

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky



Diplomová práce

**Využití chytrého řízení pro optimalizaci využití
fotovoltaických systémů**

**The use of smart control to optimize the
utilization of photovoltaic systems**

Studijní program: Elektronika a komunikace

Studijní obor: Komunikační sítě a internet

Vedoucí práce: Ing. Ladislava Černá, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Ondřej Slezák

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Slezák** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **483907**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**
Studijní program: **Elektronika a komunikace**
Specializace: **Komunikační sítě a internet**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití chytrého řízení pro optimalizaci využití fotovoltaických systémů

Název diplomové práce anglicky:

The Use of Smart Control to Optimize the Utilization of Photovoltaic Systems

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši současných řešení chytrého řízení fotovoltaických systémů.
- 2) Navrhněte způsob řízení napájení vybraných typů spotřeb s ohledem na úsporu energie a ekonomiku.
- 3) Způsob řízení prakticky ověřte.

Seznam doporučené literatury:

- [1] D. H. Clift and H. Suehrcke, "Control optimization of PV powered electric storage and heat pump water heaters", Solar Energy, vol. 226, pp. 489-500, 2021.
- [2] A. 'a M. Al-Falahat, J. A. Qadourah, S. S. Alwashdeh, R. khater, Z. Qatlama, E. Alddibs, and M. Noor, "Energy performance and economics assessments of a photovoltaic-heat pump system", Results in Engineering, vol. 13, 2022.
- [3] T. Wang, K., X. Hu, P. Liu, Z. Huang, and H. Li, "Research on coordinated control strategy of photovoltaic energy storage system", Energy Reports, vol. 9, pp. 224-233, 2023.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Ladislava Černá, Ph.D. katedra elektrotechnologie FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **31.07.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **16.02.2025**

Ing. Ladislava Černá, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Tímto patří velké poděkování mé vedoucí práce, paní Ing. Ladislavě Černé, Ph.D. za trpělivost, podporu, cenné poznámky a podnětné návrhy při tvorbě celé práce. Dále patří poděkování mé rodině, která mě ve studiu podporovala a v poslední řadě pak mým přátelům, kteří mě provázeli celým studiem.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na využití chytrého řízení domácností s fotovoltaickými elektrárnami. Chytrá řízení fotovoltaických systémů, domácností i komerčních objektů jsou jedna z nejpoptávanějších na trhu. Zaměřil jsem se hlavně na systémy pro rodinné domy, které lze rozdělit na systémy pro chytré ovládání a automatizaci objektů, zařízení a spotřebičů, nebo na chytré ovládání fotovoltaiky, nakupování a prodeje energie.

V rámci spolupráce se společností SOMI jsem navrhl řešení inteligentní elektrárny pro rodinný dům v Chýni, která byla společností nainstalována a úspěšně zprovozněna. Podrobněji je rozebrána také možnost další modernizace tohoto rodinného domu pomocí systémů Loxone. Sledované období na rodinném domě je 1.6. – 31.10. 2023. Během tohoto období klient nakupoval energii v průměru za 1,09 Kč/kWh a ušetřil přibližně 32 000 Kč.

Klíčová slova

FVE, fotovoltaika, chytré řízení, automatizace, spotový trh, návrh FVE, Loxone, SOMI, Fenix Group

Abstract

This thesis focuses on the use of smart control for households with photovoltaic systems. Smart controls for photovoltaic systems, homes and commercial buildings are some of the most in demand in the market. My main focus is on systems for family homes, which can be divided into systems for smart control and automation of buildings, equipment and consumers, or smart control of photovoltaics, buying and selling energy.

In the cooperation with SOMI, I designed a smart power plant solution for a family house in Chýně, which was installed and successfully commissioned by the company. The possibility of further upgrading this family house with Loxone systems is also discussed in detail. The monitoring period for the family house is from 1st June to 31st October 2023. During this period, the client purchased energy at an average price of CZK 1.09/kWh and saved approximately CZK 32,000.

Keywords

PV, photovoltaics, smart control, automation, spot market, PV design, Loxone, SOMI, Fenix Group

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíle a trendy ve fotovoltaice.....	13
4	Chytré řízení FVE.....	15
4.1	Výhody a nevýhody chytrého řízení	15
4.1.1	Výhody chytrého řízení:	15
4.1.2	Nevýhody chytrého řízení:	16
4.2	Soběstačnost.....	17
4.3	Bezpečnost a spolehlivost	18
4.4	Způsoby chytrého řízení.....	19
4.4.1	Řízení sklonu a orientace FV modulů	19
4.4.2	Optimizéry	22
4.4.3	Řízení spotřebičů	23
4.4.4	Řízení nákupu a prodeje energie	24
4.5	Vehicle to grid.....	25
4.6	Spotové ceny energií	26
5	Chytré systémy	28
5.1	Centralizované systémy.....	29
5.2	Decentralizované systémy.....	30
5.3	Uzavřené systémy	30
5.4	Otevřené systémy	30
5.5	Tigo Energy Inc.....	30
5.6	A-Z Traders	33
5.7	SOMI application and services	35
5.8	Fénix Group - AERS	36
5.8.1	Nízkoenergetický dům v Omnicích.....	36
5.9	Loxone Group	41

5.9.1	Loxone miniservery	41
5.9.2	Software Loxone Config	43
6	Návrh řešení.....	44
6.1	Využité komponenty	44
6.2	Návrh FVE	45
6.2.1	Výpočet rozložení modulů.....	46
6.2.2	Vlastní návrh projektu v PV*SOL.....	48
6.2.3	Řešení spotřeby objektu.....	49
6.3	Vyhodnocení výsledků.....	50
6.3.1	Optimizéry, Monitorovací systém Honeybee	51
6.3.2	Ukázka systému během jednoho dne.....	53
6.3.3	Shrnutí období od 1.6. – 31.10.2023	54
6.4	Druhá etapa	56
6.4.1	Programování.....	56
6.4.2	Očekávání od Loxone	60
7	Závěr.....	61
8	Citovaná literatura	62

Přehled zkratk

FVE – Fotovoltaická elektrárna

FV - Fotovoltaický

TV - Teplá užitková voda

W – Watt

W_p – Watt peak

kW - KiloWatt

MW - MegaWatt

kWh - KiloWatt hodina

MPPT - Max power point tracker -> sledovač bodu maximálního výkonu

TS4-A-0 - Optimizér

TAP - Tigo Access Point - jednotka sbírající data z optimizérů

CCA - Cloud Connect Advanced - řídicí jednotka s připojením na cloud

AI - Umělá inteligence

HW - Hardware

EEX - Evropská energetická burza

OTE - Operátor trhu

ERÚ - Energetický regulační úřad

LiFePO₄ – Lithium-železo-fosfátová

SVJ – Společenství vlastníků jednotek

BMS – Battery management system

Přehled obrázků

Obrázek 1 - Graf denní spotřeby a výroby rodinného domu (2)	17
Obrázek 2 - Graf spotřeby rodinného domu upravený řízením bojleru (2).....	18
Obrázek 3 - Znázornění rozdílu úhlu dopadajícího záření	20
Obrázek 4 - Pohyb slunce po obloze nad územím ČR (5)	20
Obrázek 5 - Znázornění dvouosého solárního sledovače (4)	22
Obrázek 6 - Graf závislosti napětí a proudu na různé ozářenosti (9)	23
Obrázek 7 - Vývoj spotových cen silové energie (10)	27
Obrázek 8 - Vývoj ceny silové energie za poslední rok (10)	27
Obrázek 9 - Schéma zapojení systému TIGO (16).....	32
Obrázek 10 - Graf výroby FVE pro porovnání před a po instalaci systému Tigo (17)	32
Obrázek 11 - Schéma zapojení A-Z routers systému (22)	34
Obrázek 12 - Graf výroby, spotřeby a spotových cen bez prodeje energie (26)	39
Obrázek 13 - Graf výroby, spotřeby a spotových cen s prodejem energie (24).....	40
Obrázek 14 - Fotovoltaický modul (28)	44
Obrázek 15 - SOMI měnič (28).....	44
Obrázek 16 - Baterie SOMI (28)	44
Obrázek 17 - Nabíjecí stanice (wallbox) (28)	45
Obrázek 18 - Zleva Beehive, Swarm, Optimizer (29).....	45
Obrázek 19 - Rozměry střešní plochy	46
Obrázek 20 - Způsob výpočtu vzdálenosti řad modulů od sebe.....	47
Obrázek 21 - Model domu s navrženými FV moduly	48
Obrázek 22 - Velikost zastínění modulů vypočítaná pomocí PV*SOL	49
Obrázek 23 - Ukázka grafu výroby (výkonu) z 21.9.2023 (aplikace Honeybee).....	51
Obrázek 24 - Zobrazení výkonu jednotlivých modulů (aplikace Honeybee).....	52
Obrázek 25 - Porovnání hodnot výroby ze střídače oproti optimizérům	52
Obrázek 26 - Spotřeba a výroba energie 16.8.2023 (SOMI aplikace)	53
Obrázek 27 - Predikce výroby oproti skutečné výrobě (SOMI aplikace)	54
Obrázek 28 - Loxone Config programovací bloky - energetický manager.....	57
Obrázek 29 - Loxone Config - Energetický manager nastavení	58
Obrázek 30 - Loxone Config - Konfigurace pro obývací pokoj	59

1 Úvod

V dnešní době se stále narůstající populací a narůstajícím množstvím technologií je elektrická energie základním pilířem našeho moderního života. Tato rostoucí poptávka po elektřině klade značný tlak na tradiční energetické zdroje, které jsou často spojovány s neudržitelným využíváním přírody a znečišťováním životního prostředí. Vzniká nám zde stále naléhavější potřeba hledat alternativní řešení, která nám umožní uspokojit naše energetické potřeby, pokud možno ekologicky udržitelným způsobem.

Solární energie je nejdostupnější možností, jak může každý z nás přispět a vyrábět vlastní elektřinu. Z pohledu České republiky je z důvodu lokace a povětrnostních podmínek nejvhodnější podobou obnovitelných zdrojů solární energi. Ze slunce je možné získat dostatek energie pro celou planetu, problémem ale zůstává, že výroba probíhá pouze přes den. Chytré řízení fotovoltaických elektráren (FVE) přináší revoluční řešení k efektivitě využití energie, zajištění spolehlivosti a ekonomické výhodnosti solárních elektráren. V kombinaci s pokročilými technologiemi, automatizací a analýzou nasbíraných dat lze udělat krůček vpřed k energetické soběstačnosti.

V současné době existuje široká škála technologických řešení, která umožňují chytrá řízení FVE. Řízení FVE je založeno na využití predikcí osvitů, spotřeb objektů, řídicích algoritmech, komunikačních technologiích a senzorech sledujících intenzitu slunečního záření (ozářenost), teplotu a úhly dopadu slunečních paprsků. To vše slouží pro zvýšení výkonu, resp. spolehlivosti a pomáhá efektivně generovat energii. Zároveň se sbírají data, vyhodnocují se a na základě toho se plánuje, jak s energií výhodně nakládat. energii lze ukládat (nejčastěji do baterií), spotřebovat, nebo prodat do veřejné sítě.

Chytré řízení FVE přináší řadu výhod v oblasti automatizace, optimalizace a efektivity. Jedním z klíčových prvků je adaptace na klimatické změny nebo změny chování spotřebitelů. Ovládat se nemusí pouze tok energie nebo doba zapnutí spotřebičů. Ovládat lze i natočení modulů ke slunci pro maximalizaci výkonu a účinnosti (konstrukce s trackery).

Jedním z významných směrů vývoje je integrace chytrého řízení FVE s konceptem Smart Grid, což umožňuje dynamické regulování toku energie mezi zdroji energie a jejich spotřebiči v reálném čase. Tím lze docílit maximálního využití energie a zrychlit návratnost investice. Na jednotlivých částech systému lze automaticky regulovat výkon

jako například mezi solárními moduly, bateriemi a spotřebiči. V závislosti na nabití baterií, či výkonu FVE lze automatizovat i spotřebiče, jakými jsou například elektrické bojler, tepelná čerpadla, nebo také nabíjecí stanice pro automobily. Kvalitnější využití energie má nejen ekonomický dopad, ale zároveň přispívá ke snižování zátěže distribuční sítě a k vlastní energetické soběstačnosti.

Lze říci, že chytré řízení fotovoltaických elektráren otevírá nové možnosti pro využívání solární energie s ohledem na úspory, ekonomickou, ale i ekologickou stránku problematiky a udržitelnosti. S rostoucím významem obnovitelných zdrojů a snahou o omezení dopadu klimatických změn se chytrá řízení stávají klíčovým prvkem každé elektrárny a nástrojem pro budoucnost energetiky.

Tato diplomová práce je zaměřena především na koncept Smart Grid - inteligentní řízení FVE, a integraci strojového učení do řízení fotovoltaických systémů instalovaných na rodinných domech spolu s využitím spotových cen při jejich provozu.

2 Cíle a trendy ve fotovoltaice

Solární zdroje energie se stanou v horizontu následujících několika let nejvýznamnějším zdrojem energie na světě. Navzdory rostoucímu podílu obnovitelných zdrojů na celkové výrobě energie, je však nutné věnovat největší prioritu jejich bezpečnosti, spolehlivosti a nákladové efektivnosti.

V dnešním dynamickém světě a modernizaci FVE se v provozu nachází i staré až zastaralé systémy bez vzdálené komunikace, či ovládání pro uživatele. Velké instalace jsou ovládány distributorem pomocí dispečerského řízení (dnes nad 100 kW_p). Systémy bez řízení a dohledu, nebo se starou technologií mohou vykazovat poruchy, popřípadě posílat falešné signály do sítě bez jakéhokoli povšimnutí. Prvním cílem je dosáhnout maximální digitalizace a monitoringu FVE do roku 2025 a to alespoň 90 % stávající technologie. Tomu napomáhá rychlý rozvoj 5G sítí a cloudů, které vzdálený monitoring umožňují.

Dalším a paralelním krokem je integrace umělé inteligence (AI) do FV systémů. Přináší to výhody ve snímání a propojení mezi zařízeními uvnitř každého systému individuálně. Umožní to zvýšení efektivity využití vyrobené energie, optimalizaci celého systému v rámci výroby a usnadní servis. AI nám dále nabízí využívat proaktivní identifikaci poruch a ochrany FV modulů pomocí diagnostických algoritmů. Díky velkému objemu dat, která jsou neustále zpracovávána pomocí AI lze říci, že se FVE učí pro vyšší energetickou výnosnost. Lze přidat i predikce počasí, spotřeby, nebo spotových cen pro optimalizaci ekonomické návratnosti. V současné době je aplikace AI čím dál snazší a dostupnější k implementaci pro každého (1).

Aplikací novějších technologií a automatizací se dostáváme k provozu a údržbě elektráren bez obsluhy. Díky integrovaným zkušenostem, neustálému zpracovávání velkého množství dat a učení sama sebe, se dostáváme do stavu, kdy nám AI bude přesně hlásit, kdy k nějakému problému došlo, o jaký problém se jedná a zda je na jeho vyřešení potřeba odborníka či nikoliv. Následně by stačila pouze notifikace na servisní firmu, aby přijela závadu opravit a to mnohdy dříve než si toho majitel všimne.

S rostoucím počtem fotovoltaických elektráren vzniká stále větší problém s vyvážeností sítě. Přes den, kdy elektrárny produkují nejvíce energie a lidé mají nejmenší spotřeby v domácnosti, vznikají velké přetoky energie ven do distribuční sítě. Tím může docházet k lokálnímu síťovému přetížení a to může vést až k hromadnému omezování (popřípadě i vypínání) FVE distributorem pro ochranu jeho sítě. Jedná se o dočasné

řešení, kterým se nic do budoucna nevyřeší. Pomocí monitoringu, predikcím a vzdáleným ovládním lze pomocí distributorům predikovat nastávající problémy a předejít jim. Tento stav lze pozorovat na spotovém trhu, kdy jsou vidět hodnoty nákupu kolem 0 Kč/kWh. Výhodně na to reagují přečerpávací elektrárny a energii se snaží různými způsoby spotřebovat. S integrací spotových cen do FV systémů lze problémům předejít a FVE s předstihem vypnout přetoky, snížit tím náročnost sítě, nebo nabíjet energii do úložišť ať už se jedná o bateriová úložiště nebo např. tepelná (akumulační nádrže).

Ještě před dvěma lety bylo běžnou praxí si nechávat instalovat elektrárny bez bateriových úložišť. Bateriová úložiště jsou klíčovým prvkem k vyváženosti distribuční sítě a prevencí proti výpadku energie. Právě pomocí bateriových úložišť v kombinaci s chytrým řízením bude možné předcházet přetížení sítě nebo náhlému nedostatku energie. Balancování špiček distribuční sítě se stane klíčovým faktorem, proč budou bateriová úložiště podporována v rámci FVE se vzdáleným ovládním nejspíše přímo od distributorů. Dnes je podpora na bateriová úložiště i instalovaný výkon FVE s nutností prakticky pouze restriktivního řízení, jelikož každá rozsáhlá inovace musí probíhat postupně.

Další novinkou, která přichází s novými vyhláškami jsou virtuální elektrárny a sdílená energetika, kdy je možné využívat energii například od souseda, nebo z vlastní elektrárny instalované mimo daný objekt. Sdílenou energetiku již dnes můžeme vidět u SVJ (společenství vlastníků jednotek) s podružnými měřidly a v následujících letech by měla být dostupná i pro rodinné domy. (2)

3 Chytré řízení FVE

V každém druhém článku, či reklamě, se lze dočíst, že právě tato fotovoltaika je s „chytrým řízením“ tzv. „inteligentní fotovoltaika“. Co to ale přesně znamená? Každý si pod tím představí něco jiného. Jedná se o automatizaci, optimalizaci a diagnostiku systému, což nám přináší nové funkce, jak automatizovaně využít energii z elektrárny. Automatizovat je důležité především proto, že se mění každodenní výrobní podmínky, proto nelze nechat statická nastavení a řízení přes ruční ovládání je silně neefektivní. Mnoho z těch, kteří zavrhli automatizaci a chytré řízení dnes chodí pravidelně k měniči, kontrolují ručně hodnoty, sledují, kdy mají plné baterie a když to přes den stihnou, pak se snaží energii někde spotřebovat. To vše jsou zbytečné úkony, které lze automatizovat bez nutnosti fyzické přítomnosti.

3.1 Výhody a nevýhody chytrého řízení

Využívání chytrého řízení FVE přináší řadu výhod, ale také několik potenciálních nevýhod, se kterými je důležité pracovat a přemýšlet nad nimi dříve, než bude elektrárna nainstalována jen kvůli pěkné reklamě. Mnoho lidí má skvělé nápady, jak vytvořit a nastavit nové úžasné systémy s různými sledovacími prvky. Problémem zůstává, že ne každé řešení je pro každého. Pokud se zvolí špatné řešení vzhledem k velikosti spotřeby nebo k přístrojům s vysokými náběhovými proudy, dostaneme se do situace, ve které nepocítíme slibovaný efekt řízení, nebo dokonce bude celý systém ekonomicky nevýhodný.

3.1.1 Výhody chytrého řízení:

- 1. Zvýšení efektivity výroby energie:** Efektivitu výroby lze ovlivnit dvěma způsoby. Prvním způsobem je automatické natáčení panelů směrem ke slunci pomocí sledování změn úhlu dopadu slunečního záření. Druhým způsobem je přidání optimalizérů, které optimalizují výkon zastíněných modulů, vůči těm nezastíněným a do jisté míry také vyrovnávat běžné nesymetrie jednotlivých instalovaných modulů (moduly nemají přesně stejné pracovní body a v běžném zapojení jsou tak omezovány „nejslabšími“ moduly).

