

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ  
KATEDRA RADIOELEKTRONIKY



# Monitor toku energií v rodinných a bytových domech

Diplomová práce

**Bc. Jan Zejda**

Praha, Květen 2024

Studijní program: Elektronika a komunikace  
Specializace: Technologie internetu věcí

Vedoucí práce: doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zejda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **483547**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**  
Specializace: **Technologie internetu věcí**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Monitor toku energií v rodinných a bytových domech**

Název diplomové práce anglicky:

**Energy Flow Monitor in Family and Apartment Buildings**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se problematikou výroby a ukládání energie v rodinných a bytových domech.
- 2) Analyzujte potřeby uživatelů vs možnosti alternativních zdrojů, typy zdrojů a typy úložišť elektrické energie.
- 3) Podejte přehled existujících systémů na monitorování toku energie a možnosti sběru jejich dat.
- 4) Navrhněte a realizujte monitorovací systém pro domácnosti, který bude sbírat data z existujících energetických systémů a uživateli přehledně zobrazí stav energie v objektu a nabídne možnosti využití.
- 5) Navržený systém otestujte v reálném provozu a diskutujte případné nedostatky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] WHITE, Elecia. Making Embedded Systems: Design Patterns for Great Software. " O'Reilly Media, Inc.", 2011.  
[2] BLONDIN, Maude Josée, et al. Intelligent Control and Smart Energy Management. Springer Cham, 2022.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D. katedra radioelektroniky FEL**

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

Datum zadání diplomové práce: **06.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **21.09.2025**

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Stanislav Vítek, Ph.D.  
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



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

.....

---



## Poděkování

Chtěl bych poděkovat Stanislavovi Vítkovi za ochotu při vedení práce a pomoc v průběhu projektu. Dále bych chtěl poděkovat firmě BTL za zakoupení hardwaru pro projekt a poskytnutí objektu, na kterém jsem mohl systém testovat. Největší dík patří mé rodině za podporu a trpělivost.

---





## **Abstract**

This project aims to develop energy flow monitor for residential houses. Aim is not to develop measurement system but to design solution that can easily inform user about current energy situation in object and provide well arranged interface through which he can control appliances manually or automatically with algorithm. It uses prediction of energy production and its consumption during the day, thanks to which it is possible to use energy economically and achieve higher energy self sufficiency.

**Keywords** energy, monitor, sufficiency, system

---



## **Abstrakt**

Tento projekt cílí na vývoj monitoru toku energií v domě. Cílem není vyvíjet měřicí systém, ale navrhnout řešení, které dokáže uživatele jednoduše informovat o aktuální energetické situaci v objektu a poskytnout mu přehledné rozhraní, pomocí kterého může ovládat spotřebiče manuálně nebo automaticky dle algoritmu. Věnuje se predikci výroby energie a její spotřebě v průběhu dne. Díky tomu je možné využívat energii hospodárně a docílit tak vyšší energetické soběstačnosti.

**Klíčová slova** monitor, energie, soběstačnost, systém

---



## Zkratky

**API** Application Programming Interface

**FVE** Fotovoltaická elektrárna

**COP** Topný faktor

**TUV** Teplá užitková voda

**MCU** Mikrokontroler

**API** Application programming interface

**SOC** State of charge

**LAN** Local area network

**GPIO** General Purpose Input/Output

**FFC** Flexible flat cable

**IoT** Internet of things

**ACL** Access Control List

**RAM** Random-access memory

**RTC** Real-time clock

**EEPROM** Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

**SSD** Solid State Drive

---



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Cíl . . . . .	1
1.2	Existující řešení . . . . .	2
1.2.1	Separátní aplikace na monitoring a ovládání . . . . .	2
1.2.2	Spínání dle přebytků energie . . . . .	2
1.2.3	Komplexní řešení . . . . .	2
1.2.4	Ideální řešení . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Chytrý dům</b>	<b>5</b>
2.1	Koncept . . . . .	5
2.1.1	Automatizace . . . . .	5
2.1.2	Soběstačnost . . . . .	5
2.2	Komponenty domu . . . . .	6
2.2.1	Výroba elektrické energie . . . . .	6
2.2.2	Vytápění a klimatizace . . . . .	7
2.2.3	Řídící PC . . . . .	7
2.2.4	Ostatní prvky . . . . .	8
2.3	Existující řešení . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Energetická náročnost domu</b>	<b>9</b>
3.1	Větší rodinný dům . . . . .	9
3.1.1	Denní spotřeba domu . . . . .	9
3.1.2	Vytápění a ohřev TUV . . . . .	10
3.1.3	FVE . . . . .	10
3.1.4	Závěr . . . . .	11
3.2	Menší úsporný dům . . . . .	12
3.2.1	Denní spotřeba domu . . . . .	12
3.2.2	Vytápění a ohřev TUV . . . . .	13
3.2.3	FVE . . . . .	14
3.2.4	Závěr . . . . .	14
3.3	Vyhodnocení . . . . .	15
3.3.1	Občasné spotřebiče . . . . .	15
3.4	Způsoby využití FVE . . . . .	16
3.4.1	Ekologie . . . . .	16
3.4.2	Optimalizace nákladů . . . . .	16
3.4.3	Společenský status . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Modelový dům</b>	<b>17</b>
4.1	FVE . . . . .	18

4.1.1	Reálná výroba . . . . .	18
4.2	Ohřev vody . . . . .	19
4.3	Spotřebiče . . . . .	19
4.4	Řízení domu . . . . .	19
4.5	Návrh řešení . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Architektura řešení</b>	<b>23</b>
5.1	Vytěžování dat . . . . .	23
5.1.1	FVE . . . . .	23
5.1.2	Solární předpověď . . . . .	24
5.1.3	Fibaró Home Center 2 . . . . .	25
5.1.4	Předpověď počasí . . . . .	25
5.2	Informační štítky u spotřebičů . . . . .	25
5.2.1	Hardware . . . . .	26
5.2.2	Software . . . . .	29
5.3	Hlavní displej . . . . .	29
5.3.1	Hardware . . . . .	30
5.3.2	Software . . . . .	32
5.3.3	Ovládání uživatelem . . . . .	34
5.4	Hlavní PC . . . . .	37
5.4.1	Zabezpečení . . . . .	37
5.4.2	Organizace programu . . . . .	37
5.4.3	Hlavní smyčka . . . . .	38
5.4.4	Algoritmus doporučení . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Testování řešení</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Literatura</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>Seznam příloh</b>	<b>47</b>

---



---

# Seznam obrázků

1.1	Vizualizace dat z FVE v Home Assitant . . . . .	3
1.2	Interaktivní mapa s ovládacími prvky v Home Assistant . . . . .	4
3.1	Odhad výroby ze systému PVGIS pro západní umístění . . . . .	11
3.2	Odhad výroby ze systému PVGIS pro jižní umístění . . . . .	11
3.3	Teoretické pokrytí spotřeby rodinného domu dle PVsol . . . . .	12
3.4	Model domu . . . . .	13
3.5	Teoretické pokrytí spotřeby menšího domu dle PVsol . . . . .	14
4.1	Rozhraní pro ovládání domu . . . . .	17
4.2	Odhad výroby ze systému PVGIS pro jiho-západní umístění . . . . .	18
4.3	Odhad výroby ze systému PVGIS pro jiho-východní umístění . . . . .	18
4.4	Využití vyrobené elektřiny . . . . .	19
4.5	Rozložení spotřebované elektřiny . . . . .	19
4.6	Diagram navržené architektury systému . . . . .	20
5.1	Srovnání odhadované a reálné výroby . . . . .	25
5.2	Návrh krabičky v Fusion 360 . . . . .	27
5.3	Vytištěný box . . . . .	27
5.4	Finální podoba krabičky . . . . .	27
5.5	Průběh odběru štítku . . . . .	28
5.6	Návrh boxu pro displej v Fusion 360 . . . . .	30
5.7	Vytištěný box . . . . .	31
5.8	Funkční displej s pohledem na spotřebiče . . . . .	31
5.9	Průběh odběru displeje . . . . .	32
5.10	Nextion Editor . . . . .	33
5.11	Přehled spotřebičů . . . . .	34
5.12	Přehled topení . . . . .	35
5.13	Přehled o FVE . . . . .	35
5.14	Přehled počasí . . . . .	36
5.15	Diagnostický pohled . . . . .	36
5.16	Rozdělení do tříd . . . . .	38
5.17	Zjednodušený diagram algoritmu . . . . .	39
6.1	Testovací sestava obsahující displej a dva informační štítky . . . . .	42

---



# Seznam tabulek

3.1	Denní spotřeba zařízení v rodinném domě . . . . .	9
3.2	Spotřeba elektřiny pro vytápění v rodinném domě . . . . .	10
3.3	Denní spotřeba zařízení v menším úsporném domě . . . . .	12
3.4	Spotřeba elektřiny pro vytápění v menším úsporném domě . . . . .	13
3.5	Přehled dalších spotřebičů . . . . .	15
5.1	Spotřeba ESP32 v jednotlivých fázích běhu . . . . .	28
5.2	Odhadovaná výdrž v závislosti na intervalu probouzení . . . . .	28

---



# Kapitola 1

## Úvod

Tato kapitola se zabývá popisem existujících řešení na monitoring chytrých domů a možností pro využití přebytků elektrické energie.

### 1.1 Cíl

V posledních několika letech došlo k velkému pokroku technologií, ty se staly efektivnější a finančně dostupnější. S ohledem na životní prostředí musíme brát v potaz i ekologii. Z toho důvodu se snažíme využívat obnovitelných zdrojů elektrické energie. V případě budov se jedná například o instalaci fotovoltaických elektráren na nevyužité plochy, typicky střechy. Detailní informace jsou popsány v kapitole 2. S příchodem těchto technologií se snažíme navrhovat stavby, které jsou energeticky soběstačné. Z důvodu geografického umístění se ale potýkáme s mnoha problémy. Například se může jednat o nepříznivé počasí trvající několik dní, zimní období, kdy je kratší doba svitu a nepříznivý úhel slunečního záření, případně vyšší energetickou náročnost uživatele v době, kdy výroba elektrické energie neposkytuje dostatek výkonu. Detailní pohled na energetickou náročnost lze najít v kapitole 3. Pro tyto případy je nutné využívat úložiště elektrické energie.

