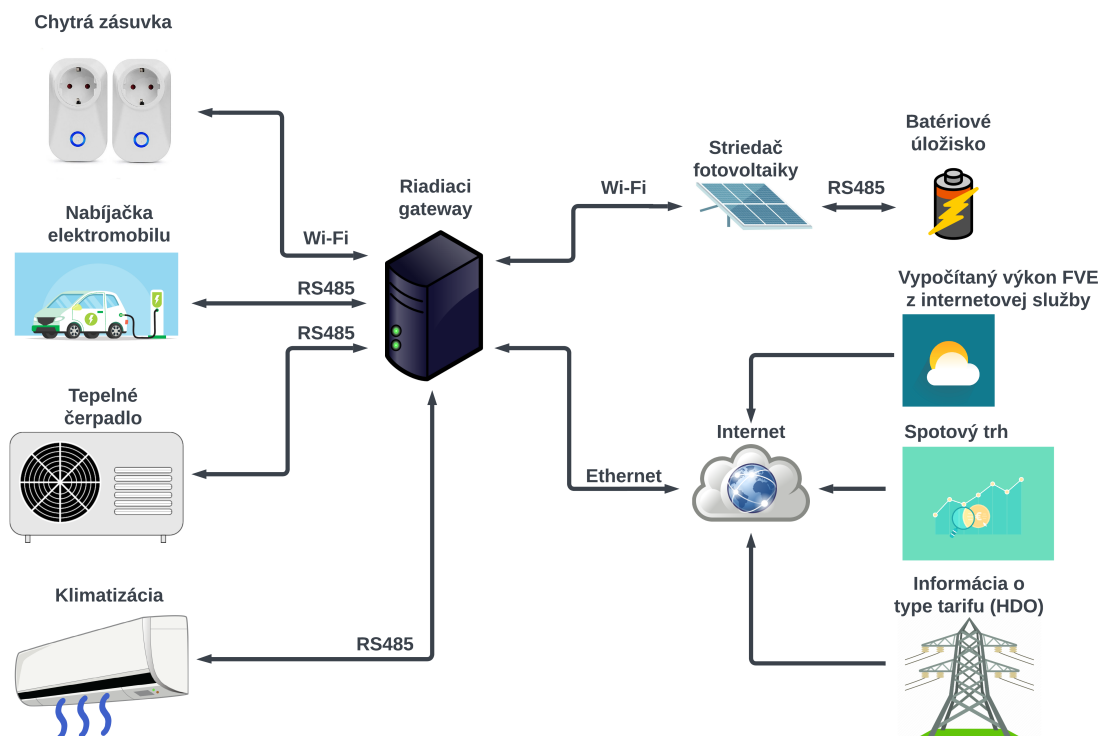
Obr. 3.21: Stav batérie v priebehu dňa pri uvažovaní odchýlok reálnych dát od predikovaných

3.3 Riadiaca jednotka

Po zvážení kladov a záporov bola ako riadiaca jednotka systému navrhnuté PLC Unipi Patron S117 [61]. Tento model bol porovnaný s viacerými PLC od spoločnosti Unipi, najviac však s modelom Unipi Patron S167 LTE. Tieto dve komponenty sú z hľadiska výkonnosti procesora a pamäte RAM rovnaké. Taktiež sú rovnaké aj z hľadiska počtu analógových vstupov / výstupov a digitálnych vstupov / výstupov. Taktiež obe disponujú 100 Mbit Ethernetovým portom, avšak hlavný dôvod pre vybranie jednotky Unipi Patron S117 je jej vybavenosť až štyrmi RS-485 rozhraniami, ktoré sú dôležité práve pre komunikáciu s ostatnými zariadeniami ako je napríklad nabíjačka elektromobilu, menič fotovoltaiiky atď. Návrh architektúry

siete je na Obr. 3.22. Na obrázku je práve vidieť pripojenie do internetu, odkiaľ riadiaca jednotka získava dáta o produkcii fotovoltaiky alebo spotových cenách, rovnako tak je ale vidno komunikáciu s ostatnými zariadeniami práve cez štandard RS-485. Jednotka ďalej obsahuje aj svorky pre pripojenie 1-Wire zbernice, ktorá slúži pre vyčítanie údajov o teplote. Napájacie napätie jednotky je 24 V DC, čo poskytuje voľnosť pri výbere napájacieho zdroja. Napájací zdroj môže byť ideálne zálohovateľný spoločne s kombináciou s batériami. Ako príklad napájacieho zálohovateľného zdroja bol vybraný typ DELTA PMU-27V155WCCA [62]. Tento zdroj je zálohovateľný poskytuje ešte veľkú výkonovú rezervu v prípade rozšírenia zbernice v budúcnosti. Riadiaca jednotka sa podľa [62] predáva za 13990Kč s DPH.