2. **Optimalizace spotřeby a ukládání energie:** Pomocí chytrého řízení lze regulovat tok energie mezi bateriemi, fotovoltaickými moduly a spotřebiči, popřípadě i jednotlivými spotřebiteli.
3. **Snížení nákladů na energii:** Řízením spotřeby se efektivně využije vyprodukovaná energie v době, kdy je jí dostatek, což vede z dlouhodobého hlediska ke snížení nákladů za elektřinu.
4. **Snížení zátěže distribuční sítě:** Jakmile se optimalizuje zapínání spotřebičů do období, kdy FVE vyrábí dostatek energie, čímž se sníží zatížení ve špičkových hodinách, kdy ostatní dodávají v případě intermitentních zdrojů nejvíce energie.
5. **Větší energetická soběstačnost:** Instalace FV systému s řízením baterie (vybíjení/nabíjení) eliminuje celkové přetoky energie do sítě a také její dodávku. Míra soběstačnosti pak již záleží na výkonu FVE a velikosti baterie, přičemž s inteligentním řízením je možné dosáhnout vyšší míry soběstačnosti i s menší FVE.
6. **Adaptace na klimatické změny:** S chytrým řízením lze reagovat automaticky na změny počasí. S predikcí počasí se plánuje řízení spotřebičů, prodej energie, nebo její nákup dopředu. Přispívá to k soběstačnosti a stabilitě celého systému.

3.1.2 Nevýhody chytrého řízení:

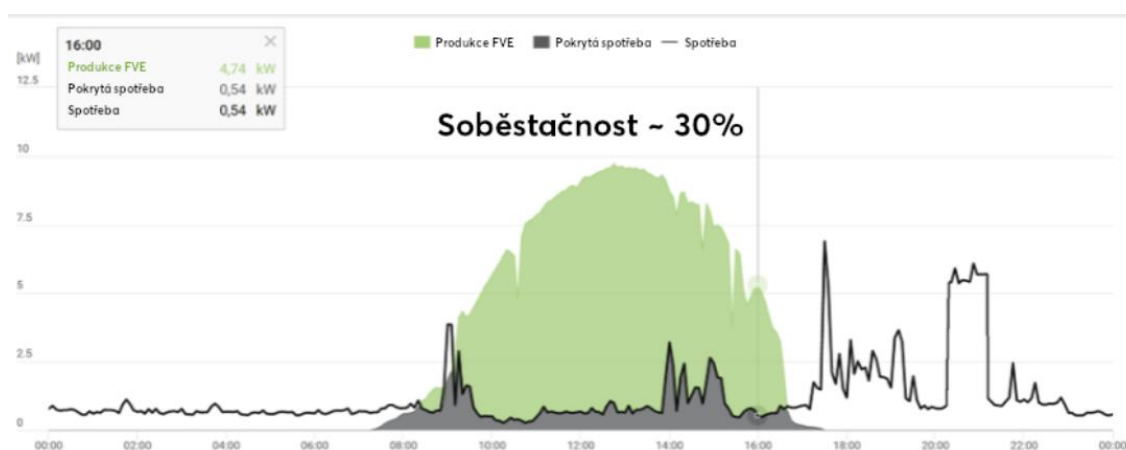
1. **Počáteční investice:** Implementace chytrého řízení může vyžadovat individuální přístup, senzory, optimalizéry a různé komunikační systémy, čímž se zvyšuje počáteční investice do projektu.
2. **Komplexnost:** Podle způsobu optimalizace a řízení je potřeba k tomu přizpůsobit i ostatní zařízení. Zvyšuje se také složitost údržby a oprav podobných systémů. Častokrát jsme odkázáni pouze na to, co daná společnost nabízí a není možnost do komunikačních protokolů zasahovat a rozšířit si funkčnost.
3. **Závislost na technologii:** Správná funkčnost systému je závislá na stabilním internetovém připojení. V případě výpadků, nebo špatném nastavení se může stát z efektivní elektrárny velmi prodělečná.
4. **Potřeba znalosti a odbornosti:** Instalace i údržba chytrých systémů vyžaduje specialisty na danou problematiku. Již se nejedná o pouhé propojení pár zařízení mezi sebou, ale o komplexní systém.

5. **Závislost na datech:** Nejedná se pouze o internetové spojení, ale hlavně o správnou analýzu dat, podle které jsou poté aplikované optimalizace. Závisí to více či méně na tom, kdo data vyhodnocuje, jak je vyhodnocuje a jak s nimi pracuje.
6. **Data u třetí strany:** Vaše data jsou odesílána na cizí servery a podle jejich zabezpečení by mohly být zneužity.

Ačkoli obecně vzato výhody převažují nad nevýhodami, je vždy velmi důležité správné navržení a implementace na konkrétní prostředí a zejména potřeby uživatele.

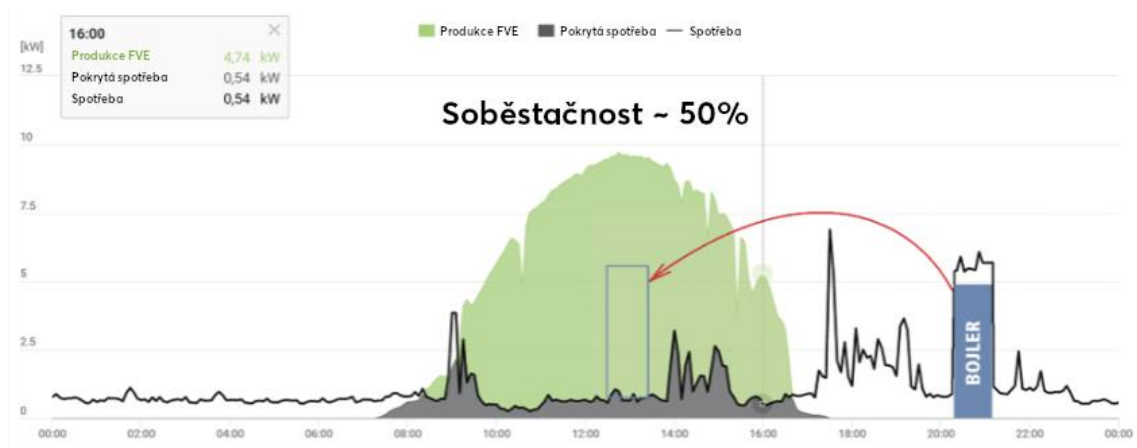
3.2 Soběstačnost

Mezi základní výhody, proč využívat solární elektrárny je právě zmíněná energetická soběstačnost. Soběstačnost objektu nezávisí pouze na množství vyrobené energie, ale převážně na způsobu spotřeby energie. K dosažení energetické soběstačnosti s co největší úspěšností, je potřeba přesunout spotřebu na časy, kdy elektrárna vyrábí dostatek energie na pokrytí dané spotřeby.



Obrázek 1 - Graf denní spotřeby a výroby rodinného domu (3)

Graf zobrazuje příklad výroby a spotřeby energie na rodinném domě v neděli v říjnu. Černá křivka zobrazuje spotřebu a zelená křivka výrobu. Je vidět, že výroba energie je mnohonásobně vyšší než spotřeba a přesto se soběstačnost objektu pohybuje kolem pouhých 30 %. Všechny přebytek energie je vložen do distribuční sítě s minimálním vlastním využitím. Největší spotřeba je obvykle přes večer a ráno, kdy se vaří, sprchuje, svítí a topí více než přes den. Pokud se alespoň část spotřebované energie večer, přesune do denní spotřeby, jako například bojler, pak se dosáhne vyšší soběstačnosti.



Obrázek 2 - Graf spotřeby rodinného domu upravený řízením bojleru (3)

Přesunout takto spotřebu, jako je na grafu č.2 lze, pokud je přítomno zařízení, které detekuje přetoky z FVE. Signál na sepnutí bojleru v případě přetoků umí vyslat některé měniče, nebo se do sítě přidávají další řídicí a sledovací jednotky na spotřebu. Pomocí těchto jednotek lze spínat nejen bojler, ale například pračku, myčku, autonabíječku, nebo ohřev bazénu. To vše je spotřeba, která nemusí běžet v noci. Dále je možné do systému přidat baterie, které by případnou noční spotřebu pokryly, nebo namířit energii do akumulací nádrže, díky čemuž se stane objekt úložištěm energie ve formě tepla. (3) (4)

3.3 Bezpečnost a spolehlivost

Nárůstem celosvětově instalovaného výkonu FV systémů a s narůstající složitostí síťové infrastruktury se zvyšují bezpečnostní rizika FVE. Postupně zpřísňují své požadavky distributoři pro připojení FVE do veřejné sítě pro její ochranu. Ke zpřísňování požadavků se přidávají také hasiči, vzhledem k bezpečnosti instalací proti vyhoření. V následujících letech budou hasiči ještě více dbát na bezpečné instalaci systému a pravidelné kontroly FVE (důkazem může být např. připravovaná norma ČSN 73 0847). V dnešní době požáry FVE zpravidla nevznikají z důvodu vadné technologie, ale z důvodu zanedbání některých z opatření (5). Pravidelné revize a kontroly jsou potřeba, ale jak bylo zmíněno výše, lze problémům i předcházet pomocí zkvalitnění diagnózy a zpracování dat pomocí kontrolních systémů, které na chyby budou poukazovat ještě dříve, než vznikne závažnější problém.

Dnes se již nebavíme o pouhých měničích, ale o komplexních počítačích neustále připojených na internet. To může představovat další stupeň ohrožení v kybersvětě. Jsme

si vědomi, že 90 % všech zařízení se vyrábí v Asii, neboli Číně a všechna diagnostická data a základní komunikace putuje přes Čínu. Během činnosti na diplomové práci jsem byl přítomen diagnózy způsobu komunikace střídačů, které pomocí nezabezpečené komunikace odesílaly data na různé servery, které překvapivě mnohdy ani nepatřily výrobci. Sběr diagnostických dat není jediná komunikace, která se střídači probíhá. Jedná se o obousměrnou komunikaci, pomocí které lze zařízení vzdáleně i ovládat. Co by se stalo, kdyby byly veškeré měniče dané země zapnuty s plným výkonem do sítě, nebo je nárazově zapínali a vypínali? Nejspíš by to odnesly lokální uzly elektrické infrastruktury, podle množství místních elektráren.

Data spotřeby jsou citlivými daty, která o daných objektech dokáže mnohé prozradit. Sběr jakýchkoli dat ve velkém množství může být zneužit a proto nekontrolovaný únik, který by umožnil majoritní ovládnutí jakéhokoli sektoru je nebezpečný a je potřeba proti tomu zakročit.

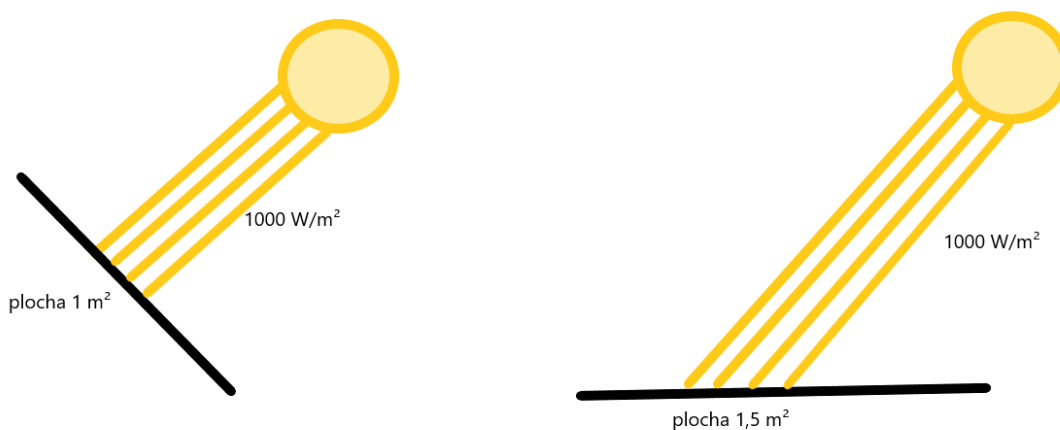
3.4 Způsoby chytrého řízení

Než se začnu věnovat chytrému řízení, optimalizaci výkonu, či ekonomické návratnosti je vhodné rozdělit chytrá řízení do několika skupin dle řízeného hardwaru (HW). Jako základní skupiny řízení lze vnímat “řízení sklonu a orientace FV modulů a optimalizaci výkonu”, “řízení spotřeby” a “prodej energie na spotovém trhu v závislosti na spotřebě a osvětlení”.

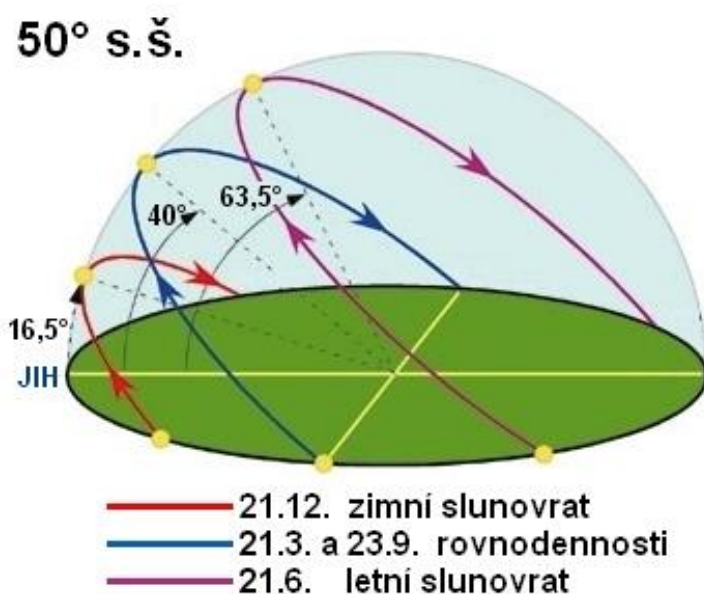
3.4.1 Řízení sklonu a orientace FV modulů

Systémy pro ovládnutí sklonu a orientace modulů je velmi rychle se rozvíjející odvětví pro zefektivnění výroby energie. Existuje celá řada patentových systémů, jak pro samotné naklápění modulů, resp. panelů, tak samotného způsobu sledování slunce pro celé řady i pro samostatné stojany. Stojany musí splňovat vysokou kvalitu s dostatečnou pevností odolávající vlivům větru, mrazu i tepla. Moderní systémy podporují otáčení až o 360 stupňů. Výhoda otáčení a vyššího zisku je limitována vyšší cenou a větším potřebným místem pro instalaci každého stojanu viz (6). V praxi je tak dávána často přednost spíše systémům s fixní orientací, ale proměnlivým sklonem, tzv. jednoosým trackerům.

Pro maximalizaci zisku energie z FV modulů, je důležité zaměřit se na vertikálnost dopadajících slunečních paprsků.



Obrázek 3 - Znárodnění rozdílu úhlu dopadajícího záření



Obrázek 4 - Pohyb slunce po obloze nad územím ČR (7)

Obr.3 znázorňuje, jak světlo o stejné intenzitě dopadající pod jiným úhlem zabírá větší dopadovou plochu. V prvním případě jsou paprsky nasměrovány kolmo na plochu o velikosti 1 m². Řekněme, že minimum světla se odrazí a většina bude pohlcena. Tím získáváme intenzitu 1000 W/m². Ve druhém případě paprsky dopadají na plochu o velikosti 1,5 m². Díky úhlu dopadajícího paprsku bude tato plocha absorbovat paprsky o intenzitě 666 W/m². To naznačuje, k jak velkým ztrátám dochází při neoptimálním sklonu modulů vůči slunci a o kolik více energie lze ze slunce získat.

Obr. 4 představuje pohyb slunce po obloze nad územím Česka. Jeho změna polohy od léta do zimy je razantní. Proto jsou zmíněné trackery velmi diskutovaným tématem.

Trackery se staly žádanou variantou pro velké elektrárny na zvýšení výkonu a účinnosti FV modulů. Jakmile se slunce na obloze pohne, optimálně se vůči němu nakloní i moduly. Solární sledovače lze rozdělit do tří základních skupin na aktivní, pasivní a manuální.

Manuální solární sledovače:

Manuální sledovače vyžadují fyzické nastavení rychlosti otáčení a sklonu panelů, nebo přesné nastavení pro různé časy během dne. To není příliš praktické, jelikož v různá roční období slunce mění svou pozici na obloze a proto je důležité pravidelné a časté přenastavování. V praxi se tak jedná spíše než o sledovače o systémy s nastavením „na léto“ a „na zimu“.

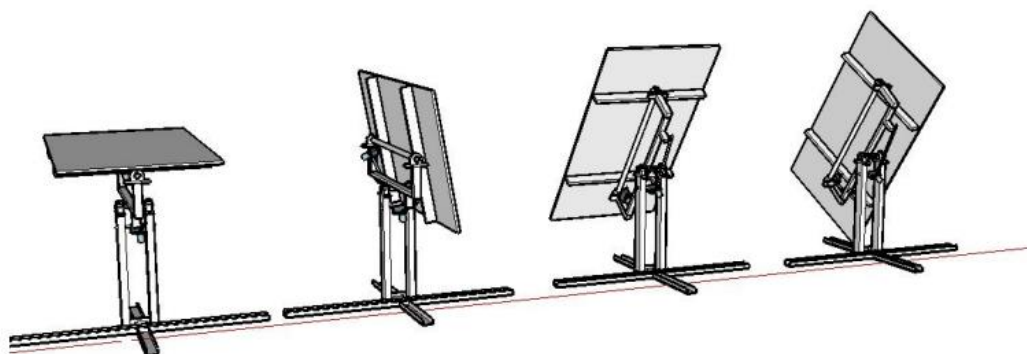
Pasivní solární sledovače:

Pro sledování nejvyššího bodu ozařování využívají pasivní sledovače slitiny s tvarovou pamětí, nebo speciální chemikálie s nízkým bodem varu. Tento typ se ukázal jako příliš nákladný.

Aktivní solární sledovače:

Pro pozorování Slunce zahrnují aktivní členy a senzory. Pro změnu polohy využívají motory či hydraulické válce. Motory pohybují s panely neustále ke směru odkud svítí slunce, jež je snímáno senzory, popřípadě se využívají speciální algoritmy (např. backtracking).

Solární sledovače lze kategorizovat podle směru otáčení panelů na jednoosý a dvouosý solární sledovač. Jednoosé sledovače se naklápějí od východu na západ vždy se stejným sklonem stojanu, nebo naopak s pohyblivým sklonem, ale měnicí se orientací (méně častý případ). Dvouosý sledovač slunce je schopný měnit polohu v obou osách, tudíž dochází ke změně pozice z východu na západ i ke změně sklonu panelů podle výšky slunce nad obzorem. Zvýšení solární produkce pomocí sledovačů je kolem 30 % (8), (9).