Pro úplnou soběstačnost v průběhu celého roku je tak nutné mít nejen dostatečný výkon elektrárny, ale i dostatečně velké úložiště. Bohužel tento scénář se z ekonomického hlediska ve většině případů nevyplatí. Proto se instalují systémy s rozumnou dobou návratnosti investice. Člověk je pak nucen v průběhu dne plánovat svoji energetickou spotřebu. Na trhu lze nalézt již existující řešení, ne všechna jsou však ale pro běžného uživatele optimální, detaily jsou popsány v kapitole 1. Cílem tohoto projektu je vytvořit systém, který na základě zvyků člověka, jeho energetické náročnosti, aktuálního stavu energie uložené v bateriích a akumulacích nádrží a predikce výroby poskytne dostatek informací ohledně toho, jak by se člověk měl aktuálně chovat. Zároveň systém nabídne uživateli informace shromážděné z různých existujících systémů v domě přehledně na displeji, jeho popis je v kapitole 5. V kapitole 6 jsou obsaženy závěry z testování systému.

## 1.2 Existující řešení

### 1.2.1 Separátní aplikace na monitoring a ovládání

Prakticky každé zařízení, které je chytré, dnes již poskytuje aplikaci nebo rozhraní, umožňující uživateli sledovat aktuální stav a ovládat jej. Bohužel každý výrobce má vždy svoji vlastní aplikaci, která neumožňuje přidání zařízení třetích stran. To pak nutí uživatele instalovat si velké množství aplikací. V případě, že výrobce usoudí, že zařízení je již zastaralé, může pak ukončit jeho podporu, nebo dokonce může samotný výrobce zaniknout. Uživateli pak zůstane pár let staré zařízení, které musí vyměnit za nové, protože již jej nedokáže ovládat.

### 1.2.2 Spínání dle přebytků energie

Mezi základní prvky pro optimální využití energie z domácí elektrárny patří regulátory. Ty využívají přebytky elektrické energie z výroby. Regulátor komunikuje se střídačem. Střídač je zařízení, které přeměňuje stejnosměrné napětí z elektrárny na střídavé napětí, které je v distribuční síti. Regulátor pak dle definovaných podmínek může spínat další zařízení. Typicky se využívá v případě, kdy elektrárna poskytuje dostatečný výkon pro pokrytí spotřeby domu a zároveň je bateriové úložiště plně nabito. V této situaci je možné elektrinu prodávat do sítě.

Ekonomicky výhodnější je ve většině případů veškerou vyrobenou energii spotřebovat. Regulátor detekuje v této situaci přebytek energie a dokáže spínat další spotřebiče, jako jsou topné spirály na ohřev vody v akumulacích nádržích nebo ovládat tepelné čerpadlo. Některá tato zařízení sice poskytují webové rozhraní nebo aplikaci, ale ty spíše slouží pro prvotní nastavení systému, nebo poskytují příliš mnoho detailních informací, které jsou pro běžného uživatele zbytečné a nesrozumitelné. Z dostupných produktů na trhu je to například Wattrouter [1] nebo Nord Power Genius [2].

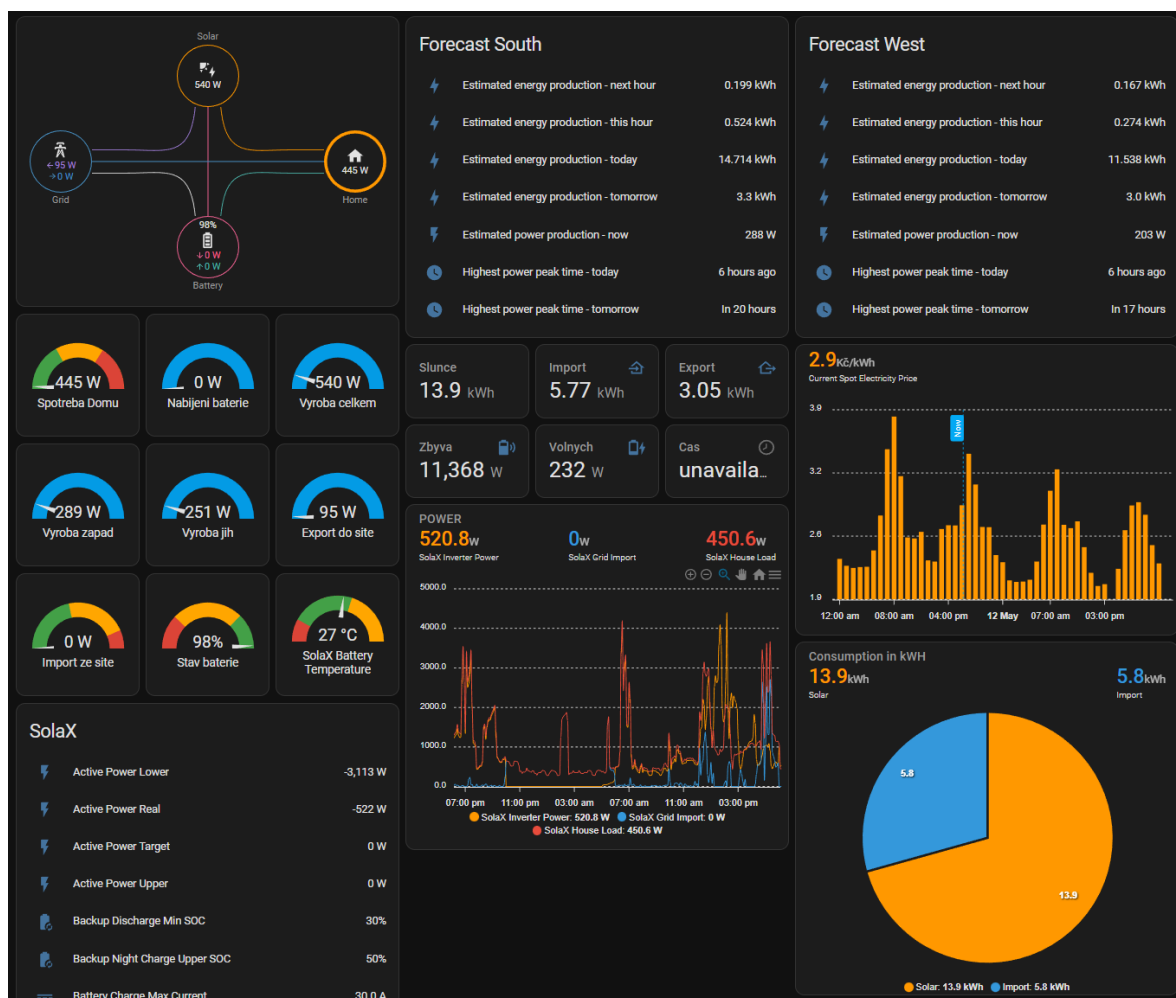
### 1.2.3 Komplexní řešení

Na trhu lze ale nalézt i komplexnější řešení, která umožňují integrovat více zařízení nejen v chytré domácnosti ale i v komerčních budovách. Integrovat lze například ovládání světel, rolet, topení, řízení přístupů v budově nebo zabezpečovací techniku. Protože se jedná o složitější zařízení, obvykle je nutné využívat dedikovaný stroj, který si lze představit jako separátní počítač. K ovládání uživatelem pak typicky slouží webové rozhraní na počítači nebo separátní displej. Tyto systémy podporují také celou řadu automatizací.

Mezi řešení dodávaná na klíč patří produkty od firmy Crestron [3]. Mezi open-source řešení patří produkty Loxone [4], ty mohou být dodávány jako hotové řešení na klíč, případně pokud má uživatel elektrotechnické vzdělání, může si systém vytvořit sám. Zde je nutné zakoupit specifický hardware od výrobce, ten se pak propojí s ostatními zařízeními v objektu.

Aktuálně je vývoji i český produkt SunnyHome [5], ten umožňuje přehledný monitoring Fotovoltaická elektrárna (FVE) a základní automatizace, podporuje však omezený výběr produktů na trhu, které je možné sledovat a ovládat. Obdobným produktem ve vývoji je Solar Station [6]. Dalším open-source řešením je Home Assistant [7]. Jedná se o software volně ke stažení, který sám o sobě nic neumí. Lze ale do něj přidávat oficiální integrace od vývojářů a také komunitní integrace od uživatelů. Zjednodušeně si jej lze představit jako

počítač bez dalších programů, který také sám o sobě nic neumí, ale je možné na něj nainstalovat nepřeborné množství programů. Výhodou jsou pravidelné aktualizace softwaru a široká komunita uživatelů. Lze říct, že prakticky jakékoliv zařízení, které je připojené k internetu lze ovládat.



Obrázek 1.1: Vizualizace dat z FVE v Home Assistant

Na obrázku Obr. 1.1 je vytvořená vizualizace dat z FVE, lze tak sledovat v reálném čase aktuální State of charge (SOC) baterie, výrobu, spotřebu domu, předpověď výroby a také aktuální cenu elektrické energie na spotovém trhu. Na obrázku Obr. 1.2 je zobrazena interaktivní mapa, po kliknutí na ikonu fotky se zobrazí ve větším okně živý přenos videa z kamery, ikony zámku indikují uzavřená garážová vrata, kliknutím lze vrata vzdáleně ovládat. Dále je možné zjistit aktuální teplotu vody v bazénu a jeho okolí.



Obrázek 1.2: Interaktivní mapa s ovládacími prvky v Home Assistant

#### 1.2.4 Ideální řešení

Prakticky každé z těchto řešení ale funguje na principu ovládání dle aktuálních dat. Typicky se monitorují určité veličiny, v případě jejich změny na určitou hodnotu se spustí automatizace, která například zapne topení, otevře garážová vrata nebo nastaví osvětlení na požadovanou úroveň. Některá řešení poskytují možnosti omezené predikce výroby elektrické energie, dle počasí a další základní předpovědi. Typicky tato řešení ale zahlťují uživatele velkým množstvím čísel a informací, přičemž uživatel buď netuší o jaká data se jedná, nebo je vůbec nepotřebuje.