Z hľadiska softvérového možností jednotka umožňuje vzdialenú správu, monitoring a jednoduché a prehľadné vývojové prostredie. Jednotka je založená na linuxovom jadre a implementáciu algoritmu je možné realizovať v akomkoľvek programovacom jazyku [61].



Obr. 3.22: Logická topológia siete znázorňujúca riadiacu jednotku a komunikáciu so zariadeniami v domácnosti

Záver

V prvej kapitole tejto práce došlo k teoretickému predstaveniu a popísaniu funkcie energeticky náročných zariadení, ktoré je možné nainštalovať do objektu. Takisto bola popísaná možnosť ich efektívnejšieho riadenia. V ďalšej časti tejto práce boli popísané nadradené riadiace systémy, ktoré sa v dnešnej dobe bežne používajú a sú veľmi známe najmä na Slovensku a v Čechách. K týmto systémom bol popísaný princíp ich funkcie, robustnosť systému a finančná a časová náročnosť inštalácie.

V druhej kapitole boli predstavené zdroje obnoviteľnej energie a jednotlivé zariadenia, ktoré na danom type obnoviteľnej energie pracujú. V tejto kapitole boli teda dané elektrárne pracujúce s obnoviteľnými zdrojmi energie popísané všeobecne a následne bol pri každom type kladený dôraz na popísanie jeho využitia na rodinných domoch. Taktiež bol zámer, aby bol tento popis čo najviac prínosný, a teda aby boli prezentované údaje o počiatkovej investícii, možnom ušetrení financií, návratnosti a redukcii oxidu uhličitého. Z toho dôvodu boli v tejto kapitole zozbierané údaje z rôznych existujúcich štúdií, ktoré boli zamerané na efektívne využitie obnoviteľných zdrojov v rodinných domoch alebo mierne väčších objektoch.

V nasledujúcej časti bola najskôr popísaná myšlienka riadiaceho optimalizačného algoritmu, pričom podstatou je využívanie maximálneho množstva energie vyrobenej z fotovoltaickej elektrárne. Následne bola predstavená štruktúra algoritmu, kde sa začalo postupne od jednoduchej blokovej schémy Obr. 3.2. Táto schéma predstavujú základnú štruktúru algoritmu. Následne boli rozoberané detailne jednotlivé bloky tejto schémy, pričom bolo popísané, aké údaje každá časť obsahuje a hlavne z akého dôvodu je potrebné, aby algoritmus mal povedomie o týchto hodnotách. Každá časť algoritmu bola detailne vysvetlená slovne a taktiež aj graficky formou vývojového diagramu alebo grafickej závislosti zobrazujúcej priebeh a distribúciu energiu počas dňa v optimalizovanej variante. K tomuto bol ukázaná ako protiklad neoptimalizovaná varianta a boli popísané zásadné rozdiely a dôvody prečo má zmysel realizovať optimalizáciu podľa navrhnutého algoritmu. Bola vypracovaná predikcia spotreby energie na jednotlivé hodinové intervaly na dni 28.04.2024-30.04.2024. Následne pred deň 28.4 bola vykonaná predpoveď pre distribúciu energie a následne bola korigovaná na základe zmien podľa reálnych dát. V tomto dni vyšla finančná úspora 0,22€. Algoritmus bol spätne testovaný na historických dátach na vzorke 22 dní, pričom v každom tomto dni vyšiel ako finančne úsporný. V niektorých prípadoch bolo okrem veľkej finančnej úspory a docielené aj minútne ešte menšieho cyklu batérie než v neoptimalizovanej variante. Na záver bol urobený výber riadiacej jednotky postavenej na linuxovom jadre. Po zvážení faktov bola vybraná jednotka Unipi Patron S117.