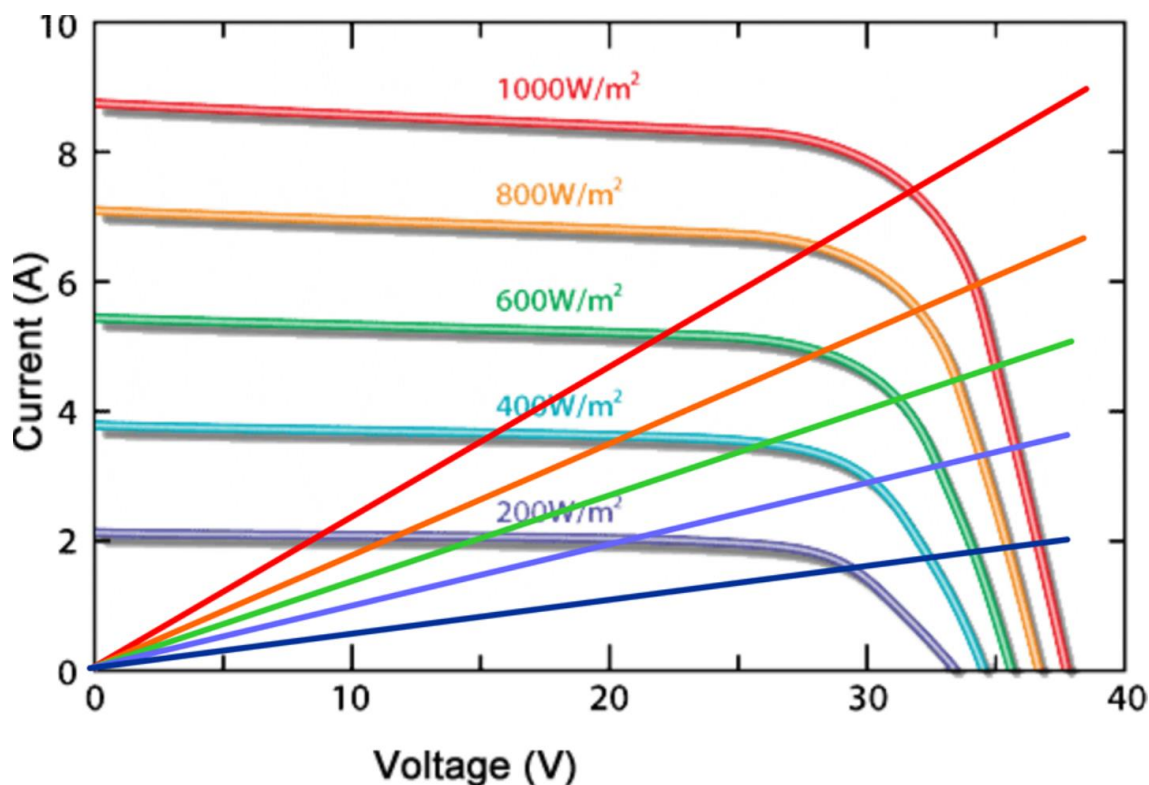


Obrázek 5 - Znáznornění dvuosého solárního sledovače (6)

3.4.2 Optimizéry

Nejrozšířenější způsob optimalizace výkonu pro libovolně velké fotovoltaické elektrárny jsou optimalizéry. Optimizéry se instalují na každý modul zvlášť, nebo pojmu až dva moduly naráz, avšak jejich funkčnost zůstává stejná. Jejich úkolem je optimalizovat výkon modulů daného stringu tak, aby moduly, které jsou zastíněny (nebo vykazují vady), neovlivňovaly výkony ostatních modulů. Moduly ve stringu (pojem používaný pro sériové spojení modulů) mají maximálně takový výkon, jako nejhorší z nich. To přesně nastává v případě, že na modul nedopadá stejné množství světla, jako na ostatní moduly, nebo pokud je některý modul z části poškozen, ale ne natolik, aby byl úplně vyřazen.

Optimizéry fungují na bázi DC - DC měniče pro maximalizaci zisku energie z modulů. Pracují na bázi individuálního ladění výkonu modulů pomocí sledování bodu maximálního výkonu (MPPT). Proud a napětí na výstupu optimalizéru odpovídá výkonu potřebnému pro měnič a je shodný s výkonem z ostatních modulů. Tato technologie se nepoužívá pouze u modulů (optimizérů), ale také v měniči na úrovni připojeného stringu (10).



Obrázek 6 - Graf závislosti napětí a proudu na různé ozáření (11)

Graf výše ukazuje vztah mezi proudem, napětím a celkovým výkonem pro různá množství dopadajícího záření. Přímka protíná v grafu bod maximálního výkonu, kterého je možné z modulu při dané ozáření dosáhnout. Jedná se vždy o kombinaci ideálního poměru napětí a proudu.

3.4.3 Řízení spotřebičů

Jedná se o nejvíce rozšířenou problematiku kolem využitelnosti energie z fotovoltaických elektráren. Jedna kilowatthodina prodané energie se nikdy nerovná kilowatthodině nakoupené energie. Je to z důvodu distribučních a dalších poplatků, které se při nákupu energie musí platit. Proto by mělo být na prvním místě zaměření se na optimalizaci využití vyráběné energie a až poté na její prodej. Nejen, že se tím stává objekt soběstačnějším, ale také snižuje emisní stopu a pomáhá tak celému světu zelenou energií.

Řízení spotřebičů je možné řešit dvěma základními způsoby a to pomocí vzdáleného automatického ovládání, nebo je lze řídit na základě aktuálního výkonu elektrárny. Řízení na základě aktuálního výkonu elektrárny je funkcí tzv. wattrouterů a měniče. Jakmile FVE má vyšší výrobu, než jaká je spotřeba, přesměruje měnič energii do

baterie a po nabití baterie odesílá přebytky energie do veřejné sítě. Některé měniče jsou vybaveny extra výstupem, který je aktivován v době přebytků energie a tím lze přeměřovat přetoky energie například do bojler, nebo vyhřívání bazénu. Pokud ale přebytky energie nejsou, pak k zapnutí nedochází. Wattrouter má podobnou funkci usměrnění přebytků energie k danému spotřebiči, ale disponuje obvykle více vstupy/výstupy.

Vzdálené řízení je již na jiné úrovni. K takovému řízení je potřeba centrální jednotka, pro vyčítání dat z objektu a odesílání příkazů jednotlivým zařízením. Server, na kterém se data zpracovávají a odkud budou vysílána data do řídicích jednotek umístěných u spotřebičů, nebo přímo do spotřebičů. Takovému typu řízení se věnuje např. společnost Loxone, která má propracovaný systém miniserveru pro každý typ objektu a dle náročnosti objektu individuálně konfigurovatelný systém. V systému lze z pravidla nastavit přednosti spotřebičů, jejich chování a jaká data odesílají pro vyhodnocování, či přímo do monitorovací aplikace. Chování se mohou lišit v době přetoků, slunečných či dnů pod mrakem.

Nejdůležitější ovládání je pro spotřebiče, které spotřebovávají nejvíce energie. Příkladem je TV a topná soustava. Lze využít bojler jako tepelnou zásobárnu energie, neboli baterie, kam lze uložit přebytečnou energii. Bojlery nemusíme nahřívat pouze v době přebytků energie, lze je také nahřívat v době, kdy je cena energií nízká, nebo dokonce záporná.

3.4.4 Řízení nákupu a prodeje energie

Přestože instalace na rodinné domy by měla sloužit především pro snížení spotřeby drahé energie ze sítě, lidé stále uvažují o FV systémech jako o investici na získání pasivního zisku z jejich dlouhodobého užívání. Jakmile jde o ziskovost FVE, tak záleží na aspektu, kolik je prodejní cena energie. Výkupní cena může být fixovaná, nebo proměnlivá, takzvaně spotová. Fixované ceny jsou navrhovány od dodavatelů energií na základě dlouhodobých kontraktů a jsou dělány tak, aby na nich stále dodavatel něco vydělal. Proto nemusí být vždy tou nejmoudřejší volbou. Více o spotových cenách je v následující kapitole.

K efektivnímu řízení nákupu a prodej energie jsou potřeba ještě dva parametry, kterými jsou spotřeba energie objektu a predikce osvitů dané oblasti. Celé inteligentní řízení funguje na bázi, kdy se vyčítají veřejná data osvitů (krátkodobá předpověď počasí),

spotové ceny (které jsou veřejně známé na 24 h dopředu (12)) a predikci spotřeby objektu. Kvalitním propojením a zakomponováním AI do predikcí lze získat data, kdy je výhodnější do baterií přikoupit energii, protože je nízká cena a nebude dostatečná výroba oproti spotřebě, nebo kdy prodat část energie z baterií, protože je cena vysoko a vy tu energii nebudete potřebovat.

Kvalita predikcí spotřeby je dána množstvím dat a správným rozdělením v jednotlivých dnech a ročních obdobích. Chováme se každý den velmi podobně a lze tyto návyky lidí implementovat do systému a to i s přesností na odcházení z domu na pravidelné koníčky a odjíždění na víkend na chalupu. Dále je potřeba, aby uživatel hlásil, kdy například odjíždí výjimečně pryč a jak dlouho nebude v objektu. Poté se tato anomální data nepočítají do budoucích predikcí.

Predikce osvětlení lze také zlepšit. Ačkoli krátkodobá předpověď počasí není úplně špatná, tak nevidí, kdy nad FVE prochází mrak nebo kdy čistě svítí slunce. Tyto předpovědi jsou častokrát s přesností na region. V jednotlivých regionech byly naměřeny odchylky až kolem 20 %, oproti získaným datům z měničů a jejich reálné výrobě. Předpovědi lze zpřesnit, jakmile je k dispozici velké množství respondentů a je porovnávána jejich aktuální výroba s předpovědí počasí, na jejímž základě je přepočítána očekávaná výroba pro daný objekt umístěný v blízkém regionu (např. sledováním a predikováním polohy stínících mraků).

3.5 Vehicle to grid

S přibývajícím množstvím fotovoltaik na rodinných domech je podporovaný také trend elektrických automobilů. Elektromobily prospívají životnímu prostředí tím, že snižují znečištění ovzduší. Jejich průměrná bateriová kapacita se pohybuje kolem 80 kWh, avšak některé z novějších elektromobilů disponují kapacitou až 200 kWh (13). Nabíjení elektrických vozidel pomocí obnovitelné energie je vynikající způsob, jak minimalizovat emise vozidel a zároveň zajistit čisté dodávky elektřiny. Elektromobil jako systém pro skladování energie se stane základním prvkem inteligentní sítě. Pokud není, nebo nebude automobil po zbytek dne využíván, lze využít pro napájení sítě a to pouhým připojením k nabíjecí stanici. Pomocí systému lze nastavit čas, kdy má být elektromobil nabitý a do té doby bude jeho baterie využívána ve prospěch domu. Může se z něho stát i kvalitní záložní zdroj energie pro jeho velkou kapacitu baterie (14).

3.6 Spotové ceny energií

Plovoucí cena, která se mění pro koncového zákazníka každou hodinu, bývá označována jako spotová cena. O spotové ceny se stará Evropská energetická burza (EEX) sídlící v Lipsku v Německu. Původně byly na energetických burzách obchodovány pouze přebytky z výrobní kapacity, což činilo asi 0,5 % veškeré energie. Většina elektrické energie byla obchodována pomocí dlouhodobých kontraktů mimo energetickou burzu. V roce 2022 burzy obchodovaly cca 40 % z veškeré vyrobené elektrické energie. V České republice stále převládají dvoustranné dohody o pevných cenách za elektřinu, které se však do značné míry řídí cenami na burze. Výsledná cena na burze není nijak regulovaná v EU ani v ČR. Cena pro koncového zákazníka je počítána ze silové ceny energie (cena na burze), stálé platby dodavateli (platba za službu) a regulované ceny, kterou pro ČR stanovuje Energetický regulační úřad (ERÚ), do které patří distribuční poplatky a činnost operátora trhu (OTE). (15)

Na burze se obchoduje den dopředu (day-ahead) nebo na aktuální den (intra-day). V ranních a večerních hodinách kolem 7-8h jsou ceny nejvyšší, jelikož je největší poptávka a naopak přes den, kdy svítí slunce a lidé mají energii např. z FVE, cena klesá na minimum (je menší poptávka a přitom vyšší výroba energie). Na tarif za spotové ceny se lze dostat pomocí dodavatelů energií pouze s nainstalovaným průběhovým měřením. Toho lze dosáhnout požádáním o změnu typu měření (podle typu existuje měření typu A, B a C – více viz Vyhláška o měření elektřiny č. 359/2020). V roce 2023 probíhalo omezení na sjednání spotových cen podle Nařízení vlády č.298/2022 Sb. O stanovení cen elektřiny a plynu § 12a. Toto omezení trvá pouze po dobu zastropovaných cen, které má končit koncem roku 2023. (16)

Spotové tarify vyžadují alespoň základní schopnost reagovat na vývoj cen. Je tomu tak z důvodu možného negativního vývoje, který jsme zažili například v roce 2022. I tehdy bylo možné ze spotového trhu profitovat. Ačkoliv se lidé děsili z nárůstu cen energií, zákazníci využívající FVE si takovou situaci chválili. Pokud měli spotové tarify na výkup energie, prodávali přebytečnou energii za nejvyšší ceny. To vedlo k rozvoji inteligentních fotovoltaických systémů a podpořilo to zamyšlení nad tím, jak takové situace využít. (17)

Obrázek níže je graf znázorňující rozkolísanost cen v období září – říjen 2023 (od 16.9. - 14.10.2023). Ačkoli průměrná cena za elektřinu klesá, tak na spotovém trhu se pohybuje od 0 Kč/kWh do 6 Kč/kWh. Přes poledne se pohybují ceny lehce nad nulou a výjimečně jsou v záporu. To znamená, že za odebranou energii platí dodavatel klientovi. Nutno upozornit, že uvedené ceny se vztahují pouze na cenu silové energie, tudíž v bilanci a predikci je vždy nutné započítávat také distribuční poplatky (regulovanou složku energie), která je v případě odběru ze sítě vždy hrazena.



Obrázek 7 - Vývoj spotových cen silové energie (12)

Na dalším obrázku sledujeme vývoj ceny energií za poslední rok od října 2022 do října 2023. Tendence cen je z dlouhodobého hlediska opravdu spíše klesající, nicméně pro obchodování je zásadní, jakým způsobem se pohybuje cena během dne.



Obrázek 8 - Vývoj ceny silové energie za poslední rok (12)

4 Chytré systémy

Systémy dělíme podle jejich primárního využití. Jelikož globální využívání takzvaných “inteligentních fotovoltaik” je u nás v naprostém počátku, existuje jen málo systémů, které by uměly všechno. Každý měsíc přicházejí na trh společnosti s novými systémy a jejich rozšířeními. Aktuálně se společnosti dělí na dvě základní skupiny. Na společnosti, které se snaží zákazníkům primárně snížit spotřebu energie na minimum a optimalizovat spotřebu pro maximální využití vlastní vyrobené energie z FVE a na společnosti, které se zaměřují primárně na nákup a prodej vyrobené energie na spotovém trhu a zvýšení zisku z prodeje energie. Obě varianty jsou výhodné, avšak každá má své výhody a nevýhody. Velmi důležité je, jak se k tomu staví daná firma a také uživatel. Podmínky na spotovém trhu popsané výše, jsou velmi proměnlivé. Právě v závislosti na ceně na spotu lze říci, zda se více vyplatí energie spotřebovávat, nebo naopak prodávat.

V souvislosti s postojem firem k požadavkům klienta a celkové strategii využívané pro snížení nákladů na energie jsem oslovil společnosti působící na českém trhu. Společnosti jsem shrnul v následující tabulce s rychlým přehledem, jaký typ systému nabízejí. Následuje podrobnější popis jejich systému i výsledků, kterým dosahují a které mi poskytl, nebo které jsem mohl dohledat.

Tabulka 1 - Přehled chytrých řídicích systémů

System	Výrobce	Centralizovaný/ decentralizovaný	Uzavřený/ otevřený	Řízení offline/online
Pangolin	Greeny	Centralizovaný	Uzavřený	online
LOXONE	Loxone Group	Centralizovaný	Otevřený	online/offline
SOMI	Somi applications and services	Centralizovaný	Uzavřený	online
KNX	KNX associations	Decentralizovaný	Otevřený	Offline
TIGO	TIGO Energy Inc.	Centralizovaný	Uzavřený	Offline
AERS	Fenix Group	Centralizovaný	Uzavřený	Online
Tecomat Foxtrot	Teco a.s. - Fenix	Centralizovaný	Otevřený	Offline
A-Z ROUTER SMART	A-Z Traders	Centralizovaný	Uzavřený	Offline

4.1 Centralizované systémy

Každý z centralizovaných systémů má svou základní řídicí jednotku, která sbírá všechna data ze senzorů, na jejichž základě rozesílá příkazy aktorům. Data se vyhodnocují přímo v centrální jednotce, nebo na serverech online. Po vyhodnocení dat jednotka dle naprogramování vysílá příkazy k řízení podřízeným jednotkám. Obvykle obsahují analogové vstupy i výstupy a je možné systémy rozšířit o další moduly. Výhodou těchto systémů je rychlost komunikace a snazší vyčítání dat. Má to i své nevýhody. Základní nevýhodou je omezený počet možných jednotek pro připojení. Řídicí modul je vyroben pro určitou technologii a ne vždy podporují všechny technologie. Největší nevýhodou je, že v případě poruchy centrální jednotky dochází k výpadku a nefunkčnosti celého systému.

4.2 Decentralizované systémy

S narůstajícími nároky na kompatibilitu různých zařízení komunikujících mezi sebou a jejich zpětných kontrol mezi aktéry vznikly decentralizované systémy. Takové systémy nemají hlavní řídicí jednotku. Je to nahrazeno komunikačními bloky přímo v aktérech. Hlavní výhodou oproti centralizovaným systémům je funkčnost zbytku systému i v případě nefunkčnosti některého z aktérů. Aktéři spolu mohou komunikovat na společné sběrnici, nebo mohou pracovat zvlášť. O to obtížnější bývá vzdálený dohled a vyčítání dat z každého zařízení zvlášť například do jedné centrální monitorovací aplikace.

4.3 Uzavřené systémy

Jedná se o rozšířenější variantu instalací. Systém pochází od jednoho výrobce, který vyvíjí veškeré moduly jen pro vlastní řešení. Komunikační protokol není veřejný, nemusí být standardizovaný a není možné zpravidla kombinovat různé výrobce s tímto typem systému. Pro výrobce se jedná o snazší formu vývoje a proto bývá takový systém i cenově přijatelnější. Problém může nastat, pokud výrobce ukončí výrobu modulů, nebo je jeho vývoj pomalejší a vy požadujete funkce, které má jiný výrobce.

4.4 Otevřené systémy

Jedná se o systémy, které nejsou limitovány výrobcem komponent. Jejich limit spočívá v použitých standardizovaných komunikačních protokolech, které když moduly a výrobci dodržují, pak jsou systémy kompatibilní. Hlavní výhodou je tedy široká škála možných modulů, ze kterých lze vybírat pro vlastní využití. Uživatel není již závislý na výrobci. Nevýhodou pro výrobce je, že původně jeho vlastní klienti mohou odcházet ke konkurenčním společnostem.

4.5 Tigo Energy Inc.

Americká soukromá společnost zabývající se vývojem a výrobou technologií i softwarem v oblasti fotovoltaiky. Dodávají služby i komponenty pro instalační firmy, distributory a výrobce v oblasti flexibilní výkonové elektroniky. Společnost se specializuje na optimizéry výkonu a výkonovou elektroniku inteligentních modulů. Proslavila se produktem Smart Module Optimizer pro solární průmysl.

V dnešní době jejich optimizéry pokrývají asi 70 % českého trhu a jako hlavním konkurentem jsou optimizéry HoneyBee vyráběné v Číně. Jejich cenová politika je velmi přívětivá i oproti konkurenci z Číny a proto jsou dnes nejznámějším výrobcem optimizérů.