Člověka je důležité informovat, zda má dostatek energie a jaké činnosti může provozovat. Zároveň v ideálním případě by člověk neměl být omezován systémem v jeho životě. Jsou ve vývoji i komplexní řešení, ale ta jsou určena spíše pro větší komplexy budov, nikoliv pro menší bytové jednotky a rodinné domy. Neexistují ale řešení, která dokážou uživateli přehledně zobrazit jeho energetickou náročnost a naplánovat mu jeho činnosti. Určit dle předpovědi počasí a aktuálního stavu energií v domě, jak by se měl člověk chovat, aby byl energeticky soběstačný.



## Kapitola 2

# Chytrý dům

Tato sekce se věnuje popisu chytrého domu a popisuje, jaké funkcionality by měl tento dům splňovat. Dále analyzuje jednotlivé komponenty v domě.

### 2.1 Koncept

V posledních několika letech se zkoumají možnosti, jak vytvořit dům, který by komunikoval s uživatelem, automaticky se řídil dle preferencí a chováním uživatele, tento koncept se nazývá chytrý dům. Hlavním cílem je zvýšení uživatelského komfortu a dosažení udržitelnosti.

#### 2.1.1 Automatizace

Základním prvkem domu jsou automatizace, tedy předdefinované reakce na události bez zásahu člověka. Typicky se může jednat o automatické zajištění domu zabezpečovacím systémem, když člověk odejde pryč, nebo třeba otevření okenních rolet při východu slunce. Samozřejmě je možné dům ovládat i manuálně, typicky pomocí jedné, nebo několika aplikací, kterými může ovládat jednotlivé komponenty domu. V dnešní době už je obvyklé ovládání z libovolného místa člověkem mimo domov. Díky tomu může člověk flexibilně měnit svůj denní režim.

#### 2.1.2 Soběstačnost

Další cílem chytrého domu je jeho soběstačnost. Protože v posledních několika letech došlo ke značnému nárůstu ceny elektrické energie, lidé si nechávají instalovat fotovoltaické nebo větrné elektrárny na střechy svých domů. Získanou energii pak mohou okamžitě spotřebovávat, nebo ukládat do akumulátorů. Při vhodném plánování domu už při jeho návrhu a výběru vhodných komponent je možné i v ČR dosáhnout velkého procenta energetické soběstačnosti.

Nemusíme se však omezovat pouze na elektřinu. Důležitou surovinou je i voda. Takový dům pak obsahuje retenční nádrže pro zachytávání dešťové vody. Užitečnou vodu pak můžeme použít k zavlažování zahrady nebo po přefiltrování k splachování toalety. Samozřejmě člověk potřebuje i pitnou vodu, k tomu pak může posloužit dostatečně hluboká vrtaná studna. Tuto vodu je pak možné použít na vaření nebo mytí. Tím ale cyklus pitné vody nemusí skončit, stejně jako dešťovou vodu je možné ji přefiltrovat a využít znovu.

Ve výsledku je tak možné postavit dům bez existence inženýrských sítí. Je to ale řešení, které se hodí ale pouze pro velmi malé a úsporné objekty. V ostatních případech jsou na to potřebné velké finanční nároky. Proto se spíše snažíme dosáhnout alespoň částečné soběstačnosti. Tato práce se bude věnovat energetické soběstačnosti domu.

## 2.2 Komponenty domu

### 2.2.1 Výroba elektrické energie

Základním prvkem pro energetickou soběstačnost je výroba elektrické energie. Ve většině případů se energie získává ze Slunce pomocí solárních panelů. Jedná se tak o obnovitelný zdroj elektrické energie.

#### Fotovoltaické panely

V posledních několika letech fotovoltaické panely dosáhly velkého technologického rozvoje. V dnešní době není problém zakoupit panel s účinností přesahující 20 % a výkonem 500 W za cenu několika tisíc Kč. Jednotlivé panely se pak propojují do stringů, ty jsou pak připojeny do střídače. Ten konvertuje stejnosměrné napětí z panelů na napětí střídavé, které je dostupné v distribuční síti a také jej využívají běžné spotřebiče. Využívá energie získané z panelů během dne. Dle aktuální energetické potřeby domu pak rozhoduje, zda je elektřiny dost a může začít nabíjet baterie, nebo dokonce posílat energii do sítě.

#### Úložiště energie

Typicky v noci fotovoltaické panely nevyrobí elektřinu, je tak nutné si energii na tuto dobu uchovat. V současné době asi nejrozšířenějším způsobem je akumulace do baterií, ty se v průběhu dne nabijí z nevyužité sluneční energie, v noci je pak tato energie využita k napájení domu. V případě výpadku distribuční sítě je možné využít FVE spolu s bateriemi jako záložní zdroj. Samozřejmostí jsou řady ochrany, které minimalizují riziko úrazu elektrickým proudem.

Při slunečných dnech ale FVE vyrobí typicky více elektřiny než je potřeba na pokrytí spotřeby domu a dobítí baterie na noční provoz. Přebytečnou energii může uživatel prodávat do distribuční sítě nebo využít k ohřevu vody v akumulární nádrži.

Hledají se ale způsoby, jak si energii uchovat ve větším množství v delším časovém horizontu. Jedním možným řešením je přeměna elektrické energie pomocí elektrolyzérů na vodík a v případě nedostatku elektrické energie pak zpětná přeměna pomocí palivového článku na elektrickou energii. Toto řešení oproti bateriím poskytuje možnost uložení většího množství energie, zároveň díky tomu už nabízí možnost řízení výroby a spotřeby například na základě spotových cen. Další výhodou je možnost spalování vodíku pro vytápění objektů. Jedná se o ideální řešení v kombinaci s FVE. Přebytky jsou ukládány do baterií a pomocí elektrolyzéra ukládány ve formě vodíku. Baterie slouží jako krátkodobé úložiště a okamžitý zdroj po dobu několika hodin nebo dní, naopak energie uložená ve vodíku slouží na delší časový horizont. Možnosti kombinací FVE, baterií, elektrolyzéra, palivového článku a úložiště vodíku se zabývala studie v Torontu [8]. Zjistila, že ideální kombinace a dimenzování jednotlivých komponent je individuální dle konkrétního objektu, ale vždy obsahovala jak baterie tak vodíkový systém.

Další, velmi rozšířenou možností jak nakládat s přebytky elektrické energie je akumulace do teplé užitkové vody.

Úložiště energie ale nemusí sloužit pouze v noci k napájení domu, ale také například k balancování distribuční sítě. V době, kdy je elektřiny nedostatek, úložiště elektřinu posílá do sítě, naopak v případě přebytku ji spotřebovává. Může se jednat například o gravitační úložiště

energie v přečerpávací vodní elektrárně nebo podzemních úložištích. V poslední době vznikl projekt [9], který využívá opuštěné těžební doly, kde jsou již hotové výtahové šachty. Využívá přesouvání velkého množství písku pomocí motorů. V případě, že je písek přemísťován vzhůru, motory spotřebovávají elektřinu, při cestě dolů naopak elektřinu generují. Životnost takového systému je údajně až 30 let. Hlavní výhodou gravitačního úložiště oproti konvenční baterii je to, že nedochází k postupnému samovybití v čase.

### 2.2.2 Vytápění a klimatizace

Z důvodu střídání ročních období a velkých výkyvů teplot je potřebné řešit i vytápění a chlazení domu. Je tak nutné volit systémy, které nepotřebují velké množství elektrické energie.

#### Tepelné čerpadlo

Jedná se o zařízení, které dle konkrétního typu získává teplo ze vzduchu, země nebo vody. Tepelné čerpadlo pak přijímá z tohoto zdroje energii a převádí ji na teplo, které pak lze využít pro vytápění. Aby ale mohlo takto energii přijímat, spotřebovává elektrickou energii. U tepelného čerpadla je možné dosáhnout velmi vysoké účinnosti. Důležitým parametrem při výběru je Topný faktor (COP). U čerpadel typu vzduch-voda, tedy u těch, která získávají energii ze vzduchu a pak ohřívají vodu se pohybuje kolem 2-5. Například hodnota COP 3 znamená, že za každou 1 kWh elektrické energie získáme 3 kWh tepla na ohřev vody, navíc je možné jej využít i opačně, tedy jako chlazení v letních měsících. Jedná se tak o vhodné řešení do soběstačných domů. Prakticky jedinou nevýhodou je pořizovací cena čerpadla, která je přes 250 000 Kč. Oproti tomu elektrokotel je možné sehnat přibližně za desetinu ceny, jeho účinnost je však oproti tepelnému čerpadlu asi třetinová a neumožňuje jej využít jako chlazení.

#### Akumulační nádrže

Další alternativou je využití akumulčních nádrží. Jak již název napovídá, slouží k akumulaci tepla do vody. Voda je pak ohřívána pomocí kotle na tuhá paliva, nebo topných spirál využívajících elektrickou energii. V případě soběstačného domu pak využívá hlavně přebytky elektrické energie z fotovoltaiky. Voda o kapacitě několik set litrů se nahřívá na vyšší teplotu (75 °C) a vydrží na několik hodin či dní. Vodu je pak možné využít k vytápění nebo jako Teplá užitková voda (TUV).

### 2.2.3 Řídící PC

Aby vše správně fungovalo a efektivně se využívala energie získaná z FVE, je potřeba řídicího počítače. Ten monitoruje aktuální výrobu z FVE, teplotu v objektu, teplotu TUV. Dle těchto dat pak rozhoduje o řízení jednotlivých spotřebičů.

## 2.2.4 Ostatní prvky

### Elektromobil

Stále více lidí se dnes pořízuje elektromobil. To však znamená zvýšené energetické nároky. Pokud pomineme možnost nabíjet na veřejných nabíječkách, je možné jej nabíjet i doma. Ve skutečnosti k tomu stačí běžná zásuvka na 230 V nebo průmyslová zásuvka na 400 V. Pro efektivní využití energie je ale nutné využít speciální Wallbox, který komunikuje se střídačem a řídí tak nabíjení dle aktuální výroby z FVE. To zabezpečí, že auto je nabíjeno pouze z přebytků energie. Baterie v domě, která slouží pro napájení domu při nedostatečné výrobě tak zůstane plně nabitá.

### Chytré zásuvky a čidla

Na trhu lze nalézt celou řadu zařízení, která jsou považována za chytrá. Může se jednat o čidla teploty, vlhkosti, chytré zásuvky, světla a mnoho dalšího. Prakticky všichni výrobci umožňují vzdálené ovládání těchto zařízení přes jejich aplikaci.