Literatúra

- [1] MACDONALD, Mott. *Safety of Smart Domestic Appliances: A review of the safety risks of time-shifting and internet connectivity*. Online. In: Birmingham, 2022, s. 52. Dostupné z: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1139549/safety-of-smart-domestic-appliances-part-1.pdf [cit. 2023-12-10].
- [2] *Palubní nabíječka elektromobilů a informace: Nabíječka?*. Online. In: EVEXPERT, 2022. Dostupné z: <<https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/palubni-nabijecka-elektromobilu> [cit. 2023-12-10].
- [3] *AC/DC nabíjení u elektromobilů a jejich rozdíl*. Online. In: EVEXPERT, 2022. Dostupné z: <<https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/ac-dc-nabijeni> [cit. 2023-12-10].
- [4] PIRČ, Peter. *Úvod do tepelných čerpadel*. Online. In: ZSE, 2022. Dostupné z: <<https://www.zse.sk/blog-clanok-uvod-do-tepelnych-cerpadel> [cit. 2023-12-10].
- [5] *Geothermal Heat Pumps*. Online. In: U.S DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Saver, 2022. Dostupné z: <<https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps> [cit. 2023-12-10].
- [6] VISHNUBHOTLA, Valli. *Air to Water Heat Pump in the UK*. Online. In: GREENMATCH. GreenMatch. 2023. Dostupné z: <<https://www.greenmatch.co.uk/air-source-heat-pump/air-to-water>. [cit. 2023-12-10].
- [7] FOURNIER, Stephannie. *What is a water-to-water heat pump?*. Online. In: ARANER. Dostupné z: <<https://www.araner.com/blog/what-is-a-water-to-water-heat-pump>. [cit. 2023-12-10].
- [8] *Tepelná čerpadla testy a srovnání*. Online. In: GT ENERGY S.R.O. Abeceda čerpadel. Dostupné z: <<https://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/testy-a-srovnani>. [cit. 2023-12-10].
- [9] CHHUGANI, Bharat; PÄRISCH, Peter; HELMLING, Sebastian a GIOVANNETTI, Federico. *Comparison of PVT - heat pump systems with reference systems for the energy supply of a single-family house*. Solar Energy Advances, Online. In: Science Direct, 2023. s. 15. ISSN 2667-1131. Dostupné z: <<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seja.2022.100031>. [cit. 2023-12-10].

- [10] *How Does Air Conditioning Work?* Online. In: HOWARD AIR. Howard Air, 2023. Dostupné z: <<https://howardair.com/how-does-air-conditioning-work/>>. [cit. 2023-12-10].
- [11] LOXONE. *Loxone Group*. Online. LOXONE. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/enen/about-us/loxone-group/>>. [cit. 2023-12-10].
- [12] *10 reasons for automation in buildings with Loxone*. Online. In: LOXONE. 2020. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/enus/blog/10-reasons-building-automation/>>. [cit. 2023-12-10].
- [13] *Miniserver & Miniserver Go: Centrum pro vaše automatizační projekty a úkoly řízení všeho druhu*. Online. In: LOXONE. 2020. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/cscz/produkty/miniserver-extensions/technika/>>. [cit. 2023-12-10].
- [14] *Cena inteligentní elektroinstalace*. Online. In: LOXONE. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/inteligentni-domacnost-cena/>>. [cit. 2023-12-10].
- [15] SUGDEN, Jacob. *Energy Efficient Berkshire Home*. Online. In: LOXONE. Loxone. 2022. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/enen/blog/energy-efficient-berkshire-home/>>. [cit. 2023-12-10].
- [16] *Kolik stojí kWh energie*. Online. In: E.ON. E.ON. Dostupné z: <<https://www.eon.cz/radce/energie/ceny-energie/kolik-stoji-kwh-energie/>>. [cit. 2023-12-10].
- [17] *Datasheet: Miniserver Part No: 100335*. Online. In: LOXONE. Loxone. Dostupné z: <https://www.loxone.com/wp-content/uploads/datasheets/Datasheet_Miniserver_100335.pdf>. [cit. 2023-12-10].
- [18] *KNX: The Standard in Home and Building System Technology*. Online. In: WAGO. Wago. Dostupné z: <<https://www.wago.com/ae/knx>>. [cit. 2023-12-10].
- [19] *What is KNX?: KNX - simply more flexible and future-proof*. Online. In: THEBEN. Theben. Dostupné z: <<https://www.theben.de/solutions-en-gb/knx-solutions/what-is-knx/>>. [cit. 2023-12-10].
- [20] BERGANT, Nika. *KNX cable: Why and how?* Online. In: 1HOME. 1HOME. 2021. Dostupné z: <<https://www.1home.io/blog/knx-cable-why-and-how/>>. [cit. 2023-12-10].