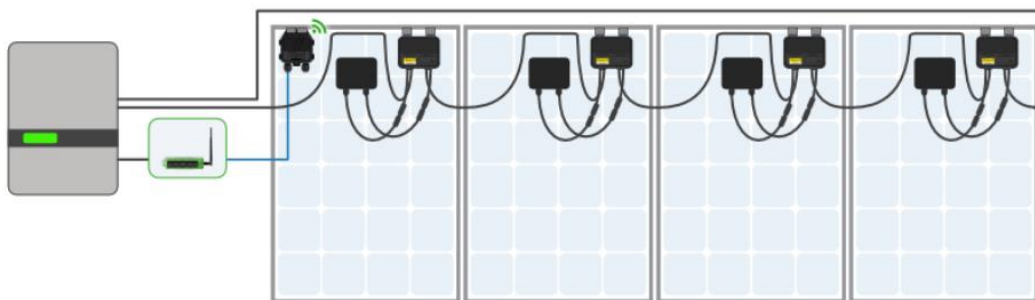
Sestava, kterou přináší společnost TIGO, se skládá ze tří částí: TS4-A-O (Optimizér), TAP (Tigo Access Point) - jednotka sbírající data z optimizérů a CCA (Cloud Connect Advanced) - řídicí jednotka s připojením na cloud).

Funkce optimizéru je popsána v předešlé sekci. Smyslem není pouze optimalizovat výkon, ale také sledovat a vyhodnocovat kvalitu modulů a zajistit bezpečnost v případě požáru. V případě požáru detekuje systém ztrátu signálu s řídicí jednotkou přehořením některých kabelů, nebo stisknutím STOP tlačítka na řídicí jednotce a odpojí celý systém. Tím je zajištěno bezpečné napětí pro hasiče, kteří se pohybují po střeše nebo v blízkosti FVE. Podporuje solární moduly až do výkonu 700 W_p a zvyšuje jejich výkon pomocí technologie Predictive IV¹. (18)

TAP zajišťuje bezdrátovou komunikaci s optimizéry a datovým kabelem je propojena s řídicí jednotkou. Díky tomu není potřeba mít propojený každý optimizér přímo do řídicí jednotky, ale stačí jedno TAP až na 300 optimizérů vzdálených maximálně do 35 m.

CCA od společnosti TIGO patří mezi nejmenší a získává cenné informace o FV modulech. Lze k němu připojit měniče, baterie i měřiče. Jejich aktuální i historická data lze poté zobrazit na jejich platformě Tigo Energy Intelligence. Do sítě lze připojit pomocí ethernetu i pomocí wifi a jeho důležitou vlastností je výše zmiňované STOP tlačítko pro odpojení celé FVE. Jedná se o uzavřený systém, měnič, optimizéry i řídicí jednotky musí být od TIGO, aby spolu dokázali komunikovat.

¹ Technologie na stejném principu jako MPPT, avšak vyvíjená společností TIGO. Největší výhodu přináší díky svému selektivnímu nasazení na každý modul zvlášť.

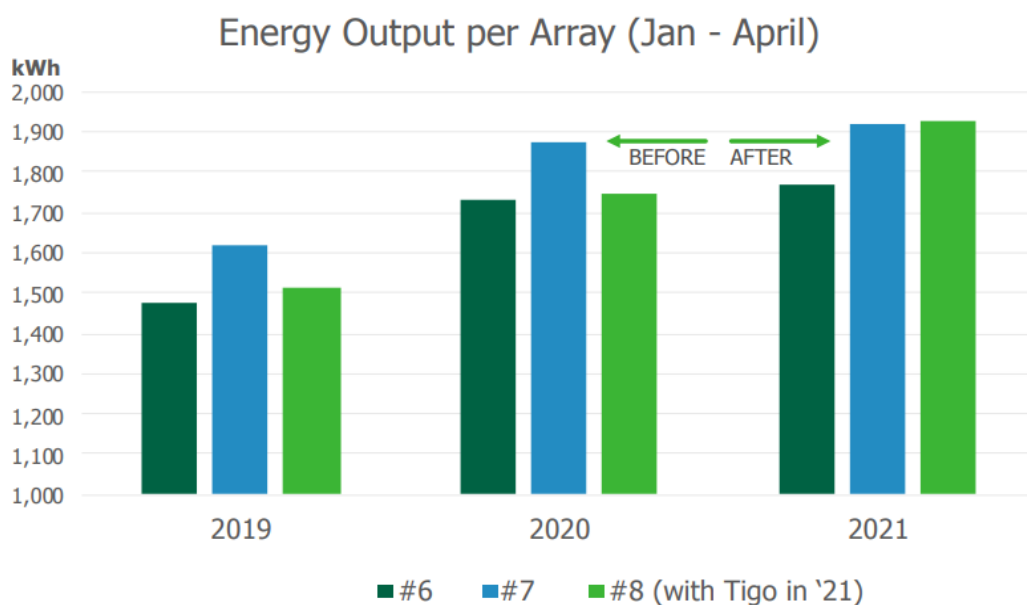


Obrázek 9 - Schéma zapojení systému TIGO (18)

Na obrázku je zobrazeno schéma zapojení systému TIGO, na kterém jsou vidět zapojené komponenty do měniče a k modulům. Díky své jednoduchosti a propracovanosti rapid shutdown (náhlého vypnutí FVE pomocí STOP tlačítka) je systém vhodný pro malé i velké instalace.

Výsledky po celém světě ukazují skutečné zvýšení výroby díky tomuto systému. Vybral jsem výsledky z celého světa, kde působí společnost delší dobu a nezaměřoval jsem se pouze na rodinné domy. Zajímal jsem se hlavně o prokazatelné zlepšení výkonu FVE po nainstalování optimizérů.

V Japonsku na starší pozemní instalaci z roku 2016 byly nainstalované optimizéry na jeden string (označený #8), který bývá v ranních hodinách mírně zastíněn. Instalace proběhla v roce 2020.



Obrázek 10 - Graf výroby FVE pro porovnání před a po instalaci systému Tigo (19)

Světle zelený string, který je pravidelně zastínován vykazoval výrobu o 7% nižší, než světle modrý string bez zastínění. Po instalaci optimizérů výrobou dokonce převyšuje světle modrý string. (19)

V rámci zpřísnění bezpečnosti u FVE a zavedení rapid shutdownu u elektráren v USA, nainstalovali systém TIGO také v Kalifornii. Jednalo se o rodinný dům s instalací z roku 2009 bez jakéhokoli zastínění. Dnes si pochvalují dohledový systém, dodržení zvýšení bezpečnosti, snadnou kontrolu nad výrobou modulů a celoroční nárůst výkonnosti modulů o 5 %. (20)

V Brazílii na rezidenčním domě hlavního distributora byl naměřen 11 % nárůst výkonu modulů. (21)

Ve Španělsku na členitém rodinném domě nárůst o 26 % (22).

Je tedy patrné, že tento systém je nejen velmi efektivní, ale zároveň nám umožňuje instalovat FV moduly i na místa, kde bychom je z důvodu zastínění neměly být instalovány. Pozitivní výsledky jsou naměřeny i na modulech bez jakéhokoli zastínění. Je to z důvodu zastínění, které způsobují procházející mraky, nebo krátkodobé znečištění FV modulů.

4.6 A-Z Traders

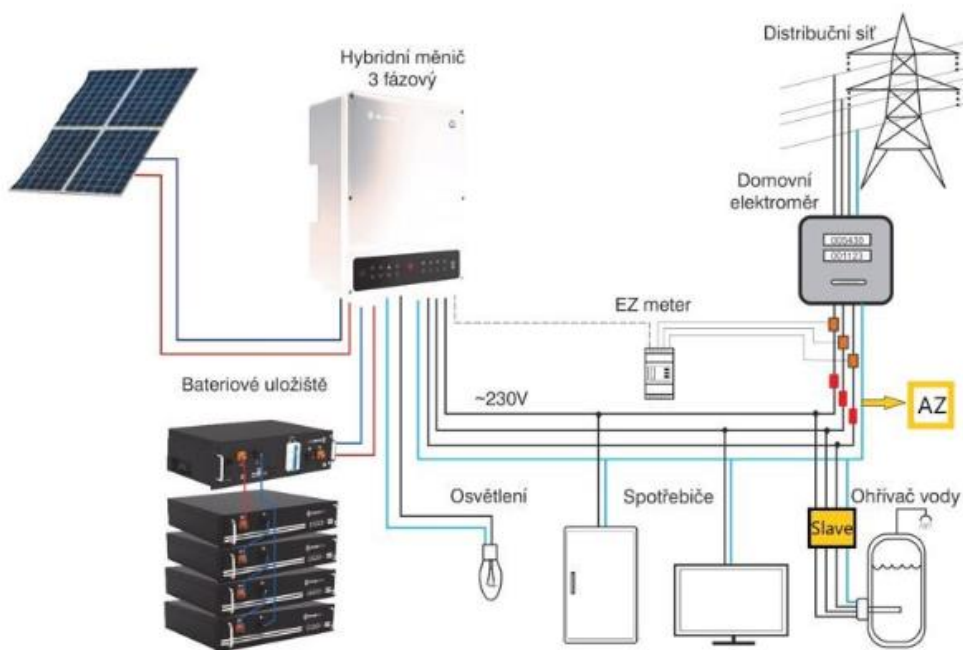
Česká technologická společnost zabývající se výrobou a vývojem fotovoltaických rozváděčů, řízením a regulací inteligentních domácností. Ve spojení s fotovoltaickou elektrárnou je jejich vizí zajistit maximální úsporu energie a využití vyrobené energie.

Jejich vlastním produktem je A-Z ROUTER SMART. Jedná se o wattrouter, který je nastavitelný podle potřeb zákazníka. Komplet se skládá z měřicí jednotky DRP-3SM (master zařízení) a regulační jednotky DRP-3SL (slave zařízení). Jednotky jsou mezi sebou bezdrátově propojeny a každá master jednotka pojme až 3 regulační jednotky. Regulační jednotky se instalují před velké spotřebiče, které nepotřebují energii okamžitě a fungují jako úložiště energie.

Funkce a vlastnosti A-Z ROUTER SMART:

- Třífázové nepřímé měření velikosti proudu
- Třífázové přímé měření napětí
- Pro každou měřenou fázi nezávislý výpočet směru proudu a celkového výkonu

- Nezávislé měření v každé fázi zvyšuje přesnost regulace pro systémy s nesymetrickými střídači
- Regulace přetoku probíhá nezávisle v každé fázi
- Vstup HDO na měřicí jednotce spolu s nastavením umožňuje nucené sepnutí spotřebiče dle požadavků uživatele
- Vstup MODE umožňuje přepínání mezi dvěma scénáři (nastaveními) zařízení
- Integrovaný modul reálného času zálohovaný lithiovou baterií
- Bezdrátové spojení jednotek urychluje instalaci a rozšiřuje možnosti umístění (23)



Obrázek 11 - Schéma zapojení A-Z routers systému (24)

Schéma znázorňuje zapojení A-Z systému s jedním slave zařízením. Na měnič jsou připojeny baterie, FV moduly a spotřebiče. Měnič má vlastní měřicí cívkami až u hlavního elektroměru (EZ meter), které detekují a měří odebranou energii ze sítě a směr toku energie. A-Z master zařízení, které je umístěno hned za cívkami měniče má vlastní měření pro kontrolu a zvýšení přesnosti naměřených hodnot a komunikuje se svými slave zařízeními. Slave zařízení podle naměřených přetoků do veřejné sítě spínají velké spotřebiče jakými jsou elektrokotle, nabíjecí stanice na elektromobil, tepelná čerpadla nebo ohřevy vody do bazénu.

Ve webové aplikaci A-Z Monitoring se sledují aktuální toky energie, včetně dat z měniče, která jsou sbírána pomocí ModBus do A-Z masteru. Dále se pomocí aplikace

nastavuje prioritizace spotřebičů (slavů před spotřebiči), které mají přednost na využití přebytečné energie. Lze také nastavit, při jaké spotové ceně chcete prodávat, nebo nakupovat energii. Bohužel nejedná se o dynamický nákup a prodej v nejuvhodnější časy, ale pouze podle předdefinovaných hodnot. Toto rozšíření do systému budou teprve přidávat a také budou přidávat učení se návyků domácnosti a předpověď osvitů.

4.7 SOMI application and services

Technologická společnost zaměřující se na vývoj vlastního softwaru s chytrým řízením toku energie a instalacemi těchto chytrých elektráren. Vyvíjejí uzavřený centralizovaný systém, který pomocí SOMI IP komunikuje přímo s měničem na sběrnici RS232. Připojením SOMI IP již nelze zapojit výrobcem vyráběná anténa a veškerá data prochází skrze SOMI IP, která se připojuje k internetu. Komunikace s cizími servery je blokována a podporuje pouze server SOMI. Nese to své výhody z pohledu kyberbezpečnosti a nežádoucímú úniku osobních dat, jakými jsou například energetické a denní návyky osob žijících v objektu.

Veškerá data, která shromažďuje střídač, se odesílají na server SOMI, kde se vyhodnocují, připraví se model energetického návyku a načtou se data spotových cen a ozářenosti. Vytvoří se několik modelů s predikcí nákupu a prodeje energie na dalších 24 h a nejuvhodnější z nich se odešle ve formě změny nastavení do měniče. Přepočítávání modelu probíhá kontinuálně, takže pokud se nalezne nový model, který je uvhodnější díky příchodu nových dat, je tento nový model opět odeslán do měniče.

Zároveň se s daty o spotřebě a výrobě odesílají diagnostická data měniče. Díky sběru veškerých dat je možné poměrně snadno vyhodnocovat nestandardní chování FVE. Pomocí vzdáleného monitorovacího systému je společnost schopna spravovat nastavení střídačů, pokud by například klient fyzicky s měničem manipuloval. Pomocí diagnostických dat lze detekovat a určit problém bez fyzického zásahu techniků. Mnohdy to není nic závažného a lze problém vyřešit vzdáleně změnou nastavení.

Každý klient obdrží vlastní monitorovací systém, ve kterém se prozatím nedá měnit nastavení FVE, ale lze si tam prohlédnout vlastní výrobu, spotřebu, predikce i spotové ceny.

4.8 Fénix Group - AERS

Jedním z prvních průkopníků kombinující chytrá řízení energií objektu a fotovoltaiky je právě společnost Fénix. Společnost se vydala cestou inteligentního řízení připojeného k bateriovým úložištím od společnosti AERS. Řízení je dynamické, kdy se systém rozhoduje o tom, zda vyrobenou energii bude ukládat do baterie, dodávat do ohřevu vody, nabíjet elektromobil nebo prodávat do sítě.

Bateriové stanice HES od společnosti AERS jsou komplexním řešením o velikosti 0,6 x 0,6 x 1,9 m. Unikátní stanice obsahuje 10kW střídač, 2x MPPT pro řízení FVE až o velikosti 12 kW, řídicí jednotku a velikost úložiště až 41 kWh. Jedná se o nadstandardní "All In One". Samotný koncept "All In One" není novinkou, přidanou hodnotu přináší především inteligentní software, který byl vyvinut společně se všemi komponenty uvnitř na míru. Řídicí systém vyčítá z internetu data o spotových cenách a předpověď počasí, ze které se počítá predikce pro výrobu v aktuální den. Systém dále zohledňuje spotřebu domácnosti, díky čemuž algoritmus rozhoduje o nákupu, nebo prodeji energie v jednotlivé hodiny. (25)

Fenix group se jako dalším věnuje vytápění objektů, ohřevu vody, automatickému stínění do oken, klimatizacím a rekuperačním jednotkám na vzduch. Ve spojení s českým výrobcem Teco a.s. využívají inteligentního řízení systémem Tecomat Foxtrot. Tento systém je s otevřeným hardwarem pro cizí systémy na průmyslové a síťové systémy. Díky mobilní aplikaci lze přehledně sledovat a ovládat veškerá čidla, ovládací prvky a jiné technologie v objektu. Pomocí jejich technologií a inteligentního systému Tecomat se věnují výstavbě nízkoenergetických domů. Jejich hlavním transparentním objektem je nízkoenergetický dům v Omnicích. (26)

4.8.1 Nízkoenergetický dům v Omnicích

Novostavba rodinného domu, která od počátku propojuje moderní technologie a komfort bydlení je součástí výzkumného projektu CAMEB pod hlavičkou Univerzitního centra energeticky efektivních budov při ČVUT ve spolupráci s výrobcí a dodavateli dílčích technologií. Cílem projektu je získávat data v reálném provozu, která slouží k vývoji algoritmu pro efektivní řízení domu. Výstavba domu byla dokončena v roce 2021. Dům je velmi energeticky náročný, jelikož obsahuje bazén, vířivku, saunu i wallbox na nabíjení elektromobilu.

Na objektu je nainstalovaná fotovoltaická elektrárna o výkonu 9,8 kW_p s rozložením na polovinu na západní a východní stranu. Bateriové úložiště HES disponuje kapacitou 41,1 kWh. Od února 2022 je právě zde testovaný systém na chytrý nákup a prodej energie v závislosti na spotových cenách. (27)

V objektu se nachází stropní vytápění, podlahové vytápění i terasová elektrická topidla. Dále je objekt vybaven rekuperační jednotkou, klimatizací a automatickými žaluziemi. Aby zde fungovalo vše pospolu, je využito technologie inteligentního řízení Tecomat. Právě tento systém je zde klíčový pro zefektivnění provozních nákladů. Výhodou je možnost řídicí systém průběžně upravovat dle aktuálních poznatků a požadavků jen pomocí softwarových změn.