### Další zařízení

Samozřejmě se nejedná o kompletní výčet komponent, které lze využívat. Je možné využívat různé Mikrokontroler (MCU) k ovládání zařízení, které primárně nejsou "chytré" pomocí relé a dalších.

## 2.3 Existující řešení

Příkladem plně soběstačného objektu je dům [10], který se nachází v ČR. Je postavený tak, aby nepotřeboval inženýrské sítě. Jako zdroj energie využívá FVE a zachytává dešťovou vodu. Dokonce je možné si bydlení v tomto domě vyzkoušet.

Další projekt, který cílí na koncept chytrého domu a soběstačnost je umístěn v Miláně [11] a je realizován firmou Siemens. Jedná se o komplex budov, které nejsou zatím 100 % soběstačné, ale do roku 2030 by se měl cíl splnit. Součástí komplexu je velká FVE umístěná na střeších budov, trigenerační jednotka, úložiště energie a nabíjecí stanice pro elektromobily. Komplex je momentálně připojen i k distribuční síti. Pro ovládání a monitoring je využit systém Desigo [12]. Cílem projektu je být uhlíkově neutrální do roku 2030. Současný instalovaný výkon FVE je 1 163 kWp, elektrárna je pak schopná dodat do distribuční sítě až 40 000 kWh ročně díky nižší energetické náročnosti budov o víkendech.

## Kapitola 3

# Energetická náročnost domu

Člověk chce žít komfortně, tím ale roste i jeho energetická náročnost. V dnešním domě je prakticky všechno napájeno elektrickou energií. Ohřev teplé užitkové vody, vytápění domu v zimě, chlazení v létě, vaření v troubě nebo na indukci a nabíjení elektromobilu, to jsou činnosti, které dokážou spotřebovat obrovské množství energie, to napadne většinu lidí. Tím ale veškerý výčet nekončí, může se jednat i o nenápadné spotřebiče, které člověk použije několikrát za den, nebo dokonce běží nonstop, typickými případy jsou televize nebo počítač. Zároveň je potřeba brát v potaz pohotovostní spotřebu domu, která obsahuje napájení kamerového systému, logiky tepelného čerpadla, serveru a dalších "neviditelných" zařízení.

### 3.1 Větší rodinný dům

#### 3.1.1 Denní spotřeba domu

Tabulka 3.1: Denní spotřeba zařízení v rodinném domě

Spotřebič	Energetická třída	Doba běhu denně	Spotřeba na cyklus/hodinu [Wh]	Denní spotřeba [Wh]	Roční spotřeba [Wh]
hline Vaření	-	1 hodina	2 000	2 000	730 000
Pračka	A	1 cyklus	500	500	182 500
Myčka	C	1 cyklus	600	750	273 750
Sušička	A+++	1 cyklus	900	900	328 500
Lednice	C	24 hodin	25	600	219 000
Televize	G	2 h	135	270	98 550
Kávovar, konvice	-	0,5 h	2 000	1 000	365 000
Počítač	-	3 h	500	1 500	547 500
Idle spotřeba	-	24 hodin	200	4 800	1 752 000
Server	-	24 hodin	100	2 400	876 000
<b>Celkem</b>				<b>14 720</b>	<b>5 372 800</b>

Z tabulky 3.1 je vidět, že pro rodinný dům o ploše 115 m<sup>2</sup>, kde žije 4 členná domácnost, vaří, pere a suší každý den je spotřeba 14.7 kWh. Pohotovostní spotřeba je denně více než 7 kWh bez vytápění. U některých spotřebičů není uveden konkrétní příkon, protože po celou dobu cyklu není konstantní, hodnoty spotřeby energie pro jeden cyklus jsou přepočítány z dat od výrobce.

### 3.1.2 Vytápění a ohřev TUV

Tabulka 3.2: Spotřeba elektřiny pro vytápění v rodinném domě

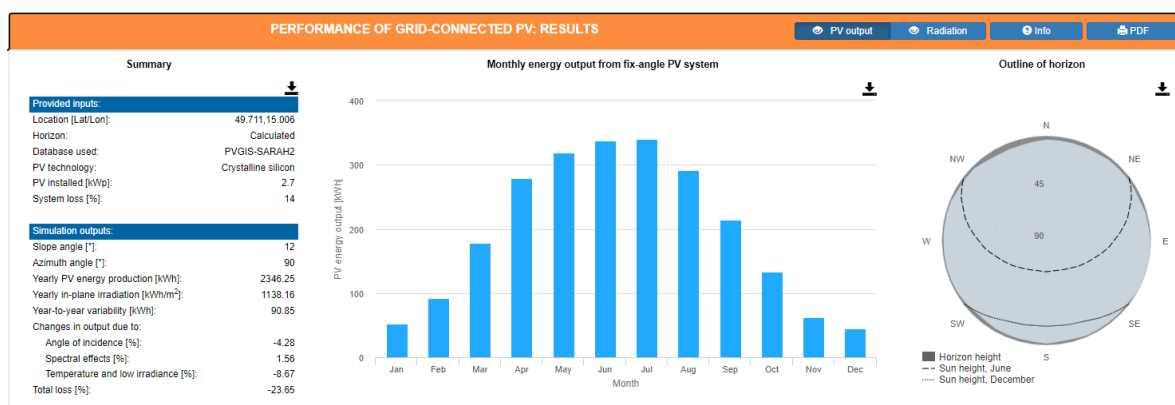
Typ ohřevu	Počet dní	Roční spotřeba bez COP [kWh]	COP	Roční spotřeba [kWh]	Denní spotřeba [kWh]
Chlazení celkem	60	750	3,5	214	4
Chlazení domu léto	60	750	3,5	214	4
Chlazení domu zima	0	0	3,5	0	0
Vytápění celkem	245	11 700	3,5	3 343	14
Vytápění domu léto	0	0	3,5	0	0
Vytápění domu zima	245	11 700	3,5	3 343	14
Ohřev TUV	365	5 600	3,5	1 600	4

Pro výpočty potřebné energie na vytápění a chlazení byl vybrán rodinný dům na Benešovsku pro 4 osoby, jednopodlažní dřevostavba z roku 2006, jako zdroj vytápění je tepelné čerpadlo vzduch-voda. Použil jsem nástroj [13], který bere v úvahu lokalitu domu, změnu teploty v průběhu roku, tepelné ztráty objektu a další parametry. Jako tepelné čerpadlo jsem vybral NIBE F2040 [14]. Pro ohřev TUV jsem počítal ohřívání 225 litrů vody na teplotu 55 °C, pro vytápění jsem počítal s tepelnou ztrátou objektu 6 kW. Z tabulky 3.2 lze vidět, že denní spotřeba v zimě se pohybuje kolem 18 kWh, v létě je to 8 kWh. Protože v tomto domě bydlím, mohu potvrdit, že tyto výpočty odpovídají realitě.

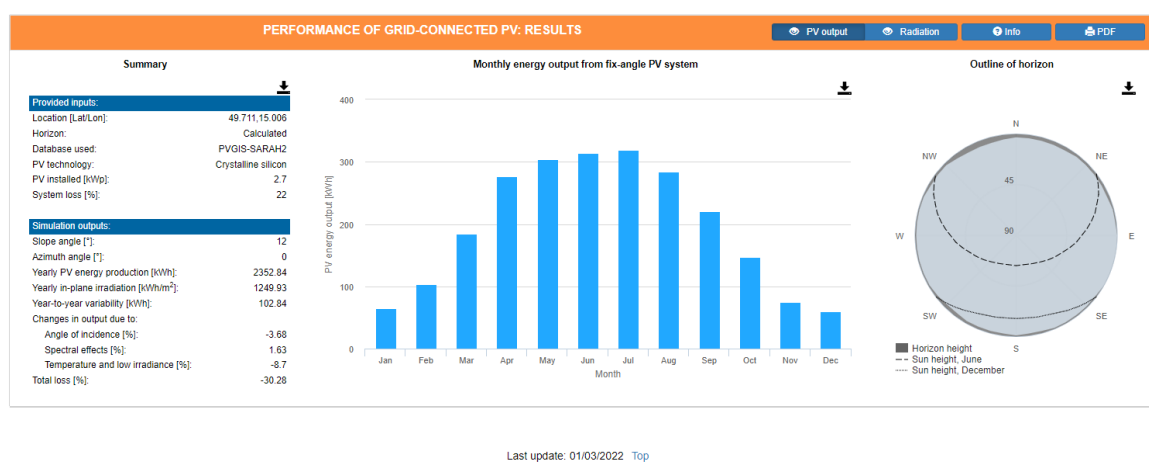
### 3.1.3 FVE

Pro prvotní odhad výroby jsem využil [15], ten dokáže dle zadaných parametrů, jako lokalita, orientace panelů a instalovaný výkon odhadnout výrobu v jednotlivých měsících. Zároveň tento systém používají nástroje, které vytváří solární předpověď na několik dní dopředu. Jako další vhodný program pro modelování FVE jsem využil programu [16], který je vhodný při návrhu FVE a dokáže odhadnout celkovou výrobu FVE a spotřebu na základě zadaných dat a dle modelu objektu. Zároveň jej lze využít pro tvorbu dokumentace k FVE, tu je pak možné použít k žádosti o dotaci.

Při stavbě tohoto konkrétního domu nebylo počítáno s instalací FVE, střecha je tedy valbová ve tvaru L, k domu je ale přistavena garáž, díky tomu bylo možné instalovat FVE o výkonu 5.4 kWp, obsahuje celkem 2 stringy. První umístěný na jih má výkon 2.7 kWp, odhad výroby lze vidět na Obr. 3.1. Druhý string je umístěný na západ se stejným výkonem, jeho odhad výroby je zobrazen na Obr. 3.2. Je k dispozici baterie o velikost 11.4 kWh. V létě dokáže FVE přes den pokrýt spotřebu domácnosti a zároveň ještě dobít baterie, ty jsou pak využívány v noci. V zimě se občas baterie dokáže při slunných dnech nabít, ale je to spíše výjimka.