- [21] *O společnosti Teco a.s.* Online. In: TECO A.S. Tecomat. C2022. Dostupné z: <<https://www.tecomat.cz/about-us/about-company/>>. [cit. 2023-12-10].
- [22] *TECOMAT FOXTROT: PROGRAMMABLE CONTROLLERS.* Online. In: TECO. August 2011. Dostupné z: <<https://docplayer.net/7935290-Tecomat-foxtrot-programmable-controllers.html>>. [cit. 2023-12-10]
- [23] *Energy Systems: Renewables.* Online. In: IEA. Iea. 2023. Dostupné z: <<https://www.iea.org/energy-system/renewables#overview>>. [cit. 2023-12-10].
- [24] *Renewable Energy.* Online. In: U.S DEPARTMENT OF ENERGY. Energy.gov. Dostupné z: <<https://www.energy.gov/eere/renewable-energy>>. [cit. 2023-12-10].
- [25] HAQUE, Ahteshamul, RASHID, Muhammad H. *Electric Renewable Energy Systems.* (ed.). 3 - Solar energy. Online. In: 2016, s. 40-59. ISBN 9780128044483. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804448-3.00003-7>>. [cit. 2023-12-10].
- [26] *Klimatické pomery Slovenskej republiky.* Online. In: SLOVENSKÝ HYDRO-METEOROLOGICKÝ ÚSTAV. SHMÚ. C2023. Dostupné z: <<https://www.shmu.sk/sk/?page=1064>>. [cit. 2023-12-10].
- [27] *Ako znížiť spotrebu elektriny v domácnosti - 1. časť.* Online. In: ZSE ENERGIA, A.S. ZSE. 2014. Dostupné z: <<https://www.zse.sk/app/novinky/Ako-znizit-spotrebu-elektriny-v-domacnosti---1.-cast.html>>. [cit. 2023-12-10].
- [28] HUSAIN, Chaudhery Mustansar *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications.* (ed.). Chapter 41 - Engineered Nanomaterials for Energy Applications. Online. In: 2018. Elsevier, 2018, s. 751-767. ISBN 9780128133514. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00043-2>>. [cit. 2023-12-10].
- [29] *Na jakou střechu umístit solární panely.* Online. In: E.ON. E.ON. Dostupné z: <<https://www.eon.cz/radce/energie/solarni-energie/na-jakou-strechu-umistit-solarni-panely/>>. [cit. 2023-12-10].
- [30] CHABREČEK, Erik. *Výkon fotovoltaické elektrárny pro rodinný dom.* Online. In: ZSE ENERGIA, A.S. ZSE. 2023. Dostupné z: <<https://www.zse.sk/blog-clanok-vykon-fotovoltaickej-elektrarne-pre-rodinny-dom>>. [cit. 2023-12-10].

- [31] BOLF, Marek. *Prováděcí projektová dokumentace pro elektrickou instalaci Loxone pasivního domu s FVE*. Brno, 2022. Dostupné z: <<https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/141249>>. Bakalářská práce Online. In: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ing. Branislav Bátora, PhD. [cit. 2023-12-10].
- [32] MÁLKOVÁ, Tereza. *Termické solární panely. S čím vám pomohou v domácnosti?* Online. In: Elektrina.cz. 2021. Dostupné z: <<https://www.elektrina.cz/termicke-solarni-panely-s-cim-vam-pomohou-v-domacnosti>>. [cit. 2023-12-10].
- [33] *Jak funguje větrná elektrárna*. Online. In: ČEZ, A.S. Skupina ČEZ. C2023. Dostupné z: <<https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/vitr/jak-funguje-vetrna-elektrarna>>. [cit. 2023-12-10].
- [34] *Wind*. Online. In: NATIONAL GEOGRAPHIC. National Geographic. C1996-2023. Dostupné z:<<https://education.nationalgeographic.org/resource/wind/>>. [cit. 2023-12-10].
- [35] *How a Wind Turbine Works - Text Version: The Power of Wind*. Online. In: U.S DEPARTMENT OF ENERGY. Energy.gov. Dostupné z: <<https://www.energy.gov/eere/wind/how-wind-turbine-works-text-version>>. [cit. 2023-12-10].
- [36] BEIG, Abdul R. a MUYEEN, S.M. 4 - Wind energy. Online. In: *Electric Renewable Energy Systems*. 2016. Academic Press, 2016, s. 60-77. ISBN 9780128044483. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804448-3.00004-9>>. [cit. 2023-12-10].
- [37] *Inštalácia domovej veternej elektrárne — pre a proti*. Online. In: Stavebnik.sk. C2000-2023. Dostupné z: <<https://www.stavebnik.sk/clanky/instalacia-domovej-veternej-elektrarne-pre-a-proti.html>>. [cit. 2023-12-10].
- [38] *Small Wind Guidebook*. Online. In: Energy.gov. Dostupné z: <<https://windexchange.energy.gov/small-wind-guidebook>>. [cit. 2023-12-10].
- [39] *How do Wind Turbines work?* Online. In: Turbines info. 2021. Dostupné z: <<https://www.turbinesinfo.com/how-do-wind-turbines-work/>>. [cit. 2023-12-10].