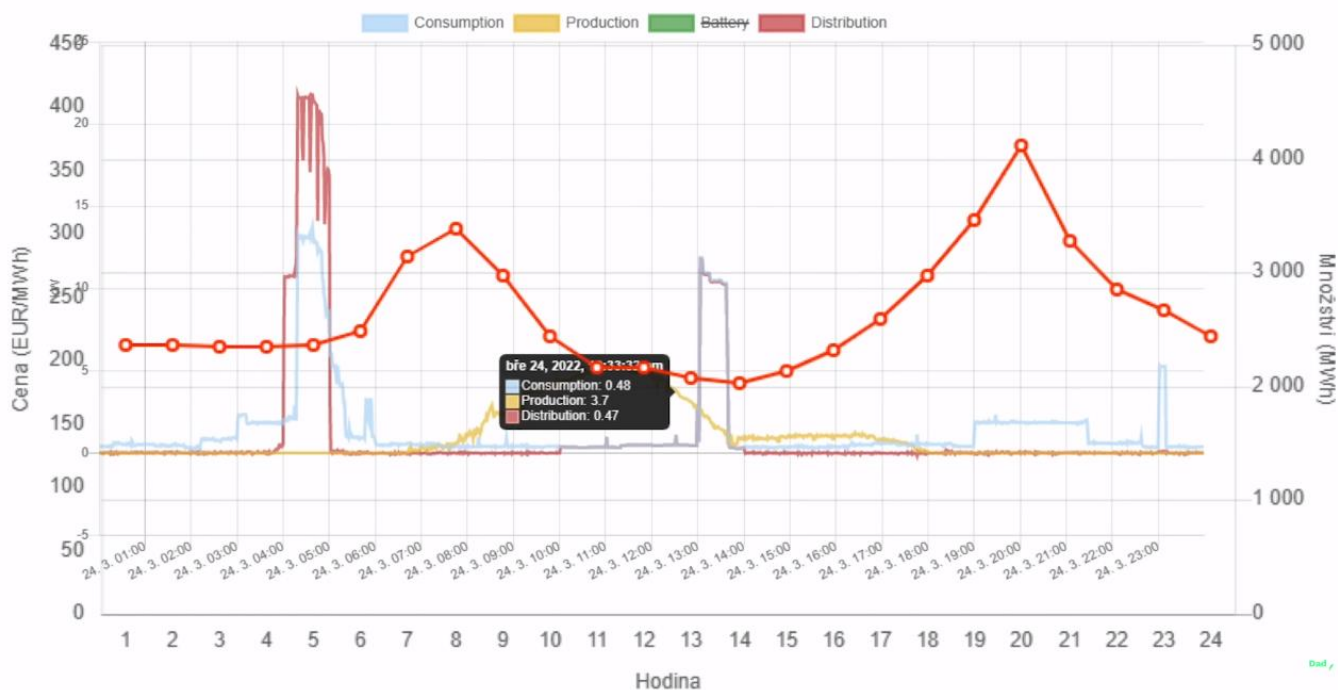
Tabulka 2 - Přehled spotřeby a výroby domu v Omnicích (27)

Období	Celková spotřeba elektřiny (kWh)	Výroba FVE (kWh)	Odběr ze sítě (kWh)	Dodávka do sítě (kWh)	Spotřeba na vytápění (elektřina/dřevo - kWh)	Nabíjení EV (kWh)	Faktura v CZK vč. DPH
01/2022	1 184	116	1 077	9	343/1 062	245	-
02/2022	1 253	266	1 000	13	237/1 375	346	4 401
03/2022	1 408	582	850	24	248/1 160	328	6 622
04/2022	1 168	724	616	172	176/964	20	1 912
05/2022	905	955	343	393	32/81	257	237
06/2022	971	1 107	302	438	23/0	238	-136
07/2022	1 184	1 098	466	380	23/0	339	1 032
08/2022	896	918	450	472	15/0	201	202
09/2022	823	553	745	475	101/135	0	-475
10/2022	1 605	350	1 370	115	215/465	593	5 688
11/2022	1 564	147	1 615	198	277/662	535	6 552

12/2022	1 868	72	2 035	239	499/1445	653	10 070
01/2023	1 852	114	1 754	17	519/1 472	612	7 353
02/2023	1 673	262	1 414	3	482/1 443	504	6 667
03/2023	1 626	562	1 146	82	402/1 135	501	4 502
04/2023	1 510	660	1 278	428	214/759	579	3 440
05/2023	1 103	1 072	597	566	72/240	332	1 166

Od března 2022 byl zahájen testovací režim algoritmu bateriového úložiště HES. Pozitivní výsledky ukazuje hlavně červen 2022, kdy se jednalo o vrácení peněz od dodavatele. Projekt nejen testuje řízení a algoritmy zařizující co nejnižší náklady domácnosti, ale zároveň testuje život v plně automatizovaném domě. Výsledky celého projektu jsou velmi pozitivní a účastníci si ho velice chválí. Právě zde se ukazuje, že je možné žít v moderním, plně elektrifikovaném domě a přitom bez žádného omezování, mít nízkonákladový režim a šetřit na energiích. Výsledky také ukazují, že aby se stal objekt plně soběstačný, budou potřebovat zvýšit výkon FVE. (27), (28), (29)

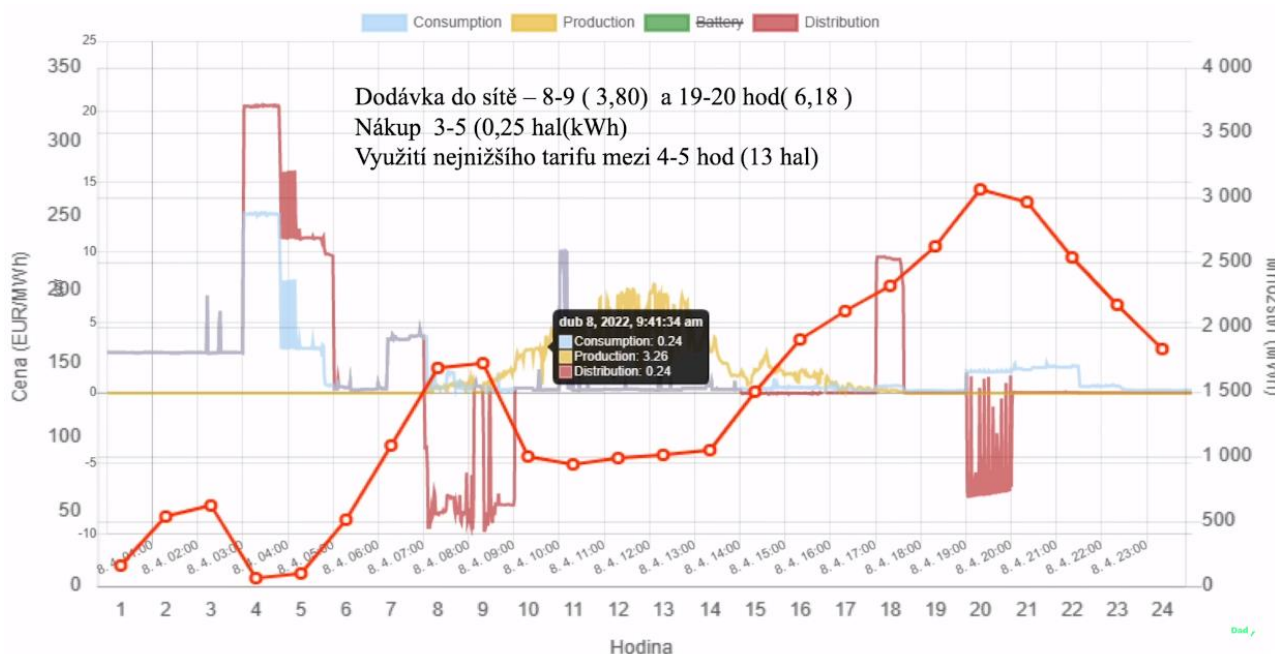
Rozborem toho, zda je výhodnější pouze chytře nakupovat energii za nejnižší ceny, nebo i prodávat za nejvyšší ceny se dospělo jednoznačně k závěru, že prodej hraje významnou roli. Při využívání spotových cen pouze k nákupu energie byla finanční úspora za měsíc březen 47 %. V dubnu bylo umožněno energii nejen výhodně nakupovat, ale přebytky energie, které by se nespotřebovaly, tak i výhodně prodat. Tímto nakládáním s energií bylo dosaženo finanční úspory 79 %. Podrobněji je vše vysvětleno v následujících odstavcích.



Obrázek 12 - Graf výroby, spotřeby a spotových cen bez prodeje energie (28)

Na obrázku je graf z jednoho dne z března 2022. Byl spuštěn režim maximálního využití energie za nejlevnější ceny při spotovém trhu. Na grafu je znázorněna cena elektřiny (červená křivka s vyznačenými body), spotřeba objektu (světle modře), produkce FVE (žlutá) a odběr ze sítě (červeně bez bodů). Graf znázorňuje, jak probíhal nákup energie pouze v brzkých ranních hodinách, kdy se dobily baterie a nabil elektromobil. To vše proběhlo za minimální ceny a poté po celý den, nedošlo k jedinému nákupu energie z distribuční sítě. Za celý měsíc se v průměru nakupovala energie za 2,71 Kč/kWh bez DPH při průměrné roční ČEZ fixaci 5,05 Kč/kWh. Dosažená úspora je tedy 47 %. Je to krásný výsledek, ale nedostačující vzhledem k ceně celého systému.

Od dubna 2022 byla spuštěna další fáze, ve které bylo za úkol výhodně nakupovat energii, využít ji a přebytečnou vyrobenou energii prodávat za nejvýhodnější ceny. Při častém kolísání cen je dalším velkým benefitem nakoupit a následně prodat energii se ziskem. Aby se takový nákup a prodej vyplatil pak rozdíl mezi nákupní a prodejní cenou musí být minimálně 120 EUR/MWh (24). Takto vysoký potřebný rozdíl je způsoben distribučními poplatky, poplatky dodavatele energií, DPH a amortizací komponent.



Obrázek 13 - Graf výroby, spotřeby a spotových cen s prodejem energie (24)

Na grafu je použito stejné barevné značení, jako v předchozím případě. Je zde patrné, že výkyv ceny byl razantnější než v březnovém případě. V ranních hodinách jsou opět nabíjeny elektromobil a baterie. Již v 8 h ráno probíhá první prodej energie do sítě. Přes den se baterie doplní ze sluníčka a následně v 19 h dochází ke druhému prodeji energie z baterie.

Za duben bylo tímto způsobem nakoupeno 611 kWh a prodáno 182 kWh. Průměrná nákupní cena byla 1,94 Kč/kWh a prodejní cena 5,5 Kč/kWh, přičemž průměrná cena na spotu bez DPH byla v tomto měsíci za 4,27 Kč/kWh. Výsledná klientova faktura činila 1 912 Kč. Opět při porovnání s ČEZ fixací by měsíční faktura činila 9 125 Kč. Výsledná úspora 79 %. Lze konstatovat, že klient nakupoval energii za 1,08 Kč/kWh, po připočtení DPH a poplatků nakupoval za 3,13 Kč/kWh². V rámci využívání baterie byla průměrně využívána kapacita od 30-90 % s tím, že po přepočtu na cykly by to vycházelo na 0,5 cyklu denně. (29), (28)

Další měsíce jsou v tabulce výše.

² Výpočty se zabývalo ČVUT, jakožto partner celého projektu v Omnicích

4.9 Loxone Group

Rakouská společnost založená v roce 2008 specializující se na vlastní systémy chytrého řízení pro automatizaci objektů. Loxone se zaměřuje na plnou automatizaci bez pokud možno jakéhokoliv zásahu uživatele. Jedná se o plně centralizovaný systém, který vyvíjejí jak v otevřené, tak uzavřené verzi pro kombinace s cizí technologií. Loxone Group se zabývá celou řadou produktů, a to od audiosystémů přes interkomy, až po vlastní miniservery a energetický management.

Vytvářejí ucelený systém chytré domácnosti, který propojuje senzory pohybu, senzory kouře, tepelné senzory, světla, vypínače, audio, klimatizace, pračky a další spotřebiče. Díky tomu lze Loxone použít nejen na snížení spotřeby, ovládání spotřebičů, ale také jako bezpečnostní systém. Například senzory pohybu lze použít v rámci zabezpečení, kdy jako hlásiče bude sloužit audiosystém, nebo lze pomocí senzorů detekovat osoby v místnosti a podle toho korigovat osvětlení a teplotu v místnosti. Stejný senzor může vykonávat všechny tyto funkce a to díky programovacímu prostředí Loxone Config, ve kterém se nastavuje provázanost a funkce zařízení.

4.9.1 Loxone miniservery

Právě varianty miniserverů jsou největší silou celého systému Loxone. Jsou jejím mozkiem, který vše řídí a ovládá. Disponují připojením k internetu, paměťovou kartou s konfigurací zařízení, svorkami pro sběrnice KNX³ (propojení s cizími technologiemi), Loxone Link (propojení s Loxone rozšířeními nebo dalšími miniservery) a mnoha vstupními a výstupními svorkami pro přímé ovládání. Celý systém je libovolně škálovatelný pomocí tzv. Extensionů (rozšíření) a naprosto flexibilní. Díky softwarovým nástrojům se z něj stává dokonalé a profesionální zařízení pro automatizované a inteligentní objekty. Nezáleží na tom, zda se jedná o domácnost, či firemní objekt, ale pouze na počtu připojených zařízení.

³ **KNX** je otevřený standard označován též jako EN 50090 či ISO/IEC 14543 a je využíván pro komerční či domácí automatizaci budov. Zařízení využívající protokol KNX mohou řídit osvětlení, klimatizační jednotky, bezpečnostní systémy, systémy pro správu energií, audio/video techniku, chytré lednice, displeje a mnoho dalších zařízení.

Zařízení a senzory spolu nekomunikují pomocí internetu, ale jsou propojeny právě přes zmíněný miniserver. Miniserver je připojen k internetu, odkud dostává potřebná data, nebo kam odesílá data ze zařízení pro klienta do aplikace. Potřebná data, která dostává online, jsou například spotové ceny, nebo ozáření a předpověď počasí. To vše pro vyhodnocování nákupu a prodeje energie, předpovědi výkonu FVE, nebo preventivní prvky pro ochranu před bouřkou a automatické zatažení žaluzií. Dále lze celý systém sledovat pomocí mobilního telefonu a zasílat pomocí něj příkazy.

Vyhodnocování dat, citlivé informace objektu a veškeré rozhodování koná miniserver pomocí svého nakonfigurovaného programu. Tudiž žádná data neopustí objekt klienta a ukládají se na vnitřní SD (Security Digital) kartu. Klienti se tak mohou cítit více v bezpečí a nemusí se bát k systému propojit úplně vše včetně například kamer.

Miniservery se dělí na tři varianty Miniserver, Miniserver Kompakt a Miniserver Go. Každý z nich lze instalovat jako centrální jednotku objektu, nebo je lze instalovat společně a využít tak jejich maximální potenciál.

Miniserver obsahuje 8 digitálních vstupů s 8 výstupy a 4 analogové vstupy. Komunikace probíhá pomocí fyzického síťového propojení. O bezdrátovou komunikaci lze nechat rozšířit. Disponuje svorkami sběrnice KNX, které umožňují připojení cizích senzorů a zařízení. Rozšiřující moduly Loxone se připojují pomocí vlastní sběrnice LoxBus, což zvyšuje počty vstupů i výstupů. Na jeden miniserver je možné připojit až 30 rozšiřujících modulů což vám umožní vytvořit síť se 498 vstupy a 372 výstupy. Program vlastního miniserveru se nahrává na jeho paměťové úložiště.

Miniserver Go je bezdrátovou centrální jednotkou. Fyzický vstup má pouze pro propojení pomocí Loxone Link. Zařízení je připojeno na internet a všechna komunikace se zařízeními probíhá bezdrátově na frekvenci 868 MHz nebo 915 MHz. Ideální využití je do novostaveb pro jeho absenci drátového propojení s ostatními zařízeními. Miniserver Go podporuje připojení až 128 bezdrátových zařízení. Ideální pro propojení s řízením žaluzií, kouřových čidel a poplašných zařízení, která mohou být libovolně rozmístěna po objektu.

Miniserver Kompakt slučuje možnosti miniserveru a miniserveru Go. Jedná se o menší variantu miniserveru podporující i bezdrátovou komunikaci, a navíc systémy audio. Systémy audio jsou jedním z odvětví, čemu se společnost věnuje a to nejen

vzhledem k ovládání reproduktorů po celém domě, ale také kvůli propojení se zabezpečovacími systémy. Reproductory lze totiž využít jako poplašná zařízení.

4.9.2 Software Loxone Config

Programování systému Loxone probíhá v softwaru Loxone Config, zdarma přístupném softwaru, ve kterém se nastavují funkce miniserveru a webové aplikace. Webová dohledová aplikace je dynamicky přizpůsobována vašim potřebám. V Loxone config se nastavuje nejen funkce miniserveru, vstupy a výstupy, ale především funkce webové aplikace. Funkcemi je myšleno zobrazení zpracovávaných dat, ovládání celého objektu z mobilní aplikace (osvětlení, žaluzií, topení), či ponechání na automatickém chování. Při vývoji softwaru je myšleno obzvláště na jednoduchost a intuici.

Loxone Config vyniká svým graficky uživatelsky přívětivým rozhraním. Programování se skládá z předdefinovaných programovacích bloků, které jsou skládány za sebe. To umožňuje snadnou orientaci a přehlednost v naprogramované funkcionalitě. Předdefinované bloky jsou otevřené pro uživatelské dodefinování a změny parametrů. Příkladem může být ovládání osvětlení, ve kterém si sami definujeme počet vstupů a způsoby sepnutí i počet výstupů, kterými nemusí být pouze světelné okruhy, které ovládáme.

Aplikace podporuje širokou škálu zařízení a senzorů, které lze integrovat do chytrého domu. Od ovládání osvětlení, topení, až po bezpečnostní prvky, vše může být pohodlně konfigurováno přímo v Loxone Config. Uživatelé mohou také využívat logické operace a podmínky pro nastavení specifických pravidel a reakcí na různé události.

Loxone Config není pouze o programování a konfiguraci, ale také o vytváření komplexních a efektivních chytrých domovů. Ať už jde o úsporu energie, zvýšení bezpečnosti nebo zlepšení celkového komfortu, tato aplikace poskytuje nástroje pro dosažení cílů uživatelů v oblasti chytré domácnosti.

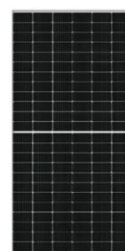
5 Návrh řešení

Ve spolupráci se společností SOMI jsem připravil řešení pro klienta z Chýně. Jedná se o dvoupatrový rodinný dům s garáží, zahradou a bazénem. Objekt má plochou střechu, a proto se musí umisťovat moduly na přizvednuté konstrukce s úhlem nejlépe kolem 30 stupňů. Mezi každou řadou modulů je potřeba vytvořit dostatek místa, aby si jednotlivé řady modulů navzájem nestínily. Klient si pořídil hybridní automobil s kapacitou baterie 11,6 kWh. Každý den jej nabíjí kapacitou kolem 10 kWh, což mu vychází na každodenní jízdu do práce a domů. Cílem bylo maximalizovat velikost elektrárny na 9,9 kW_p s bateriovým úložištěm 20,48 kWh s nabíjecí stanicí (wallboxem).

5.1 Využité komponenty

Fotovoltaické moduly Himax 550 W

Moduly od výrobce Sunpal (SP550M-72H) disponují účinností 21,3 %. Jedná se o monokrystalické články s technologií half-cut (zdvojnásobení článkových stringů v modulu).



Obrázek 14 - Fotovoltaický modul (30)

Hybridní měnič SOMI

Třífázový asymetrický hybridní měnič od výrobce Deye (SUN-10k-SG04LP3) s výkonem 10 kW. Střídač podporuje nízkonapěťové baterie (40-60 V) s vysokým výkonem až 210 A. Disponuje dvěma MPPT a podporuje vstupní FV výkon až 13 kW_p. Pomocí aktivního chlazení nedochází k přehřátí ani v letních měsících.



Obrázek 15 - SOMI měnič (30)

Baterie SOMI

Lithium-železo-fosfátová (LiFePO₄) baterie od výrobce Sunpal (SP10000U). Provozní napětí má 42-54 V a výkon až 9,6 kW. Výhodou je paralelní zapojení až 14 ks baterií v módu master a slave. Každá baterie má kapacitu 10,24 kWh s vlastní BMS (battery management system).



Obrázek 16 - Baterie SOMI (30)

Wallbox

Nabíjecí stanice na elektromobily dle standardu IEC 62196-2 s výkonem až 22 kW. Třífázový wallbox na napětí 380 V s funkcí dynamické změny výkonu podle spotřeby objektu. Wallbox je vhodný i do venkovního prostředí. Jednoduchá instalace plug & play s připojením k wifi a vlastní aplikací pro sledování nabíjení.



Obrázek 17 - Nabíjecí stanice (wallbox) (30)

Optimalizační systém

Optimalizační systém včetně monitorovací jednotky od společnosti HoneyBee, jež má stejnou funkcionalitu jako systémy Tigo. Optimizéry pro snížení efektu zastínění se využívají jeden na dva moduly, k nim je přidáno zařízení swarm, které bezdrátově komunikuje s optimizéry a předává informaci řídicí jednotce (Beehive). Beehive obsahuje stop tlačítko a lze připojit k internetu. Díky těmto zařízením lze kontrolovat každý modul zvlášť a vyhodnocovat jejich kvalitu.