Obrázek 3.1: Odhad výroby ze systému PVGIS pro západní umístění

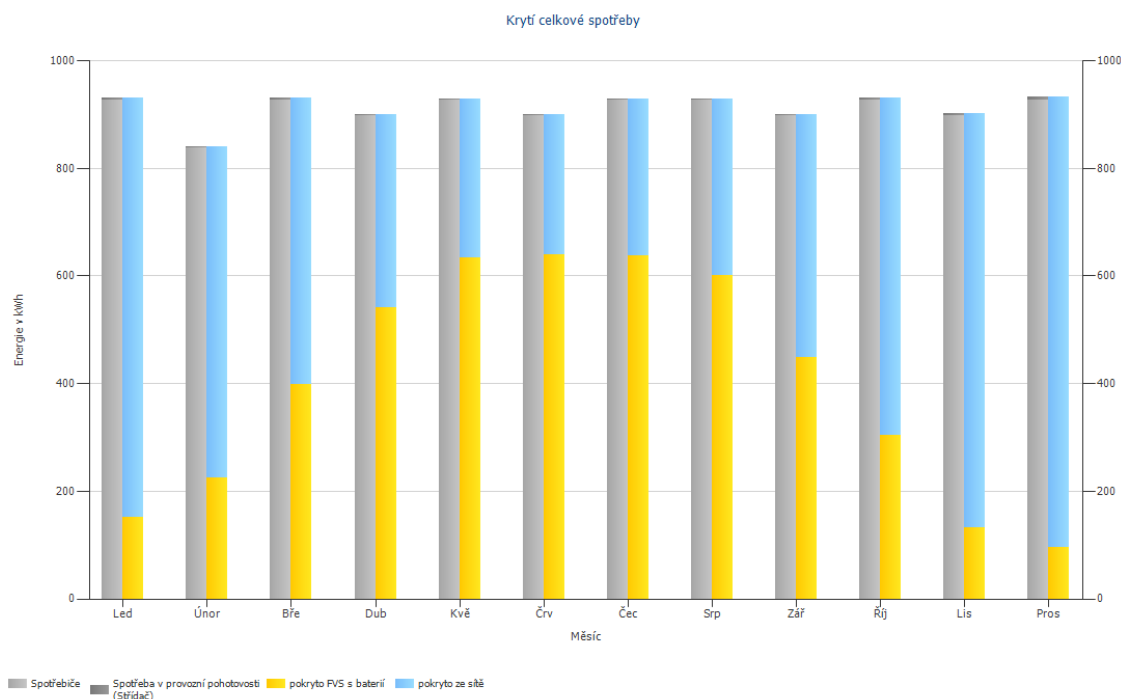


Obrázek 3.2: Odhad výroby ze systému PVGIS pro jižní umístění

Lze si povšimnout, že odhadovaná výroba v průběhu roku odpovídá reálné výrobě. Pokrytí spotřeby energií z FVE neodpovídá z důvodu individuálního nastavení systému, není tak využívána baterie v průběhu celého dne a to snižuje spotřebovanou energii z FVE. Teoreticky vypočítaná energetická soběstačnost objektu dle [16] v případě využívání baterie v průběhu celého dne je 43 %.

### 3.1.4 Závěr

Roční spotřeba domu je více než 10 MWh, přičemž by ji bylo možné snížit například využitím krbových kamen. FVE za poslední rok vyrobila 5 740 kWh. Z toho plyne, že tento dům rozhodně není energeticky soběstačný a ani by nepomohlo potenciální rozšíření FVE a přidání další baterie. Teoretické rozložení spotřeby lze vidět na Obr. 3.3. Protože tento objekt nevyužívá baterii v průběhu celého dne, ale na základě spotových cen energií, nemám k dispozici graf s reálnými daty.



Obrázek 3.3: Teoretické pokrytí spotřeby rodinného domu dle PVsol

## 3.2 Menší úsporný dum

### 3.2.1 Denní spotřeba domu

Tabulka 3.3: Denní spotřeba zařízení v menším úsporném domě

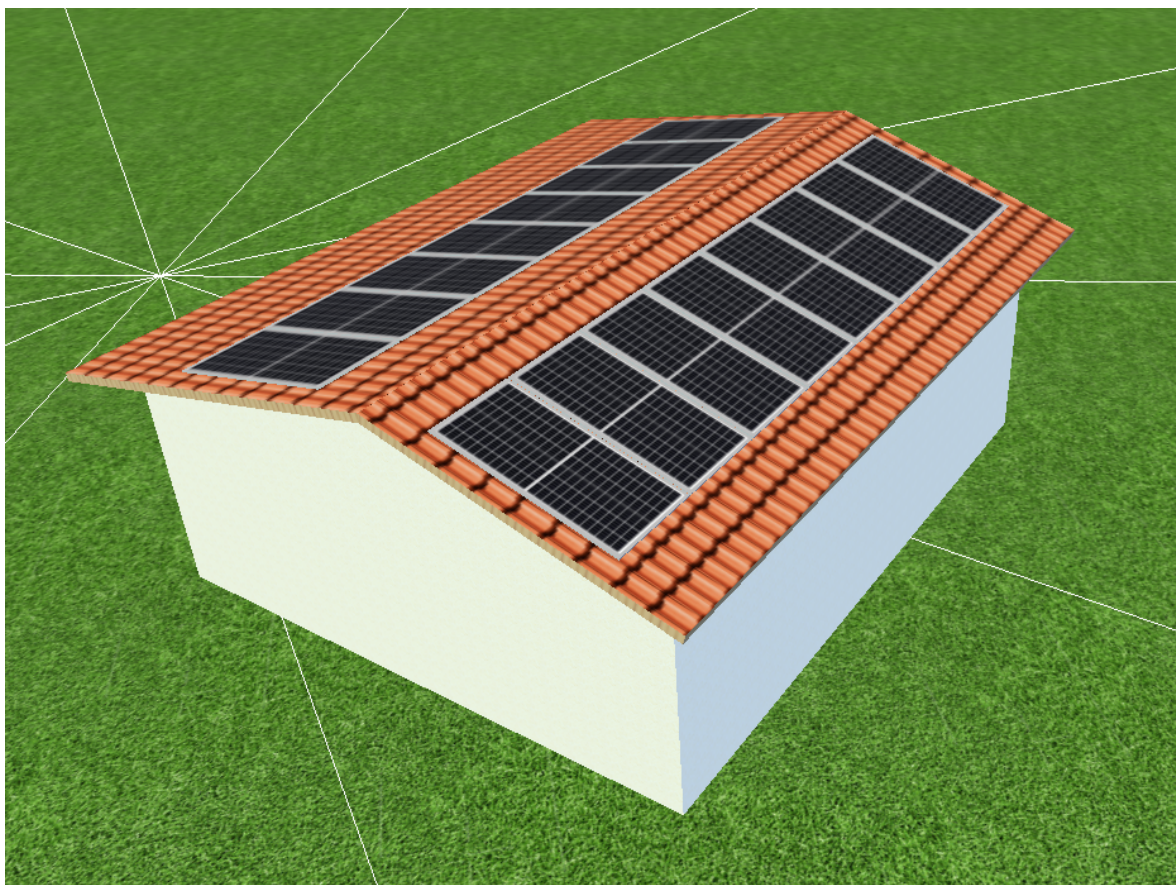
Spotřebič	Energetická třída	Doba běhu denně	Spotřeba na cyklus/hodinu [Wh]	Denní spotřeba [Wh]	Roční spotřeba [Wh]
Vaření	-	0,5 h	2 000	1 000	365 000
Pračka	A	0,5 h	500	250	91 250
Myčka	C	0,5 h	600	300	109 500
Sušička	A+++	0,5 h	900	450	164 250
Lednice	B	24 h	15	360	131 400
Televize	G	2 h	135	270	98 550
Kávovar, konvice	-	0,5 h	2 000	1 000	365 000
Počítač	-	3 h	500	1 500	547 500
Idle spotřeba	-	24 h	125	3 000	1 095 000
Server	-	24 h	100	2 400	876 000
<b>Celkem</b>				<b>10 530</b>	<b>3 843 450</b>

Z tabulky 3.3 je vidět, že snížením frekvence používání spotřebičů, což by odpovídalo menšímu počtu lidí žijících v domě, by došlo k poklesu spotřeby elektrické energie. Pohotovostní spotřeba je denně více 5,5 kWh bez vytápění. U některých spotřebičů není uveden konkrétní příkon, protože po celou dobu cyklu není konstantní, hodnoty spotřeby energie pro jeden cyklus jsou přepočítány z dat od výrobce. Celková denní spotřeba je pak 10,5 kWh.



### 3.2.2 Vytápění a ohřev TUV

Pro druhý teoretický výpočet byl vybrán menší dům pro dvě dospělé osoby, novostavba s menšími tepelnými ztrátami. Frekvence využívání bílých spotřebičů je oproti příkladu nižší, zároveň není potřeba ohřívat tolik TUV. Pro vytápění a ohřev TUV je opět využito tepelného čerpadla NIBE [14]. Zde jsem počítal s ohříváním 150 litrů na teplotu 47 °C a tepelnými ztrátami objektu 3 kW. Model domu v systému PVsol [16] lze vidět na Obr. 3.4