- [40] P, Lukas. *Malá veterná elektrárna — zkušenosti z Německa*. Online. In: ZSE ENERGIA, A.S. Šetri.sk. 2016. Dostupné z: <<https://www.setri.sk/mala-veterna-elektraren-skusenosti-z-nemecka/>>. [cit. 2023-12-10].
- [41] HEGDE, Sriram a RASHID, Muhammad H., MURTHY, Sreenivas S. (ed.). 5 - Hydroelectricity. Online. In: *Electric Renewable Energy Systems*. Academic Press, 2016, s. 78-91. ISBN 9780128044483. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804448-3.00005-0>>. [cit. 2023-12-10].
- [42] *Vodné elektrárne: Naše vodné elektrárne*. Online. In: SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE. Slovenské elektrárne. C2023. Dostupné z: <<https://www.seas.sk/o-nas/nase-elektrarne/vodne-elektrarne/>>. [cit. 2023-12-10].
- [43] *Vodná energia - malé vodné elektrárne*. Online. In: Enviro portál. C2005-2023. Dostupné z: <<https://www.enviroportal.sk/vodna-energia>>. [cit. 2023-12-10].
- [44] KRISTOFERSON, L.A. a BOKALDERS, V., KRISTOFERSON, L.A. a BOKALDERS, V. (ed.). 22 - SMALL-SCALE HYDROPOWER. Online. In: *Renewable Energy Technologies*. Pergamon, 1986, s. 251-268. ISBN 9780080340616. Dostupné z: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034061-6.50028-7>>. [cit. 2023-12-10].
- [45] IEMSOMBOON, Pimnapat; BHUMKITTIPICH, Krischonme a PATI, Trirath. *Erformance Study of Micro Hydro Turbine and PV for Electricity Generator, Case Study: Bunnasopit School, Nan Province, Thailand*. Online. In: Volume 34. Energy Procedia 34, 2013, s. 235-242. ISSN 1876-6102. Dostupné z: <<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.752>>. [cit. 2023-12-10].
- [46] *What is tidal energy?*. Online. In: Pacific Northwest National Laboratory. Dostupné z: <<https://www.pnnl.gov/explainer-articles/tidal-energy>>. [cit. 2023-12-10].
- [47] MONTESDEOCA-MARTÍNEZ, Fernando a VELÁZQUEZ-MEDINA, Sergio. *Geothermal energy exploitation in an island-based 100% renewables strategy. Case study of Tenerife (Spain)*. Online. In: . Volume 426. Journal of Cleaner Production, 10 November 2023n. 1., s. 14. ISSN 0959-6526. Dostupné z: <<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139139>>. [cit. 2023-12-10].