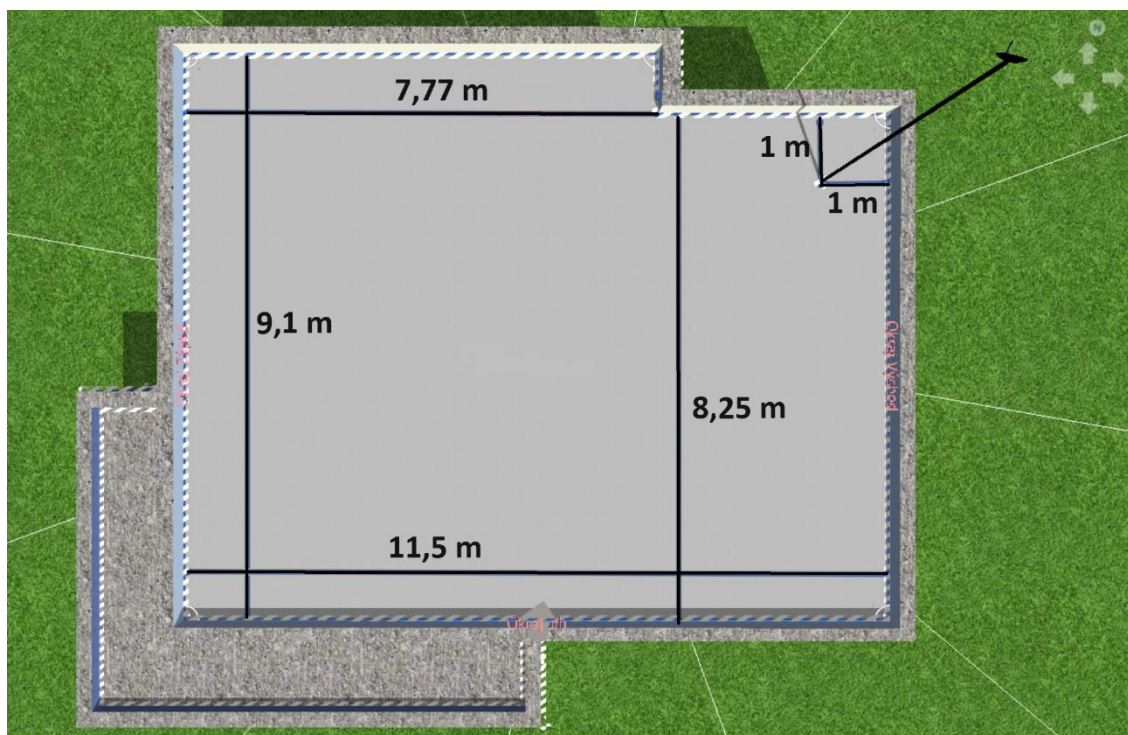


Obrázek 18 - Zleva Beehive, Swarm, Optimizer (31)

5.2 Návrh FVE

Zúčastnil jsem se technické prohlídky pro lepší představu plánování celého projektu. Po přeměření střešní plochy nebylo na moduly dostatek místa, aby si moduly navzájem nestínily. Z toho jsem přidal do projektu také optimizéry i monitorovací systém, aby měl klient přehled nad moduly a zároveň pro zvýšení protipožární bezpečnosti. Uprostřed střechy stál vysoký hromosvod, který musel být přemístěn k okraji střechy. Majitel stanovil, že žádné moduly nemohou být umístěny na střechu garáže. Na obr. 19 jsou znázorněny rozměry střešní plochy i s přesunutým hromosvodem.

Veškeré designové návrhy jsem vytvářel v programu PV*SOL premium 2023 (32), který je pro FVE ideálním nástrojem. Kromě dobrého designu umí PV*SOL propočítat zastínění, výrobu a další předpokládané parametry podle dodaných dat. V neposlední řadě také automaticky hlídá kompatibilitu použitých komponent (zejména dimenzování měniče). V pravém horním rohu obrázku je slabě znázorněna orientace budovy vzhledem ke světovým stranám.

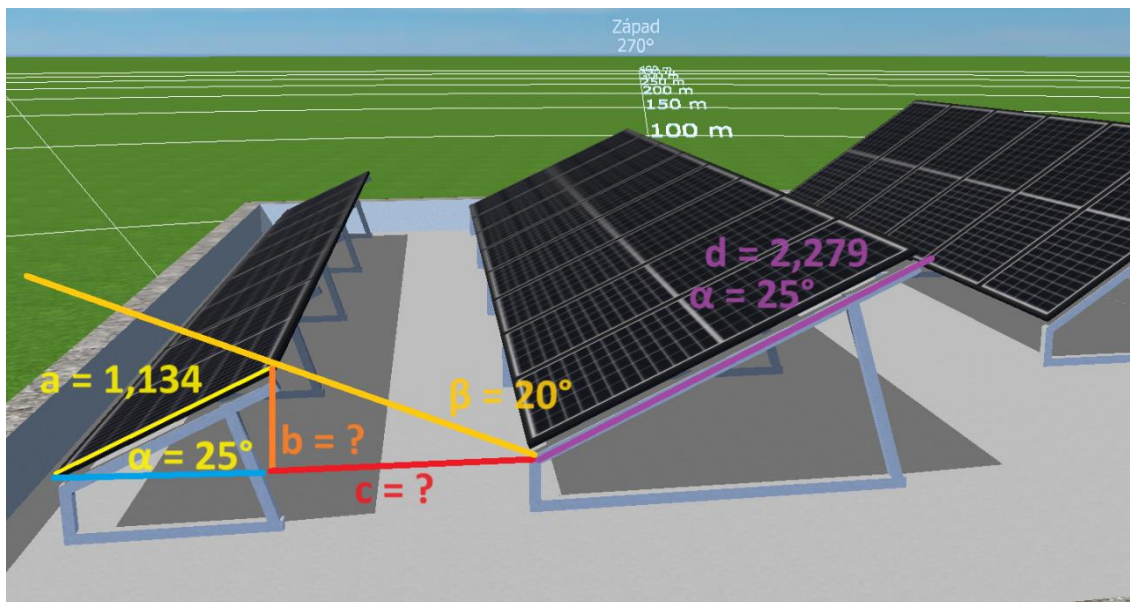


Obrázek 19 - Rozměry střešní plochy

Pro maximalizaci ušetření energie bylo potřeba zjistit největší spotřebiče, u kterých by se dalo ovlivnit jejich spouštění a přesunout jejich spotřebu pokud možno do denního provozu, dokud svítí slunce. Největší spotřebu vytváří dobíjení elektromobilu, tepelné čerpadlo pro ohřev bazénu, oběhové čerpadlo s filtrací do bazénu, klimatizace a ohřev TV. Tyto spotřebiče představují prioritu pro pokrytí pomocí FVE.

5.2.1 Výpočet rozložení modulů

Pro orientační výpočet vzdálenosti řad modulů mezi sebou lze aplikovat snadný výpočet vysvětlený na obrázku níže. Výpočet slouží pro snadnou představu, jaká plocha je pro danou FVE potřeba.



Obrázek 20 - Způsob výpočtu vzdálenosti řad modulů od sebe

Minimální vzdálenost je reprezentována červenou přímkou „c“. Pro výpočet strany „c“, vypočítáme výšku „b“ pomocí strany „a“ a úhlu alfa.

$$b = \sin \alpha \cdot a$$

$$b = \sin 25 \cdot 1,134 = 0,48 \text{ m}$$

Pomocí výšky „b“ lze dopočítat vzdálenost „c“. Úhel beta, který reprezentuje, pod jakým úhlem dopadají sluneční paprsky na zemi a tím i velikost stínu. Doporučuje se počítat s úhlem beta 20 stupňů pro téměř nulové zastínění po celý rok. Úhly dopadajících paprsků jsou znázorněny na obr. 4.

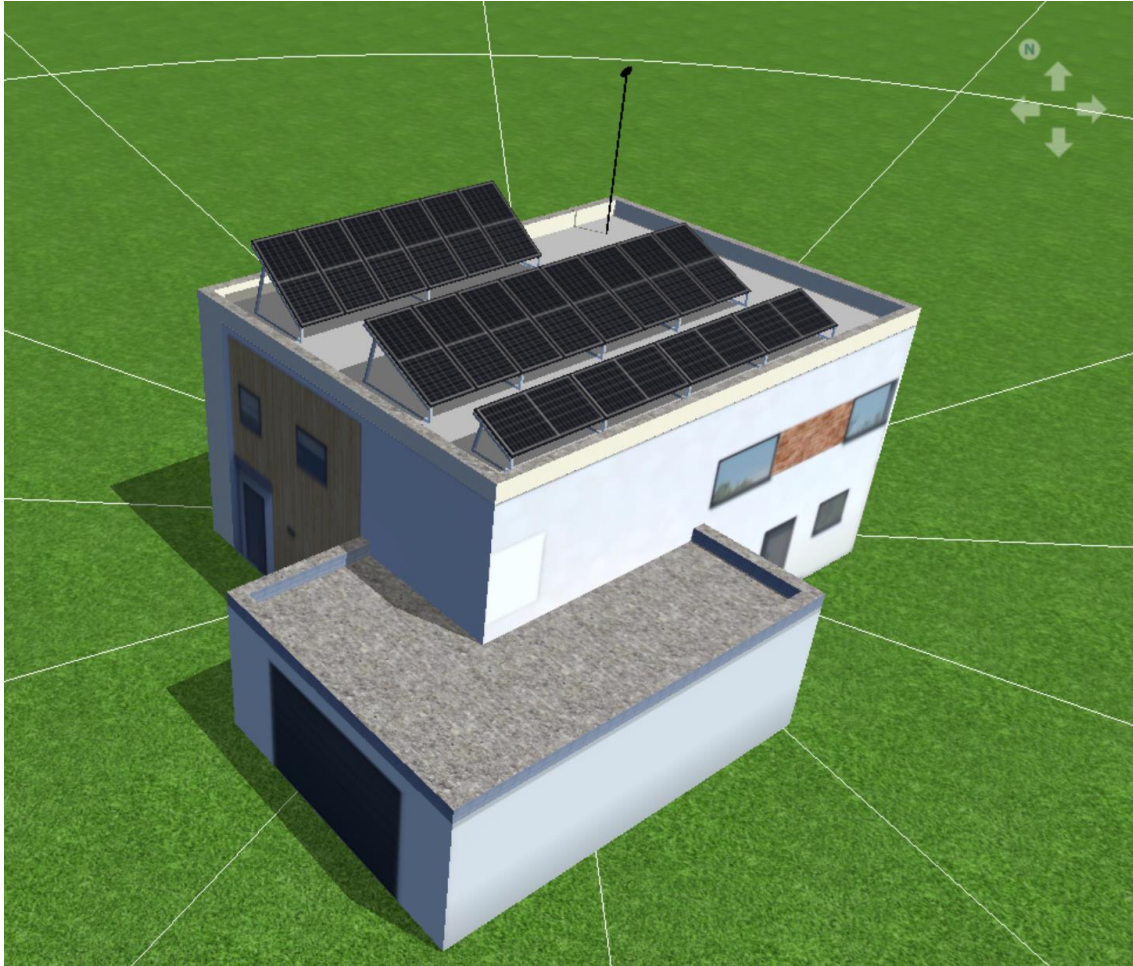
$$c = \frac{b}{\tan \beta}$$

$$c = \frac{0,48}{\tan 20} = 1,32 \text{ m}$$

Výsledek říká, že vzdálenost mezi jednotlivými řadami modulů položených horizontálně by měla být minimálně 1,32 m. Při zvýšení úhlu sklonu modulů o 5 stupňů (na 30 stupňů), by se zvětšila nutná vzdálenost na 1,56 m. V případě vertikálně položených modulů (druhá řada) při 25 stupních, by měla být vzdálenost minimálně 2,65 m.

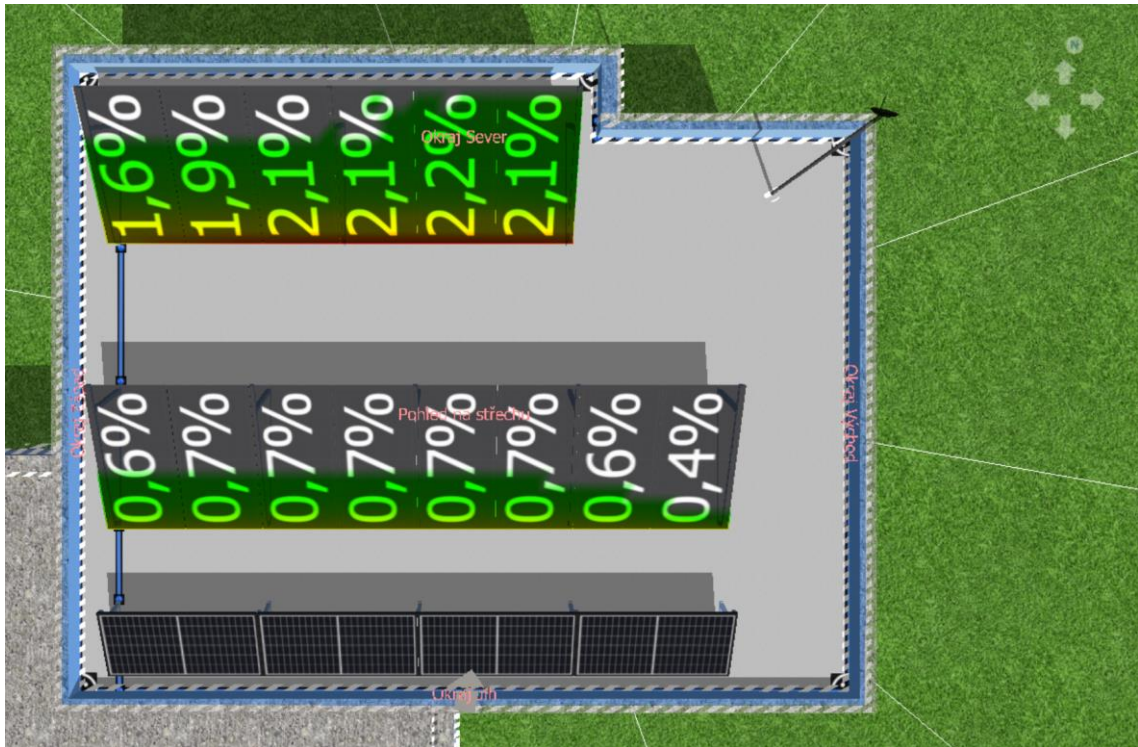
5.2.2 Vlastní návrh projektu v PV*SOL

Návrhů jsem vytvářel několik, vzhledem k malému prostoru pro moduly, které si musely stínit. Nakonec jsme se s majitelem rozhodli zkombinovat možnosti rozložení modulů horizontálně i vertikálně. Byla snaha využít vyšší sklon modulů pro vyšší účinnost v zimním období, kdy je menší výroba FVE i za cenu většího zastínění modulů, kterou kompenzují opmizéry.



Obrázek 21 - Model domu s navrženými FV moduly

Rozložení modulů je do tří řad, kdy první řada jsou 4 moduly horizontálně se sklonem 25 stupňů, druhá řada jsou vertikálně se sklonem 25 stupňů a ve třetí řadě opět vertikálně se sklonem 35 stupňů. Odstup první řady od druhé je 1,1 m a druhé od třetí 2 m. To vede k mírnému zastínění viz obr. 22.



Obrázek 22 - Velikost zastínění modulů vypočítaná pomocí PV*SOL

Z výpočtu programu PV*SOL je vidět zastínění, které tvoří i vysoký hromosvod. Zastínění hromosvodem dopadá pouze na část třetí řady. Moduly jsou zapojeny do stringu do 12 a 6 modulů podle jejich sklonu.

5.2.3 Řešení spotřeby objektu

Obvykle není k dispozici velikost spotřeby jednotlivých spotřebičů, grafy nebo jiné ukazatele, podle kterých by bylo možné bezproblémově dimenzovat a řídit objekt. Naštěstí bylo předem určeno, jak velká má být FVE i které spotřebiče je potřeba obsáhnout do prvotní fáze energetického managementu. Pokud se převede veškerá spotřeba do denních hodin, pak s jistotou pokryjeme možné maximum. Jedná se o klimatizaci, oběhové čerpadlo, tepelné čerpadlo, nabíjení elektromobilu a ohřev TV.

Ovládání klimatizace dává smysl, pokud umíme detekovat pohyb v objektu, nebo v místnostech. Ušetření energie lze dosáhnout automatickým vypínáním klimatizace, pokud se nikdo v objektu nenachází. Prozatím si to klient hlídá sám, nebyl zatím připraven pro větší investici do plné automatizace. V rámci této práce jsem pro něj připravil Loxone rozšíření, o kterém do budoucna přemýšlí, ve kterém je toto řešené.

Oběhové čerpadlo bazénu má vlastní časovač a je potřeba, aby běželo minimálně 8 h denně. Přenastavil jsem nastavení oběhového čerpadla z nočního na denní provoz od 9 h ráno. Tím jsem zaručil běh čerpadla v době kdy klient obvykle nemá větší spotřebu, jelikož je již v práci a výroba FVE tuto spotřebu přes letní období pokrývá.

Tepelné čerpadlo pro ohřev bazénu bylo nastaveno pomocí časovače, ovlivňováno dostatkem energie z FVE a teplotou bazénu. Časovač určuje období, ve kterém je možné čerpadlo zapnout a délku jeho zapnutí. Tepelným čerpadlům škodí rychlé zapínání a vypínání, a proto mají vždy ochrannou délku zapnutí, po kterou musí být minimálně v provozu. Nastavená teplota zajišťuje nejnižší i nejvyšší možnou teplotu vody. Pokud je teplota vody v mezích, pak je přehřívána z přetoků FVE.

Ohřev TV je nastaven na přehřívání z přetoků z FVE během dne, pro snížení večerní spotřeby za energii.

Klient pravidelně nabíjí svůj elektromobil mezi 17 h až 21 h. Ne vždy v tyto hodiny svítí slunce a proto je potřeba každý den rezervovat 11 kWh v bateriích (především v případě spotových cen). Tuto funkci zajišťuje samoučící se systém SOMI.

Řízení přetoků energie a získávání informací o množství energie je především funkce nastavení Smart Grid v systému. Zde lze nastavovat, kdy se spotřebiče zapínají a vypínají. Obvykle je smart grid sepnut, když baterie dosáhnou 100 % a vypnut, když baterie klesnou pod 90 %. Není to ale pravidlem. Obvykle je potřeba na večerní spotřebu včetně nabití elektromobilu kolem 14 kWh. Přesně tyto návyky se systém SOMI učí, vyhodnocuje a určuje kolik energie se smí ještě prodat nad rámec spotřeby. S predikcemi a dlouhodobou zkušeností s daným objektem se data zpřesňují i na různá roční období. Jelikož objekt zatím není na spotovém trhu, není zde možné využít noční levnější elektřiny, nebo dražšího prodeje energie. Přesto si systém tyto data ukládá a jakmile přejde klient na spotový tarif, bude systém připraven.

5.3 Vyhodnocení výsledků

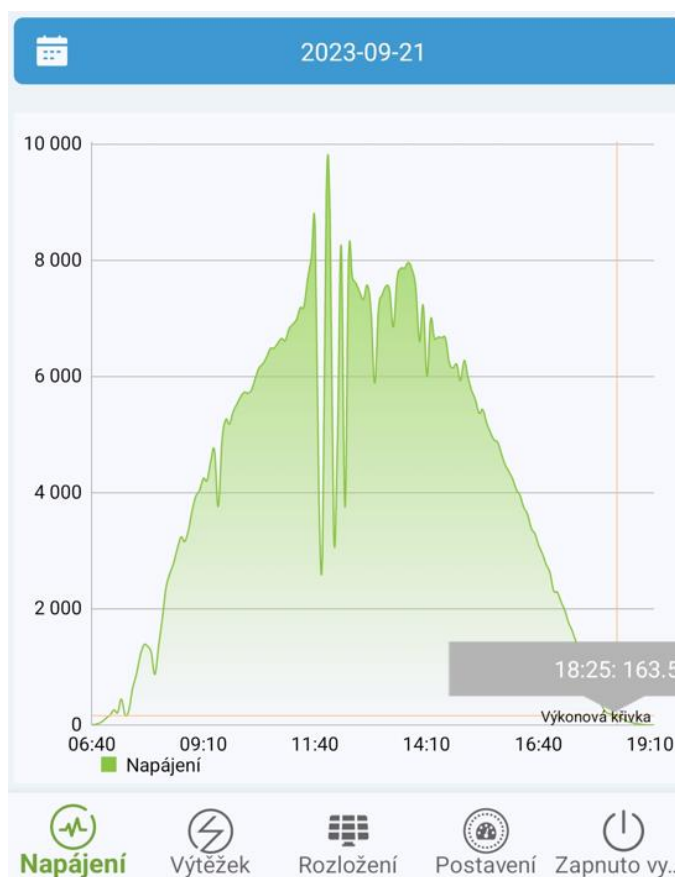
Pouze zpětným ohlednutím lze zjistit, zda očekávání od zakoupeného systému a instalované FVE jsou taková, jaké všichni slibují. Obdržel jsem přístupy od společnosti k datům tohoto klienta i do jeho aplikací. Extrahoval jsem výsledky ze systému od června 2023, kdy FVE byla již v plném a funkčním provozu. Počátkem července mohl začít klient prodávat svou energii. Z důvodu více než roční fixace pokračující na nákup energie a z proměnlivých cen na spotu, se klient rozhodl prozatím na spot nepřecházet.