Obrázek 3.4: Model domu

Tabulka 3.4: Spotřeba elektřiny pro vytápění v menším úsporném domě

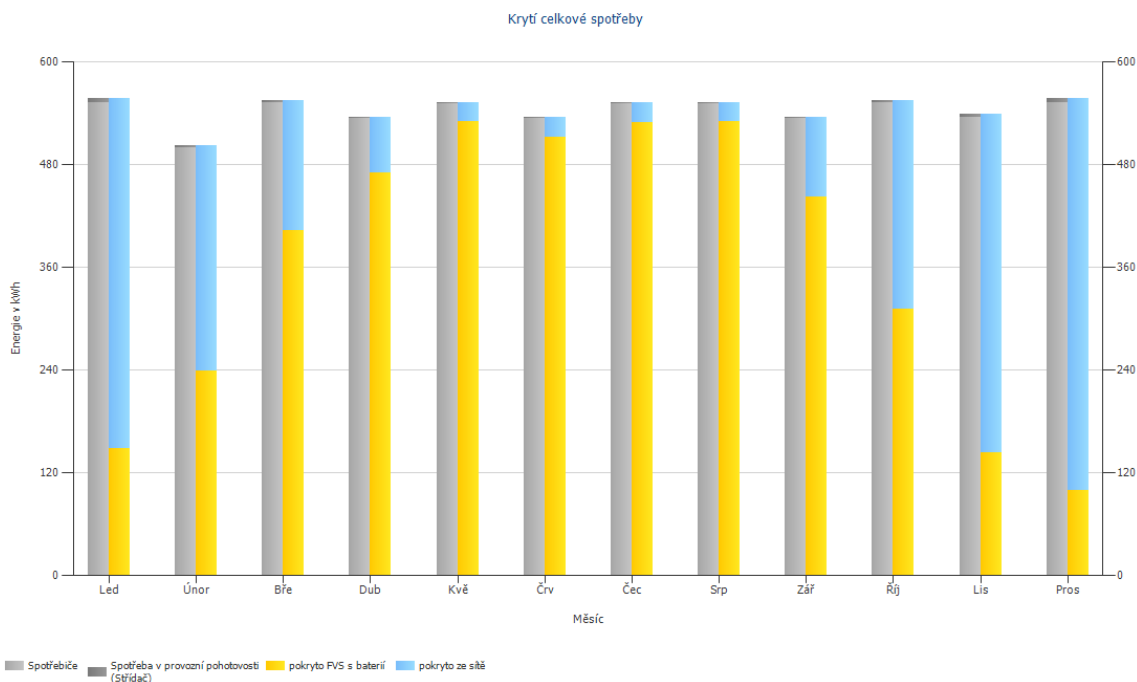
Typ ohřevu	Počet dní	Roční spotřeba bez COP [kWh]	COP	Roční spotřeba [kWh]	Denní spotřeba [kWh]
Chlazení celkem	60	500	3,5	143	2,4
Chlazení domu léto	60	500	3,5	143	2,4
Chlazení domu zima	0	0	3,5	0	0,0
Vytápění celkem	245	5900	3,5	1 686	6,9
Vytápění domu léto	0	0	3,5	0	0,0
Vytápění domu zima	245	5900	3,5	1 686	6,9
Ohřev TUV	365	3100	3,5	886	2,4

Oproti většímu rodinnému domu si lze povšimnout velkého poklesu spotřeby. Z tabulky 3.4 plyne, že denní spotřeba na vytápění a ohřev vody v zimě se pohybuje kolem 9,5 kWh, v létě je to pak 5 kWh.

### 3.2.3 FVE

Protože se jedná o novostavbu, je navržena tak, aby střecha byla ideální pro instalaci FVE, ideálně kombinace orientací východ a západ, to z toho důvodu, že člověk je v domě typicky ráno a večer, přes den obvykle chodí do práce a spotřeba domu je tak menší. Každá strana má pak výkon symetricky o výkonech 3,5 kWp, tak FVE o výkonu 7 kWp dokáže vyrobit 7700 kWh ročně, to už převyšuje roční spotřebu domu. Zvýší se sice energetická soběstačnost, ale nutné je zdůraznit, že energie je generována i v době kdy není potřeba a zároveň v v určitých chvílích jí je nedostatek (večer, zimní období). Teoretické rozložení výroby a spotřebu v průběhu roku lze vidět na 3.5

Pro systém s velikostí baterie 11.5 kWh je teoretická energetická soběstačnost 66 %, nabízelo by se tedy přidat další modul baterie na celkové úložiště o velikosti 17 kWh, to ale ve výsledku teoretickou soběstačnost zvýší pouze o 2 % na celkových 68 %, protože v zimě, kdy je energie potřeba, tak není energie ani v baterii. Zároveň přidání baterie zvýší celkové náklady na FVE a prodlouží ekonomickou návratnost investice. Spíše se tak počítá se scénářem, že dům bude stále připojen k distribuční síti, ale bude ji využívat primárně v zimě, případně na prodej přebytků z FVE. Protože k tomuto "teoretickému" objektu jsem neměl k dispozici reálná data, jsou zde pouze výstupy z PVSol a PVGIS. Zvýšit soběstačnost by mohla instalace akumulční nádrže, která by pak snížila náklady na vytápění a ohřev TUV.



Obrázek 3.5: Teoretické pokrytí spotřeby menšího domu dle PVSol

### 3.2.4 Závěr

Celková roční spotřeba domu je 6,5 MWh, FVE za rok vyrobí 7700 kWh. Je ale nutné podotknout, že veškerou vyrobenou energii nedokážeme spotřebovat v ten pravý čas. Znamená to větší energetickou soběstačnost cca 66 %. Ta by šla ještě zvýšit přidáním akumulční

nádrže, která by byla ohřívána pomocí přebytků z FVE. Ale z důvodu střídání ročních období nejspíš úplně soběstačnosti nedosáhne, pokud není využito dlouhodobého plánování nebo alternativního zdroje energie jako například elektrocentrály, případně větším předimenzováním FVE, což se pak ekonomicky nevyplatí.

### 3.3 Vyhodnocení

Z výpočtů výše si lze povšimnout, že celkovou energetickou náročnost objektu lze ovlivnit mnoha faktory, může se jednat o výběr úspornějších spotřebičů a omezením jejich používání nebo snížením tepelných ztrát objektu. Spotřeba menšího úspornějšího domu je oproti rodinnému domu o 35 % menší. Je tak nutné ke každému objektu přistupovat individuálně. V ČR je velice obtížné dosáhnout energetické nezávislosti v případě umístění FVE na střechu rodinného domu/menšího pasivního. Pokud má ale člověk k dispozici větší plochu (zahrada...), kde může umístit větší množství FV panelů, dokáže se soběstačnosti přiblížit, v případě chytrého řízení domácnosti ji i dosáhnout, musí ale počítat s vyšší počáteční investicí do FVE a úspornějších spotřebičů

#### 3.3.1 Občasné spotřebiče

Spotřebič, jako sauna, ohřev bazénu nebo nabíjení elektromobilu dokáže spotřebovat velké množství energie. Pro tyto případy už nemusí být FVE dostatečná a je potřeba využít distribuční síť. V případě elektromobilu je problém, že většinou když svítí Slunce a FVE vyrábí, člověk je mimo domov v práci a auto v tu chvíli nemůže nabíjet. Ve výpočtech jsem zohlednil průměrný denní nájezd v ČR, který je ročně 20 000 km, denně tedy cca 55 km, jako referenční spotřebu jsem použil reálná data spotřeby elektromobilu Tesla Model Y LR 2022 s tepelným čerpadlem. V těchto případech je prakticky nemožné dosáhnout soběstačnosti. Zároveň pro nabíjení elektromobilu pouze z přebytků FVE je nutné sofistikované řízení nabíjecího výkonu na základě aktuální výroby, to lze ale vyřešit chytrým wallboxem, nebo softwarem. Při nabíjení z přebytků ale auto není nabíjeno "plným" výkonem 11 kW, při kterém je možné nabít potřebnou energii pro denní nájezd cca za 40 minut, ale pouze několika kW, což znamená prodloužení nabíjení i na několik hodin, při kterých musí být slunečno. Z tabulky 3.5 plyne, že energie, která je potřebná pro nabíjení elektromobilu se rovná energii potřebné pro napájení úsporného domu po celý rok.

Tabulka 3.5: Přehled dalších spotřebičů

Zařízení	Cyklus	Denní spotřeba [kWh]	Roční spotřeba [kWh]
Ohřev bazénu	10m <sup>3</sup> +1°C	2,9	
Filtrace bazénu	5 hodin	1 250,0	
Sauna	1 hodina	12 500,0	
Elektroauto -zima	55 km	9,4	3 412,8
Elektroauto -léto	55 km	8,3	3 011,3

## 3.4 Způsoby využití FVE

Pořídit si fotovoltaiku je možné hned z několika důvodů, podle nich je pak také možné nastavit řídit celý systém.

### 3.4.1 Ekologie

Pokud si pořídíme fotovoltaiku z hlediska ekologie, abychom využívali obnovitelné zdroje energie, typicky si pořídíme i baterii. Tu pak využíváme kdykoliv je v ní energie k dispozici. Distribuční síť je pak využívána pouze v případech, kdy výroba nepokryje spotřebu.

### 3.4.2 Optimalizace nákladů

Ekologie ale nemusí být jediným důvodem pořízení. V kombinaci s odběrem elektrické energie za spotové ceny, které se mění každou hodinu je možné zásadně snížit celkové náklady na energii. Je možné i navrhnout takový systém, který si hlídá aktuální cenu elektřiny na trhu a dle jejího vývoje pak buď čerpá energii z baterie, ze slunce, nebo z distribuční sítě. Zároveň je možné baterii nabít ze sítě, pokud je cena velmi nízká a ušetřit si ji na dobu, kdy bude naopak vyšší. Cenu energie ovlivňuje hned několik faktorů. Primárně je to počasí, pokud fouká, nebo hodně svítí, cena klesá. Zároveň cenu ovlivňuje aktuální den v týdnu, typicky o víkendu je cena levnější, protože firmy jsou zavřené a je tak menší poptávka po elektrické energii.