- [48] *Chlazení tepelným čerpadlom.* Online. In: Vykurovanie24. 2021. Dostupné z: <<https://vykurovanie24.sk/magazin/tepelne-cerpadla/chlazenie-tepelnym-cerpadlom/>>. [cit. 2023-12-10].
- [49] *Kolik stojí tepelné čerpadlo země-voda.* Online. In: E.ON. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-ventilaci/tepelna-cerpadla/kolik-stoji-tepelne-cerpadlo-zeme-voda/>. [cit. 2023-12-10].
- [50] *Geothermal Energy.* Online. In: National Geographic. C1996-2023. Dostupné z: <https://education.nationalgeographic.org/resource/geothermal-energy/>. [cit. 2023-12-10].
- [51] MADDAAH, Saeed; GOODARZI, Marjan a SAFAEI, Mohammad Reza. Comparative study of the performance of air and geothermal sources of heat pumps cycle operating with various refrigerants and vapor injection. In: *Alexandria Engineering Journal*. Volume 59, Issue 6. Alexandria Engineering Journal, 2020, s. 4037-4047. ISSN 1110-0168. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.07.009>.
- [52] *What is bioenergy?: Find out how organic matter is used to generate clean electricity and carbon neutral gas.* Online. In: Good energy. C2018-2023. Dostupné z: <https://www.goodenergy.co.uk/what-is-bioenergy/>. [cit. 2023-12-12].
- [53] *Bioenergy.* Online. In: Iea. Dostupné z: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy#programmes>. [cit. 2023-12-12].
- [54] *Co obnáší domácí výroba bioplynu.* Online. In: E.ON. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/ekologie/spolecnost-a-zivotni-prostredi/co-obnasi-domaci-vyroba-bioplynu/>. [cit. 2023-12-12].
- [55] *HOME BIOGAS 2.* Online. In: Homebiogas. C2023. Dostupné z: <https://www.homebiogas.com/product/homebiogas-2/>. [cit. 2023-12-12].
- [56] *SPOTové (burzovní) ceny elektřiny: Způsob, jak ušetřit tisíce korun?* Online. In: Ušetřeno.cz. 2023. Dostupné z: <https://www.usetreno.cz/clanky/spotove-burzovni-ceny-elektriny-zpusob-jak-usetrit-tisice-korun/>. [cit. 2024-05-15].
- [57] *Rezervovaný výkon a jak jej určit* Online. In: Elektroprumysl.cz. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/energetika/rezervovany-vykon-a-jak-jej-urcit>. [cit. 2024-05-15].

- [58] *Trojfázový hybridný menič SolaX X3-Hybrid-15.0-D-G4 CT WiFi 3.0* Online. In: ecoprodukt.sk. Dostupné z: <https://d1dy1ppyyuurun.cloudfront.net/web/image/12168964-ca78e5f/Technick%C3%BD+list+CZ.pdf>. [cit. 2024-05-15].
- [59] *Solax Triple Power T-BAT H 17,3 s Solax X3-HYBRID-10.0-D* Online. In: memodo.cz. Dostupné z: <https://www.memodo.cz/bateriove-sety/balicek-uloziste-solax/7519/solax-triple-power-t-bat-h-17-3-s-solax-x3-hybrid-10.0-d> [cit. 2024-05-15].
- [60] *Irradiance & Solar Forecast for PV output*. Online. MeteSource. C2023. Dostupné z: <https://solar.meteosource.com/>. [cit. 2024-05-15].
- [61] *Unipi Patron S117*. Online. Unipi Technologz Dostupné z: <https://www.unipi.technology/cs/unipi-patron-s117-p372>. [cit. 2024-05-15].
- [62] *PMU-27V155WCCA Delta 151W 27,6V Zálohový zdroj*. Online. Czech-Delta. Dostupné z: <https://www.czech-delta.cz/PMU-27V155WCCA-DELTA-151W-27-6V-Zalohovy-zdroj-d234.htm>. [cit. 2024-05-15].

Zoznam symbolov a skratiek

| | |
|--------------------------|---|
| A | Ampér |
| AC | Alternating Current (Striedavý prúd) |
| CO₂ | Oxid uhličitý |
| COP | Coefficient of Performance (Koefficient výkonu) |
| DALI | Digital Addressable Lighting Interface (Digitálne adresovateľné rozhranie osvetlenia) |
| DC | Direct Current (Jednosmerný prúd) |
| GW | Gigawatt |
| HDO | Hromadné Dialkové Ovládanie |
| kb/s | Kilobit za sekundu |
| kW | Kilowatt |
| kWh | Kilowatthodina |
| kWh/m² | Kilowatthodina na meter štvorcový |
| kWp | Kilowattpeak |
| LAN | Local Area Network (Lokálna sieť) |
| LED | Light Emitting Diode |
| MW | Megawatt |
| MWh | Megawatthodina |
| m²a | Kilowatthodina na meter štvorcový za rok |
| RS-485 | Recommended Standard-485 (Doporučený štandard-485) |
| RS-232 | Recommended Standard-232 (Doporučený štandard-232) |
| RS-422 | Recommended Standard-422 (Doporučený štandard-422) |
| RS-485 | Recommended Standard-485 (Doporučený štandard-485) |
| RS-232 | Recommended Standard-232 (Doporučený štandard-232) |

| | |
|---------------|---|
| RS-422 | Recommended Standard-422 (Doporučený štandard-422) |
| SPF | Seasonal Performance Factor (Sezónny výkonový faktor) |
| V | Volt |
| W | Watt |
| Wh | Watt hodina |
| °C | Stupeň Celzia |