Klient byl velmi nápomocný vzhledem k mé práci a poskytoval mi měsíční vyúčtování od dodavatele energií. Díky tomu jsem měl data pro porovnání a kontrolu oproti datům ze systému ohledně zakoupené a prodané energií. Cena za nákup elektřiny je 4 204 Kč/MWh + měsíční poplatek + regulovaná. Dohromady cena za nákup elektřiny tvoří 5,93 Kč/kWh včetně regulované složky + 307 Kč/měsíc za poplatek dodavateli energií s poplatkem za elektroměr. Obdržel zároveň dobrou nabídku na fixní výkup energie za 3 500 Kč/MWh dodané do distribuční sítě bez dalších poplatků.

5.3.1 Optimizéry, Monitorovací systém Honeybee

Výsledky z optimizérů a jejich monitorovacího systému jsou užitečné pro kontrolu výkonu modulů, krátkodobých či dlouhodobých přehledů, nebo je možné jej využít pro zjištění ztrátovosti energie na kabeláži, či ve střídači.

Graf v aplikaci Honeybee, včetně přehledu výkonu jednotlivých modulů je patrný na Obr. 23 a 24. Moduly v jeden okamžik vyráběly v rozmezí 393 W – 452 W. Právě optimizéry zde zařizují, aby všechny moduly držely stejný proud a každý z nich mohl dosahovat maximálního výkonu.

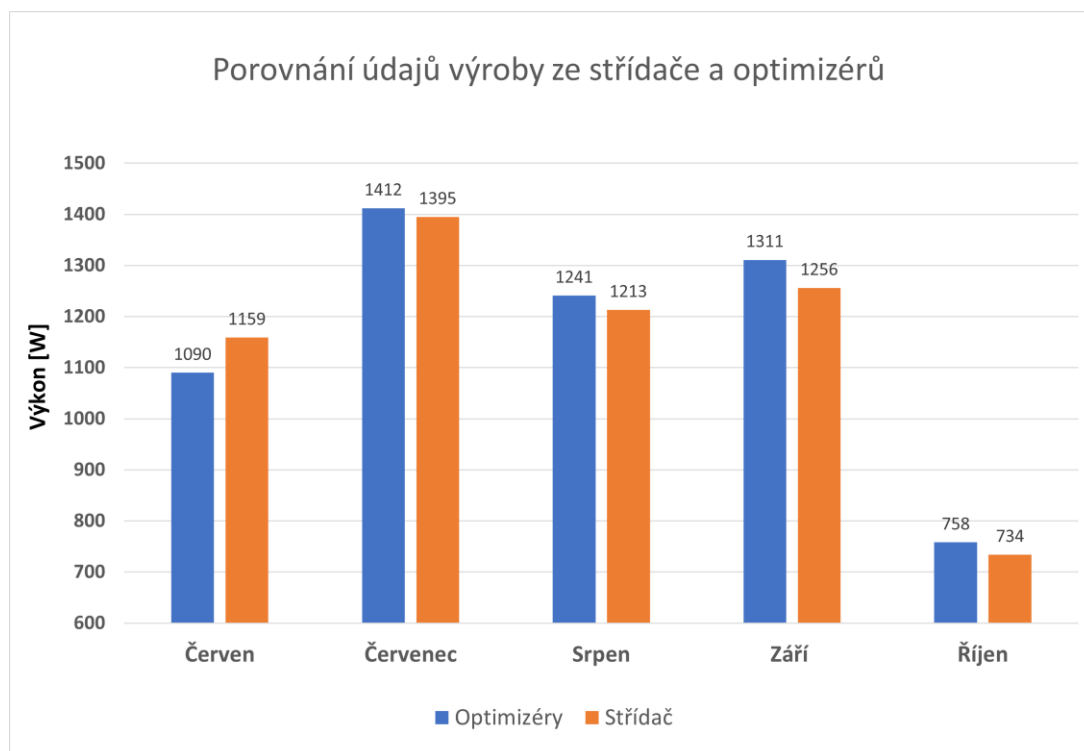


Obrázek 23 - Ukázka grafu výroby (výkonu) z 21.9.2023 (aplikace Honeybee)



Obrázek 24 - Zobrazení výkonu jednotlivých modulů (aplikace Honeybee)

Provedl jsem porovnání hodnot vyrobené energie ze systému HoneyBee a systému SOMI (hodnoty z měniče). Graf na obr. 25 zobrazuje, jak se právě tyto hodnoty rozcházejí. Hodnoty z optimizérů jsou o trochu vyšší než hodnoty ze střídače, čímž je vidět přibližná ztrátovost na kabeláži, nebo měniči. Nelze přesně říci, kolik je odchylka měření a kolik reálná ztráta na kabeláži. Anomálie v červnu, kdy střídač ukazuje vyšší hodnotu, než optimizéry je způsobena datem instalace optimizérů 4.6. Podle grafu hodnot vychází ztrátovost od 1,2 % až do 4,2 % v závislosti na daném měsíci.

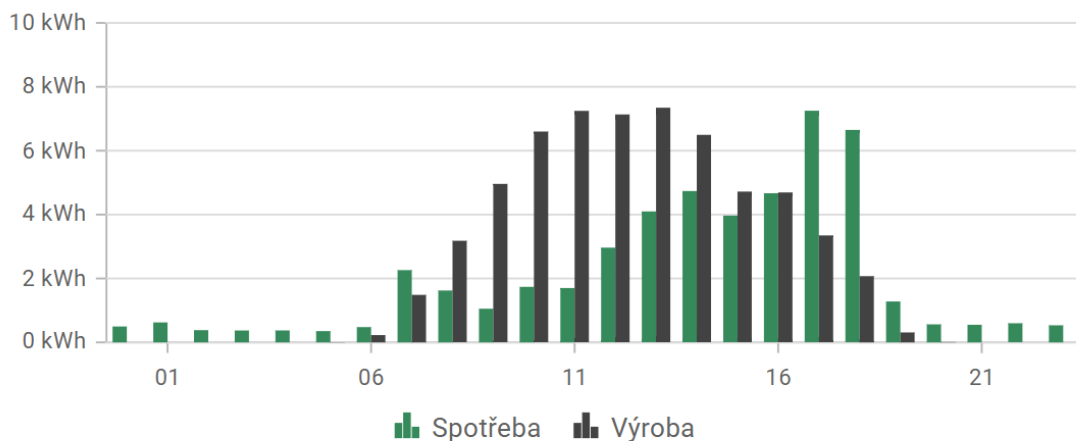


Obrázek 25 - Porovnání hodnot výroby ze střídače oproti optimizérům

5.3.2 Ukázka systému během jednoho dne

Graf denní spotřeby a výroby energie ze středy 16.8.2023 ukazuje, jak systém vyhodnocuje a zapíná spotřebiče během dne. Vybral jsem den, kdy byl klient v práci z důvodu co nejmenšího zásahu klienta do spotřeby objektu. Klidový provoz objektu je od 0,37 kWh – 0,5 kWh. Tento klidový režim byl dodržen po celou noc. Dalším důležitým ukazatelem je, že spotřeba začala výrazněji stoupat po 11. h, kdy baterie přesáhly 90% nabití. S ubývající odpolední výrobou začala spotřeba klesat. Poslední dva vysoké sloupce ukazují návrat klienta domů a zapojení elektromobilu do nabíjecí stanice. V 19 h baterie byla na 43 % a po celou noc bylo čerpáno z baterie. K vybití baterie na nejnižší hodnotu 15 % došlo v 5:30 druhý den. Za celý den bylo vyrobeno 59,84 kWh, spotřebováno 49,33 kWh, zakoupeno 4,2 kWh a prodáno 6,3 kWh.

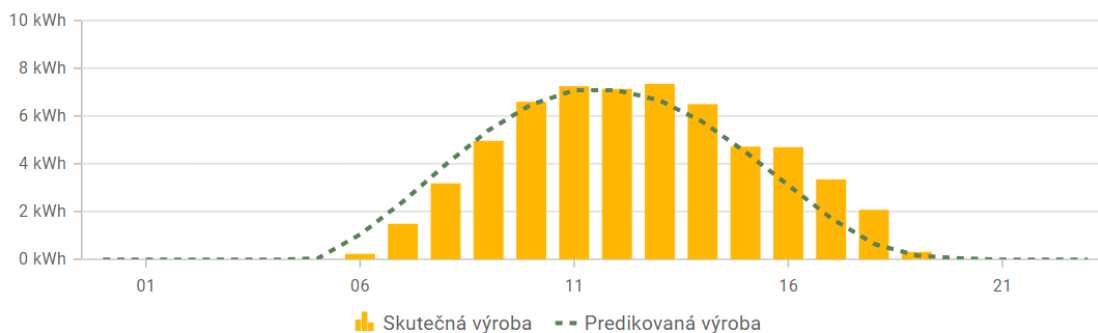
Výroba a spotřeba energie



Obrázek 26 - Spotřeba a výroba energie 16.8.2023 (SOMI aplikace)

Graf predikce výroby se řídí predikcemi osvitů dané lokality. Zde se jedná o slunečný den, a tudíž bez komplikací správně předpověděna výroba až na malé odchylky v odpoledních hodinách.

Predikovaná vs. reálná výroba energie



Obrázek 27 - Predikce výroby oproti skutečné výrobě (SOMI aplikace)

5.3.3 Shrnutí období od 1.6. – 31.10.2023

V tabulce č. 2 jsou zapsány hodnoty spotřeby a výroby energie, množství dodané i odebrané energie z distribuční sítě a ceny kolik se za energii zaplatilo. Ve sloupci „Cena za elektřinu bez FVE“ jsem počítal s aktuálním tarifem za odběr energie, s distribučními poplatky, i poplatky za odběrné místo včetně DPH. V posledním sloupci je to počítáno stejně jako v předposledním sloupci a zkontrolováno oproti fakturám od dodavatele energií.

Výpočet ceny za elektřinu s DPH:

$$E = (S \cdot 5,93) \cdot 1,21 + 307 \text{ [Kč]},$$

kdy E je výsledná cena s DPH a S je spotřeba energie. 5,93 Kč/kWh je nákupní tarif za energii a 307 Kč je poplatek dodavateli energií. Pokud se počítá bez FVE, pak se jedná o celkovou spotřebu objektu a v případě s FVE se jedná pouze o odebranou energii z distribuční sítě.

Výpočet ceny za prodanou energii:

$$P = D \cdot 3,5 \text{ [Kč]},$$

Kdy P je cena za prodanou energii, D je dodaná energie do distribuční sítě v kWh a 3,5 Kč/kWh je prodejní tarif.

Výpočet ceny za 1 kWh:

$$C = \frac{P - F}{S},$$

Kdy C je cena za 1 kWh, P je cena za prodanou energii, F je fakturační cena za odebranou energii a S je celková spotřebovaná energie.

Tabulka 3 - Přehled naměřených dat o spotřebě a výrobě elektřiny od 1.6 - 31.10.2023

Období	Celková spotřeba elektřiny (kWh)	Výroba FVE (kWh)	Dodávka elektřiny do sítě (kWh)	Odběr elektřiny (kWh)	Cena za elektřinu bez FVE s DPH (Kč)	Faktura včetně DPH (Kč)
1.6. – 30.6.	1356	1159	0	197	10 037	1475
1.7. - 31.7.	1322	1395	315	242	9 793	2051
1.8. – 31.8.	1217	1213	371	375	9 039	3020
1.9. – 30.9.	1132	1256	414	290	8 429	2408
1.10.– 31.10	731	734	188	185	5 552	658

V letním období je ušetření nákladů výraznější nejen díky fotovoltaice a vyšší výrobě FVE, ale především díky vyšší spotřebě klienta. Vyšší spotřeba je způsobena oběhovým čerpadlem s filtrací bazénu, tepelným čerpadlem na vytápění bazénu a klimatizací. V zimním období tyto spotřebiče nejsou spuštěny.

Klient díky chytré fotovoltaice spotřebovával elektřinu během tohoto období v přepočtu v průměru za 1,09 Kč/kWh včetně všech poplatků. Touto cenou se klient dostává i pod úroveň průměrné ceny silové energie na spotovém trhu. Za toto období 5 měsíců klient ušetřil cca 32 tisíc Kč.

Při spekulaci nad návratností investice se díky ušetření na energii v porovnání s cenou investice pohybujeme kolem 5 let. Bohužel tomu tak úplně nemusí být. Jelikož klient má aktuálně vysoký tarif na nákup energie a proto je jeho ušetření takto razantní a šetří převážně přes léto, kdy má FVE vysoký výkon. V zimních měsících má sice menší spotřebu, ale zároveň FVE má malý výkon a proto bude muset více energie dokupovat.

Podle různých zpráv a odhadů na vývoj cen energií na příští 2-3 roky se předpokládá pokles ceny na 140 EUR/MWh. Podle kurzy.cz se uzavřely kontrakty na výkup energie v roce 2025 za 3500 Kč/MWh, oproti roku 2024 kdy se uzavíraly kontrakty za 3650 Kč/MWh (33). Ačkoli se jedná o klesající trend, tak se mi nezdá, že by ceny klesaly nějak rychle. Oproti tomu spotový trh aktuálně opravdu klesá a během dne se ceny pohybují od 0 Kč/kWh do 3 Kč/kWh. Proto si myslím, že velkého ušetření klient dosáhne přechodem na spotový trh a nákupy energie v nejlevnější časy. Tím by bylo možné se dostat pod jeho dosavadní průměrnou cenu za kWh. Pokud bychom to poté srovnali s fixními cenami od dodavatelů energií tak bychom mohli být mile překvapeni.

5.4 Druhá etapa

Druhou etapou je míněna integrace systému Loxone do objektu zákazníka pro zvýšení jeho komfortu. Přesto, že klient již využívá chytrého řízení FVE v závislosti na spotových cenách, tak Loxone přináší stále mnoho dalších výhod. Výhody jsou bohužel kompenzovány nemalou investicí. Proto se s druhou etapou zatím vyčkává.

Výhody, které přináší systém Loxone spočívají v monitoringu celého objektu, automatizaci zařízení, optimalizaci spotřeby a vzdáleným ovládním celého domu. Loxone také nabízí práci se spotovými cenami a predikcemi osvitů pro všechna zařízení. Celý přehled FVE bychom převedli do monitorovacího systému Loxone.

Díky schopnosti sledovat a reagovat na aktuální produkci solární energie i na spotové ceny může klient efektivně optimalizovat energetické toky v domě. Znamená to automatické spouštění energeticky náročnějších zařízení v ideální čas. Jedním z velkých spotřebičů je klimatizace, nebo vyhřívání bazénu, které klient musí hlídat a ručně spouštět. V zimě to může být topení. Vše lze hlídat systémově, nebo ovládat vzdáleně.

5.4.1 Programování

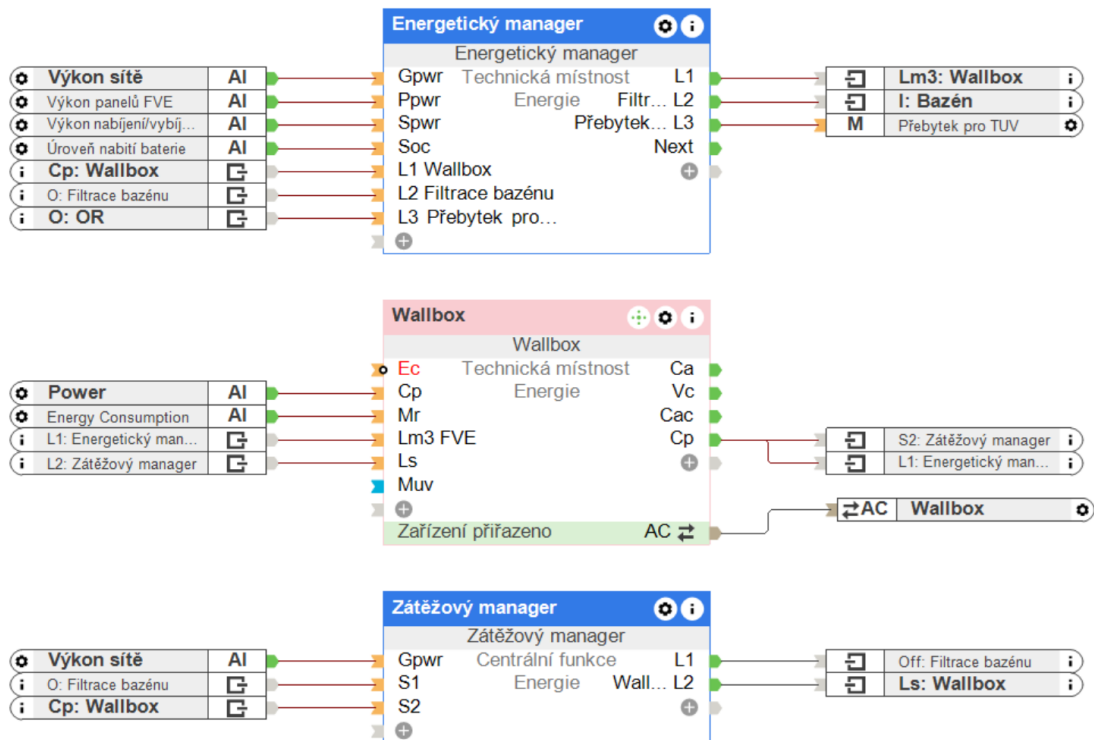
Loxone Config přináší příjemnou a přehlednou práci, kdy si lze rozdělit dům do jednotlivých místností a každou místnost programovat zvlášť. Je to pouze grafické rozdělení a ovládní těchto prvků může přijít z jiné místnosti.

Při začátku nového projektu je podstatné rozvrhnout si, jaké má objekt místnosti, kolik a jaká zařízení budeme propojovat a kolik budeme k tomu potřebovat aktivátorů či senzorů. Ke všemu je podstatné, zda se budou zařízení propojovat kabelově, nebo bezdrátově. Pro větší počet zařízení, nebo využití bezdrátové komunikace, která bude zajisté potřeba, se musí dokoupit extensiony (rozšíření).

V základu jsem navrhl v systému Loxone Config automatizaci pro wallbox, filtraci bazénu, tepelné čerpadlo a využití přetoků i do ohřevu vody ovlivňovaný nejen výkonem FVE, ale také spotovou cenou. Celý objekt jsem rozšířil o kontrolu přetížení sítě a předvedl jsem klientovi, jak by mohla vypadat automatizace v domě, například v obývacím pokoji.