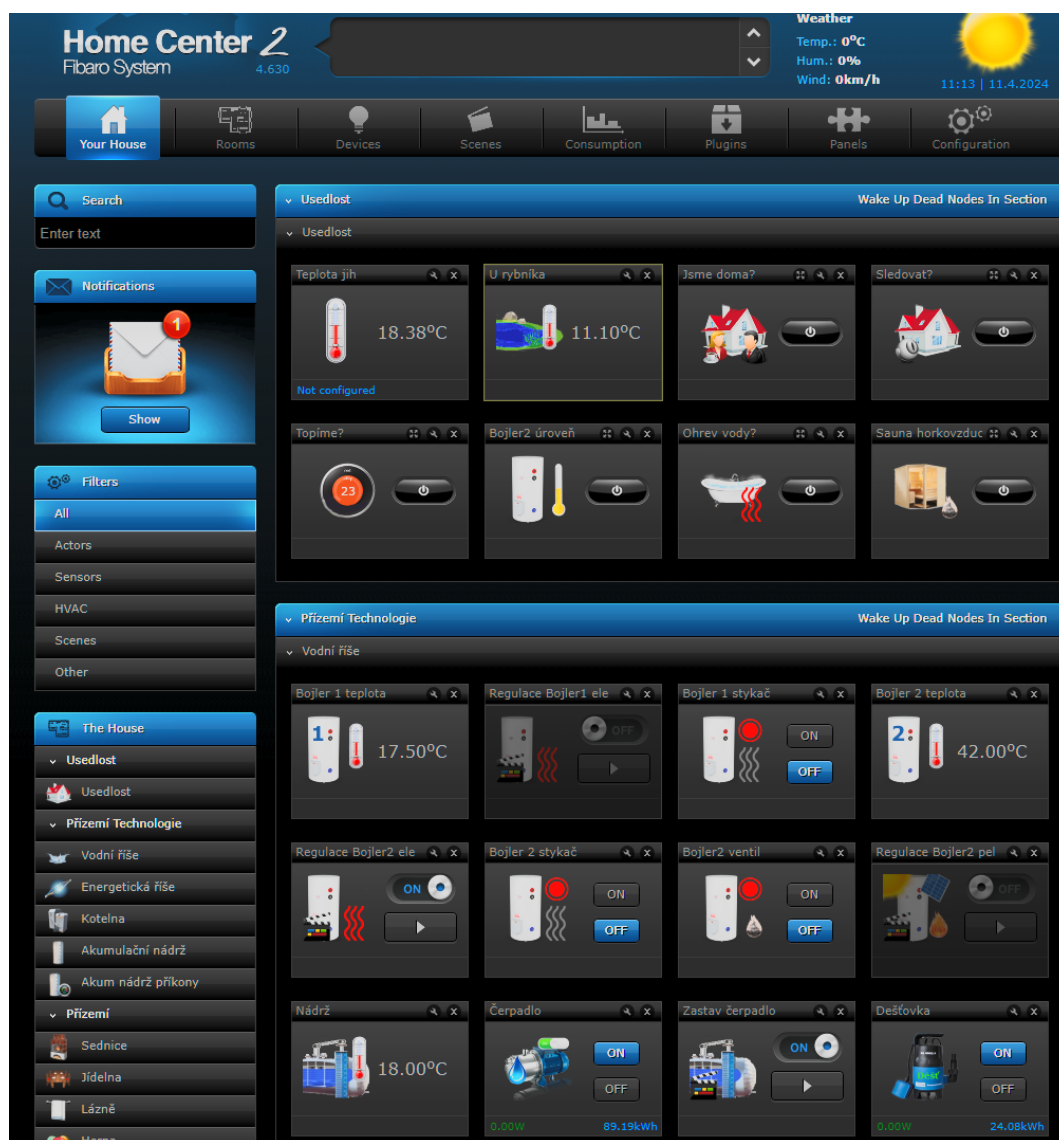
### 3.4.3 Společenský status

Existují ale i takové případy, kdy si lidé pořizují FVE a vlastně neví proč, jen se o ní hodně mluví a je to trend dnešní doby.

## Kapitola 4

# Modelový dům

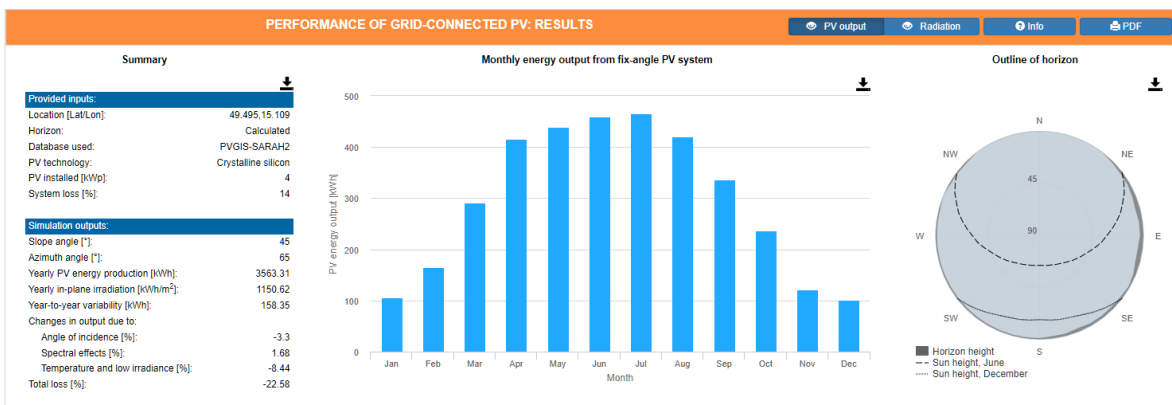
Tento projekt je testován na existujícím rodinném domě nedaleko Pelhřimova. Pro ovládání slouží Fibaro Home Center 2, to integruje současné zařízení v objektu. To pak poskytuje webové rozhraní pro správu ovládání, lze vidět na Obr. 4.1.



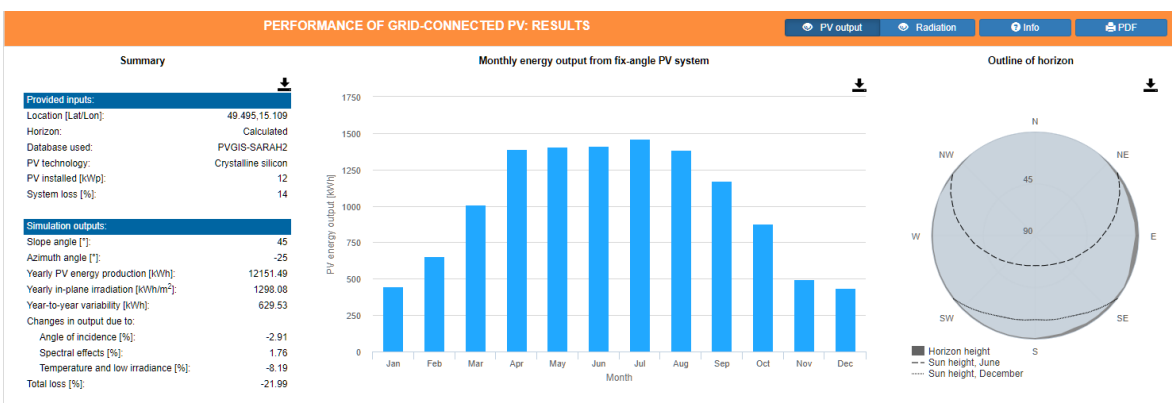
Obrázek 4.1: Rozhraní pro ovládání domu

## 4.1 FVE

Dům je připojen k distribuční síti. Na střeše je nainstalována FVE o výkonu 16 kWp, obsahující 2 stringy: 4 kWp jih-západ a 12 kWp jih-východ, dva střídače Solax, každý o výkonu 10 kW. Systém obsahuje tři moduly baterií o kapacitě 5.6 kWh, celkem tedy 16 kWh. Přebytky je možné "ukládat" do virtuální baterie Eon s kapacitou 4 MWh. Virtuální baterie funguje tak, že energie, která je exportována do distribuční sítě je "uschována" v distribuční síti, když je elektrina potřeba, je z ní zpět odebrána. V tomto případě se platí pouze distribuční poplatky, ale silová složka se již neplatí. Jako záložní zdroj energie je možné využít elektrocentrálu. Odhadovaná výtěžnost systému je zobrazena na obrázku Obr. 4.2 a Obr. 4.3



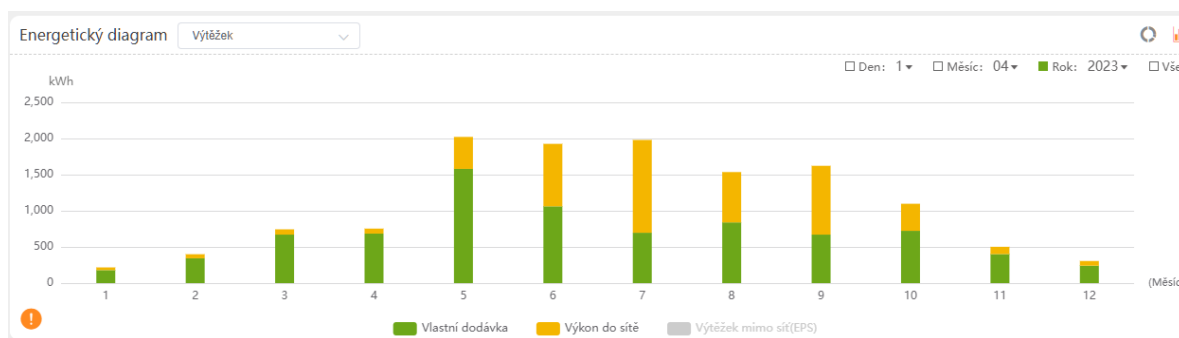
Obrázek 4.2: Odhad výroby ze systému PVGIS pro jiho-západní umístění



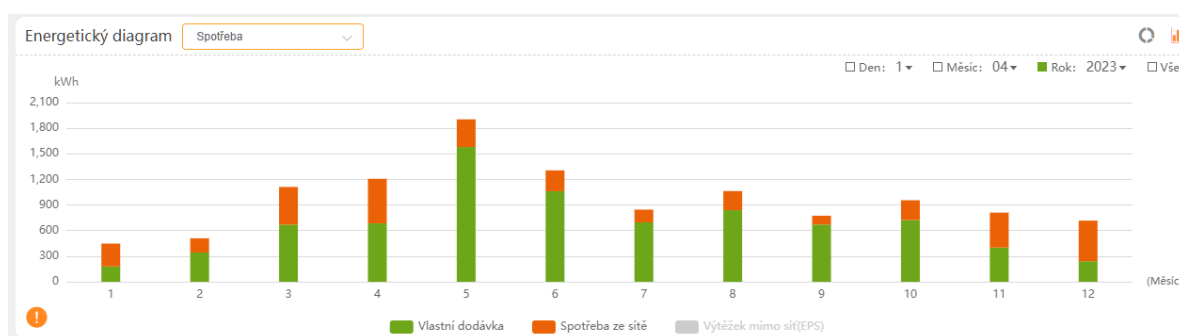
Obrázek 4.3: Odhad výroby ze systému PVGIS pro jiho-východní umístění

### 4.1.1 Reálná výroba

Data jsem získal z portálu [17], jedná se o webové rozhraní, které umožňuje monitoring FVE. Reálný výtěžek v grafu Obr. 4.4 se velmi podobá odhadnutým datům systému PVGIS. Když se podíváme na graf spotřeby Obr. 4.5, zjistíme, že se nikdy nepodařilo v průběhu roku dosáhnout úplné soběstačnosti. V letních měsících se podařilo dosáhnout soběstačnosti z cca 90 %, úplnou nezávislost nejspíše přerušily několika denní deště, případně vyšší uživatelská náročnost. V zimě FVE nepokryje spotřebu ani z 50 %, to potvrzují i teoretické výpočty v kapitole výše.