Mezi základní programovací bloky patří jednoznačně blok „Energetický manager“ a pro lidi využívající spotových cen „Optimalizátor spotových cen“. V energetickém manageru se nastavuje řízení toku energie. V mém případě s využitím FVE se bavím o maximalizaci využití vyrobené energie, řízení přetoků vyrobené energie a maximalizaci

využití této energie právě pro vlastní spotřebu. Optimalizátor spotových cen snímá ceny silové energie ze spotu (energetická burza) na 24 h dopředu a sepne se v nejlevnější čas.



Obrázek 28 - Loxone Config programovací bloky - energetický manager

Obr. 28 je příkladem programování v Loxone Config zahrnující energetický management, wallbox a ochranu přetížení sítě. Jsou zde funkční bloky, které mají proměnlivý počet vstupů i výstupů a jsou mezi sebou provázány. Pro ukázkou jsem zvolil řešení část z managementu přetoků energie z FVE do wallboxu, TV a vytápění bazénu. Zároveň je vyřešena prevence proti přetěžování sítě a případnému vypadávání hlavního jističe.

Zátěžový manager řeší ono přetížení sítě. Jako vstupy využívá informaci o výkonu wallboxu, vytápění bazénu a aktuální odběr ze sítě. Výstupem jsou priority, podle kterých jsou zařízení vypínány, nebo omezovány na výkonu přesně v tomto pořadí. K omezování zařízení dochází ze shora seznamu. První je L1, následuje L2 atd. Do seznamu lze přidat i více zařízení.

Funkční blok wallboxu přináší rozšířené možnosti k jeho využívání. Na vstupu může být omezován zátěžovým managerem, nebo být spínáný energetickým managerem (pokud jsou splněny podmínky energetického managera). Při zapnutém wallboxu je odečítán aktuální nabíjecí výkon (Cp) a je odečítáno množství odebrané energie (Mr). Cp

předává informaci Energetickému i Zátěžovému managerovi. Z výstupu AC (API Connector) se posílají příkazy wallboxu. Funkční blok nám nabízí mnoho dalších vstupů i výstupů. Mezi zajímavé patří hlavně definování nabíjecích režimů.

Energetický manager pracuje s konkrétně definovanými zařízeními a to nejen podle jejich priority využívání energie (kdy se snaží využívat přetoků energie), ale také s jejich minimální délkou spuštění těchto zařízení. Příkladem může být bazén a jeho filtrace, která má nadefinováno, jak dlouho musí minimálně za ten den běžet. Na obr. 29 lze vidět základní nastavení. Mezi vstupy funkčního bloku patří výkon ze sítě, výkon FVE, velikost nabíjení/vybíjení z baterie v objektu, úroveň nabití baterie a informace z našich spotřebičů. Výstupem jsou zařízení v pořadí podle priority.

Priorita	Výstup	Typ	Ikona	Označení	Čas přípravy [s]	Min. doba běhu [min]	Minimální doba provozu / den [min]	Minimální doba provozu / den do...	Spínací výkon [kW]	Jmenovitý příkon [kW]
1	L1	Analog	Upravit...	Wallbox	60	0		0 Západ Slunce	1.4	11
2	L3	Digital	Upravit...	Přibytěk pro TV	60	0		180 Západ Slunce	4	4
3	L2	Digital	Upravit...	Filtrace bazénu	60	480	480	Západ Slunce	2	2
4	L4	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
5	L5	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
6	L6	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
7	L7	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
8	L8	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
9	L9	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
10	L10	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
11	L11	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0
12	L12	Digital	Upravit...		60	0		0 Západ Slunce	0	0

Obrázek 29 - Loxone Config - Energetický manager nastavení

Nastavení zařízení v energetickém managerovi začíná určením priority (přednostní zařízení), jaký typ výstupu je použit (analogový/digitální), jak dlouho v kuse musí být zařízení v běhu, kolik minut za den musí být v běhu, kdy je pro zařízení konec dne (vzhledem k využití FVE je konec dne při západu slunce), jaký je spínací výkon a jaký je maximální výkon. Pokud by nebylo dostatek přetoků energie z FVE pro splnění podmínek délky běhu zařízení, přesto se před západem slunce na povinnou dobu zařízení zapne. Pokud splní svou povinnou délku běhu za den, pak je zařízení vypnuté do dalšího dne.

Pro přehled vzhledu funkčních bloků, když jsou naskládány pro místnost jsem vybral obývací pokoj. Při volbě plné automatizace, jsem zvolil ovládání osvětlení, audio přehrávače, detekci přítomnosti, regulaci teploty a automatické žaluzie.

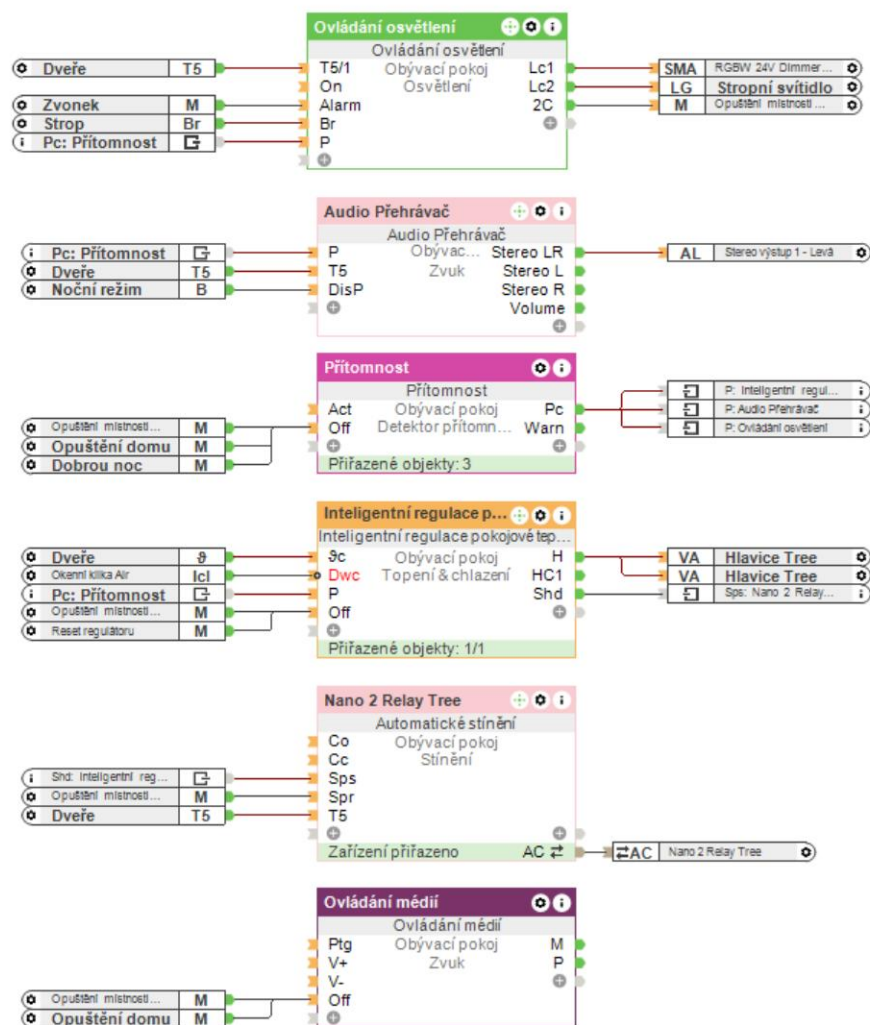
Osvětlení umožňuje použití světelných scén pro definované okruhy světel. Scény lze ovládat pomocí jednoho tlačítka s různým počtem stisků, nebo dlouhým stiskem pro

útlum osvětlení. Lze ale ovládat i různými akcemi, jako například při alarmu, aby se rozblíkala světla. Nebo při opuštění místnosti, aby se světla automaticky zhasla.

Ovládání audia pro řízení hudby v místnostech, kde se nacházejí osoby, nebo pro specifikaci hudby do každé místnosti zvlášť. Opět je audio napojeno i na alarm, jako výstražné zařízení. Zajímavou specifikací je nastavení nočního režimu, kdy chcete automatické vypnutí nebo ztlumení hlasitosti.

Detekce přítomnosti je využívána takřka u každého specifického ovládání, převážně pro ušetření spotřeby energie. Přítomnost lze detekovat nejen pomocí senzorů, ale také stiskem tlačítka, dálkového ovladače, nebo zapnutou televizí.

Regulace teploty je zajímavá právě v kombinaci s ovládáním žaluzií. Při překročení maximální teploty jsou aktivovány žaluzie pro stínění, aby slunce přestalo ohřívat pokoj a nebylo potřeba spínat klimatizaci. Lze nastavit rozsah teplot pro období, kdy se nacházejí osoby v místnosti a nebo když jsou pryč.



Obrázek 30 - Loxone Config - Konfigurace pro obývací pokoj

5.4.2 Očekávání od Loxone

Od Loxone se očekává ušetření spotřeby energie a zvýšení komfortu života. Loxone sice přináší veliké možnosti, které aby mohly být aplikovány, ale jsou potřeba nemalé investice do výměny některých spotřebičů, modernizace stávající elektroinstalace a přidání mnoha senzorů. Jakmile bude zařízení zákazníkem požadováno, bude se řešit výše investice a míra kompatibility jeho stávajících zařízení s Loxone. Teprve na základě toho se rozhodne, do jaké míry bude chtít systém Loxone. Ačkoli to přináší jistou úsporu energie, tak si nemyslím, že z ušetřených peněz by se dal rozumně celý systém zaplatit a tím dosáhnout rozumné finanční návratnosti. Pokud by se pro systém zákazník rozhodl, pak to bude za vidinou technologického pokroku, modernizace domu a zvýšení kvality a komfortu života.

6 Závěr

V této diplomové práci se věnuji využití chytrého řízení domácností s fotovoltaickými elektrárnami. Provedl jsem rešerši aktuálně dostupných systémů pro optimalizaci a chytrá řízení nabízených fotovoltaickými společnostmi a společnostmi zaměřujícími se na inteligentní systémy a automatizace objektů. V rámci spolupráce se společnostmi SOMI jsem navrhl řešení inteligentní elektrárny pro rodinný dům v Chýni, která byla společností nainstalována a úspěšně zprovozněna. Majitel objektu by rád svůj dům v budoucnu modernizoval, proto jsem pro něj připravil návrh modernizace se systémem Loxone, kterému se v této práci věnuji hlavně z pohledu programování a přehledu možností, které nám tento systém přináší.

V rámci návrhu řešení jsem pracoval s programem PV*SOL premium, ve kterém jsem připravil kompletní návrh FVE. Projekt sloužil také jako podklad pro vyřízení žádosti o distribuci i pro žádost o dotace. Navrhovaná elektrárna se skládá z 18 modulů 550 W_p, dvou baterií 10,24 kWh a střídače o výkonu 10 kW. Pro zvýšení výkonu FVE, bezpečnosti i dohledu nad elektrárnou jsem navrhl instalovat optimizéry HoneyBee s monitorovacím systémem. Fotovoltaický systém navíc obsahuje inteligentní řízení společnosti SOMI, které řídí nákup a prodej energie i z baterií v závislosti na spotových cenách a spotřebě klienta. Systém umí pracovat také s klienty, kteří jsou na fixních cenách za nákup a prodej energie, kdy se snaží v závislosti na výhodnosti uchovávat energii v bateriích pro vlastní spotřebu na základě predikcí spotřeby a teprve přebytek prodávat.

Výsledky systému jsou z období od 1.6. – 31.10.2023. Od 1.6. byla elektrárna plně zprovozněna a klient obdržel novou smlouvu na nákup energie za 5,93 Kč/kWh včetně distribučních poplatků. Od 1.7. obdržel také smlouvu na prodej energie za 3,5 Kč/kWh za dodanou energii do distribuční sítě. Z výsledků ze systému vychází, že díky chytré fotovoltaike spotřebovával elektřinu během tohoto období v přepočtu v průměru za 1,09 Kč/kWh včetně všech poplatků. Jen za toto období bylo ušetřeno cca 32 tisíc Kč. Z těchto dostupných dat vyplývá, že celá investice vložená do FVE se díky úspoře energie vrátí za cca 5 let. Spekulaci ohledně návratnosti FVE a vysvětlení výsledků se věnuji podrobněji v kapitole 6.3. Klient plánuje jít na spotový trh a využít systém ještě s vyšší účinností než doposud.

7 Zdroje

1. LIVERA, Andreas, M. Theristis, G. Makrides, S. Ransome, J. Sutterlueti, G.E. Georghiou. Optimal development of location and technology independent machine learning photovoltaic performance predictive models. *IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. [Online] 2019. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8980474>.
2. 10 hlavních trendů v chytré fotovoltaike do roku 2025. *solarinovinky.cz*. [Online] 22. 4 2020. <https://www.solarinovinky.cz/10-hlavnich-trendu-v-chytre-fotovoltaike-do-roku-2025/>.
3. Inteligentní ovládání a monitoring energie z FVE. *Loxone.com*. [Online] <https://www.loxone.com/cscz/produkty/energie/fotovoltaika/>.
4. KANNAN, Rathimala, K.W. Shing, K. Ramakrishnan, H. B. Ong, A. Alamsyah. Machine Learning Models for Predicting Financially Vigilant Low-Income Households. *IEEE Access*. [Online] 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9810947>.
5. POSPÍŠIL, kpt. Mgr. Libor. Praktická doporučení pro bezpečnost a požární prevenci střešních FVE. *hzscr.cz*. [Online] 2023. <https://www.hzscr.cz/clanek/prakticka-doporuceni-pro-bezpecnost-a-pozarni-prevenci-stresnich-fve.aspx>.
6. KREYSA, Karel. Polohové řízení solárního panelu s optimalizací energetické účinnosti. *vut.cz*. [Online] 20. 5 2011. https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38133.
7. Astronomie. *Třípól*. [Online] <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/astronomie/2147-o-lucii-a-slepictim-kroku-2-dil>.
8. What is a solar tracker and is it worth the investment? *SolarReviews*. [Online] 11. 1 2023. <https://www.solarreviews.com/blog/are-solar-axis-trackers-worth-the-additional-investment>.
9. MANJHI, Snigdha Kumari, Rohan, Rakesh a Kumar, Dharamdeo. Comparison of Static and Single Axis Solar Tracker. *IEEE Xplore*. [Online] 17. 12 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10051252/references#references>.
10. ZHANG, Xinghua, M. Chen, Y. Fu, Y. Li. A Step-Down Partial Power Optimizer Structure for Photovoltaic Series-Connected Power Optimizer System. *IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)*. [Online] 2018. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8590325>.
11. Solar Cell I-V Curve in varying sunlight. [Online] https://www.solar-kerberos.cz/images/15078507_248775535539064_8229592253755390504_n.png.

12. Spot market index. *spotmarketindex.cz*. [Online] <https://www.spotmarketindex.cz/>.
13. SONG, Ziyou, H. Hofmann, J. Li, X. Han, X. Zhang, M. Ouyang. A comparison study of different semi-active hybrid energy storage system topologies for electric vehicles. *Journal of Power Sources*. [Online] 2015. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877531401670X?via%3Dihub>.
14. BALAL, Afshin, M. Giesselmann. PV to Vehicle, PV to Grid, Vehicle to Grid, and Grid to Vehicle Micro Grid System Using Level Three Charging Station. *IEEE Green Technologies Conference*. [Online] 2022. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9772041/references#references>.
15. Evropská energetická burza. *Wikipedie.org*. [Online] 26. 9 2023. https://cs.wikipedia.org/wiki/Evropsk%C3%A1_energetick%C3%A1_burza.
16. Nařízení vlády č. 298/2022 Sb., o stanovení cen elektřiny a plynu v mimořádné tržní situaci a o stanovení s tím souvisejícího nejvyššího přípustného rozsahu majetkového prospěchu zákazníka. *Sagit*. [Online] <https://sagit.cz/info/uztxt.asp?cd=5&det=&levelid=1094670&datumakt=1.1.2023&full=y>.
17. Typy cen energií (spot, fix, pevná). *První česká energie*. [Online] <https://www.prvniceskaenergie.cz/podpora-info/vykupy-dodavky-zelena/ceny-energiitypy>.
18. Tigo TS4-A-0. *Tigo*. [Online] <https://cs.tigoenergy.com/product/ts4-a-o>.
19. Tigo optimizers increase output by 7%. *Tigo*. [Online] 2022. https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/61e9b2f64ff4c617fc353996_Case%20Study%20-%20Japan%20Commercial%20Ground%20Mount%20-%2020220120.pdf.
20. Residential add on with Tigo optimizers. *Tigo*. [Online] 2021. https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/60c044ba9c647629c48f77a4_Case%20Study%20-%20US%20Residential%20with%20Optimizers%20-%2020210608.pdf.
21. Solar distributor installs Tigo optimizers at. *Tigo*. [Online] 2021. https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/60c92e4a46ac30031c5c0efd_Case%20Study%20-%20Optimizers%20at%20Brazil%20Distributor%20HQ%20-%2020210527.pdf.

22. Neighbors in Spain average 21% Reclaimed. *Tigo*. [Online] 2022. https://assets-global.website-files.com/5fad551d7419c7a0e9e4aba4/6333894dcd7e903599170532_Tigo%20Case%20Study%20-%20Spanish%20Homeowners%20with%20Reclaimed%20Energy%20-%2020220927.pdf.
23. A-Z ROUTER SMART. *A-Z Traders*. [Online] <https://www.aztraders.cz/a-z-router-smart-prislusenstvi#more>.
24. Obrázek systému A-Z routers. *A-Z Routers*. [Online] <https://www.aztraders.cz/media/document/67/a-z-router-smart-popis-v-mereni-a-mimo-mereni.jpg>.
25. Nákup elektriny za VOC je dostupný i domácnostem. *FENIX*. [Online] <https://www.fenixgroup.cz/cs/aktuality/nakup-elektriny-za-voc-je-dostupny-i-domacnostem>.
26. Technologie úsporných domů. *FENIX*. [Online] https://www.fenixgroup.cz/sites/default/files/kompletni_projekty_cz_1.pdf.
27. Nízkoenergetický dům v Omicích. *FENIX*. [Online] <https://www.fenixgroup.cz/cs/nizkoenergeticky-dum-v-omicich#>.
28. Spotové obchodování v praxi rodinného domu Omice | Electro Dad # 375. *Electro DAD*. [Online] https://www.youtube.com/watch?v=IU4RXxjFa-A&ab_channel=ElectroDad.
29. Dům pro budoucnost Omice | Projekt ČVUT a předních českých výrobců | Electro Dad # 302. *Electro Dad*. [Online] https://www.youtube.com/watch?v=MeSfrPt9y9k&ab_channel=ElectroDad.
30. Komponenty SOMI. *Somias.cz*. [Online] <https://somias.cz/produkty/komponenty/>.
31. Solární optimizéry. *kupsolar.cz*. [Online] <https://kupsolar.cz/produkty/solarni-optimizery/>.
32. Take your solar installations to the next level of efficiency. *pvsol.software*. [Online] <https://pvsol.software/en/>.
33. Energetická burza ČMKB - elektřina v r. 2025. *Kurzy.cz*. [Online] <https://www.kurzy.cz/zpravy/744783-39-tyden-na-energeticke-burze-cmkb-elektrina-v-r-2025-za-3500-kc-mwh-plyn-1550-kc-mwh/>.
34. Power optimizer. *Wikipedia.org*. [Online] 20. 5. 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_optimizer.
35. Standard KNX. *Wikipedie*. [Online] <https://cs.wikipedia.org/wiki/KNX>.

Školení:

1. Obchodní a technické školení SOMI application and services
2. Školení od technické podpory Loxone

Účast na veletrzích:

1. Veletrh FOR ARCH 2023
2. Smart Energy Forum 2023