Obrázek 4.4: Využití vyrobené elektřiny



Obrázek 4.5: Rozložení spotřebované elektřiny

## 4.2 Ohřev vody

Na ohřev topné vody a pro vytápění je možné využít kombinovaný kotel na dřevo a pelety o výkonu 25 kW, dále je k dispozici akumulární nádrž o objemu 1500 l, ta je propojena s kotlem, ale je možné ji ohřívat i 9 kW topnou spirálou. V domě jsou standardní radiátory a podlahové topení. Dále je možné využít 2x bojler 160 l, každý s 2 kW topnou spirálou.

## 4.3 Spotřebiče

Dům obsahuje saunu o výkonu 10 kW, na jedno saunování je její spotřeba asi 12 kWh, přičemž je možno ji vyhřívat z akumulární nádrže. Mezi další spotřebiče patří čerpadla pro bazén, vrt a rybník.

## 4.4 Řízení domu

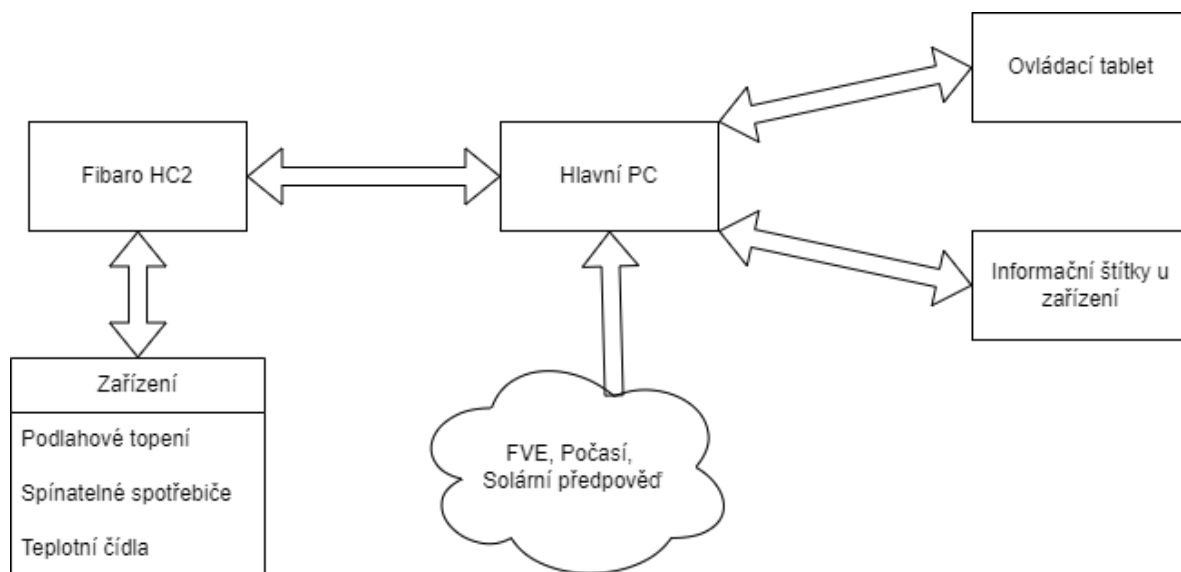
Momentálně je dům řízen pomocí automatizací vytvořených v Fibaro Home Center 2. Je možné ovládat vytápění kotlem na pelety, topné spirály, čerpadla a další. V současné době jsou automatizace založené pouze na aktuálním stavu baterie připojené k FVE, pokud je baterie nabitá nad určitou mez, postupně se připojují topné spirály, které ohřívají vodu v akumulární nádrži atd..

## 4.5 Návrh řešení

Cílem práce je navrhnout systém, který bude univerzální, z počátku ale bude implementován pro konkrétní dům výše. Jednotka Fibaro HC2 poskytuje API rozhraní, přes které je možné nejen získávat informace, ale i ovládat zařízení, které jsou do ní integrované.

Prvotním návrhem je zachovat ovládací Fibaro jednotku s existujícími automatizacemi. Vytvořit server, kde bude běžet řídicí program, který bude komunikovat s Fibaro, případně s dalšími zařízeními, které do Fibara nelze integrovat. Zároveň bude sloužit jako zdroj informací, které se mají zobrazit na uživateli na displeji. V budoucnosti je možnost tento server zároveň využít jako NAS server, nebo pro Home Assistant, který pak dokáže nahradit celou Fibaro jednotku.

HW, na kterém poběží server je nutné vybrat tak, aby byl dostatečně výkonný, aby zvládl virtualizaci prostředí a veškerou komunikaci. Mezi kandidáty bylo RaspberryPi, které vyniká velmi nízkým odběrem, kolem 5 W. Bohužel ale jako úložiště slouží SD karta, která v reálném nasazení vydrží maximálně několik měsíců, poté je nutné ji vyměnit. Další alternativou je IntelNUC, ten poskytuje větší výpočetní výkon, jehož odběr se pohybuje kolem 10 W, zároveň je u něj možné jednoduše vyměnit RAM a SSD disk v případě nedostatku. V případě, že by měl poté server sloužit i například jako NAS server apod. je možné využít i dražší alternativu jako například Dell Optiplex se spotřebou 30 W. Ještě existuje možnost využít hotový NAS server a na něm spouštět řídicí skript.



Obrázek 4.6: Diagram navrhované architektury systému



Dalším prvkem bude displej, který bude sloužit uživateli, bude mu poskytovat srozumitelné informace a bude mu doporučovat, které spotřebiče může zapnout. Ke spotřebičům, které nejsou řízeny pomocí automatizací budou přidány malé displeje, pomocí kterých bude uživatel informován, zda je vhodné nyní spotřebič zapnout, či nikoliv, případně jak má nastavit odložený start spotřebiče.

Menší displeje budou realizovány formou E-ink displeje, tento displej se vyznačuje prakticky nulovou spotřebou. Ovládány budou pomocí mikrokontroléru ESP32, data budou přenášena přes MQTT protokol. V ideálním případě bude řešení navrženo tak, aby jej bylo možné použít i ve větších bytových domech. Ke spotřebičům, které neposkytují možnost dálkového ovládání a detekce běhu (starší pračka, sušička, myčka...) budou přidány chytré zásuvky, které poskytují API, přes něj pak lze ovládat stav sepnutí zásuvky, sledovat aktuální odběr, případně dlouhodobou spotřebu energie. Diagram systému lze vidět na Obr. 4.6, pro návrh tohoto a další diagramů jsem využil [18].



## Kapitola 5

# Architektura řešení

V této kapitole jsou popsány zařízení a služby, které jsou využity pro vytěžování dat, dále obsahuje popis vybraných komponent pro návrh řešení, návrh krabiček pro zařízení. Jsou zde také popsány implementační detaily a algoritmus doporučení pro uživatele.

### 5.1 Vytěžování dat

#### 5.1.1 FVE

##### Solax Cloud

První možností jak získávat data ze solární elektrárny je využití cloudu výrobce. Výhodou je jednoduchost přístupu. Výrobce poskytuje Application programming interface (API), přes které je možné získat tyto parametry:

- Seriové číslo střídače
- Aktuální výkon střídače
- Denní výtěžek
- Celkový výtěžek
- Aktuální odběr z distribuční sítě
- Celková odebraná energie ze sítě
- Celková poslaná energie do sítě
- Aktuální SOC baterie
- Nabíjecí/vybíjecí výkon baterie
- Výkon stringů

Tento způsob získávání má ale několik nevýhod. Hlavní nevýhodou je závislost na připojení k internetu. To znamená, že při výpadku internetu v objektu nebo výpadku elektřiny v objektu nebude možné získávat aktuální data o FVE. Další nevýhodou je aktualizace dat pouze v 5-ti minutových intervalech. Několikrát jsem již také zaznamenal výpadky samotného cloudu výrobce. Protože je ale FVE stále v záruční době, využil jsem tohoto řešení. Existuje ale více způsobů, které jsou popsány níže. Pro vyčítání dat tímto způsobem je nutné se přes webový portál výrobce vygenerovat speciální token, ten je zdarma a umožňuje až 10 000 volání denně. Adresa pro volání:

| [https://www.solaxcloud.com/proxyApp/proxy/api/getRealtimeInfo.do?tokenId=TOKEN\\_ID&sn=SERIAL\\_NUMBER](https://www.solaxcloud.com/proxyApp/proxy/api/getRealtimeInfo.do?tokenId=TOKEN_ID&sn=SERIAL_NUMBER)

##### Curl POST

Novější generace střídače již poskytují rozhraní v rámci Local area network (LAN), přes které je možné získávat aktuální data. Tento způsob nepotřebuje připojení k internetu

a umožňuje vyčítání dat s intervalem obnovy 5 vteřin. FVE v testovaném objektu obsahuje střídače starší generace, ty toto rozhraní nepodporují, ale měl jsem možnost otestovat i tento způsob vyčítání dat na novější verzi střídače a řešení fungovalo. Oproti cloudu poskytuje navíc tyto parametry:

- Napětí v distribuční síti
- Výkon odebrány ze sítě na jednotlivých fázích
- Denní výtěžek
- Aktuální odběr domu
- Napětí stringů
- Proud stringů
- Napětí baterie
- Teplota baterie
- Teplota střídače
- Denní výroba elektrické energie

Data je možné získat pomocí volání:

```
| curl -d "optType=ReadRealTimeData&pwd=PASSWORD" -X POST http://IP_ADDRESS
```

Za důležité parametry lze považovat teplotu baterie, denní vyrobenou energii a teplotu střídače. Baterie při nižších teplotách, typicky pod 10 °C nedokáže poskytovat plný nabíjecí a vybíjecí výkon, při poklesu pod 0 °C nebo nárůstu nad 45 °C zaniká záruka od výrobce. Střídač je pak při vyšších teplotách nucen snižovat výkon kvůli nedostatečnému chlazení.

## Modbus

Střídač poskytuje také rozhraní Modbus, které umožňuje vyčítání dat jako předchozí metoda. V tomto případě je pak ale nutné data zpracovávat pomocí Modbus převodníku a pak dále v PC. Z důvodu nutného zásahu do elektroinstalace by ale došlo k zaniknutí záruky od výrobce, proto jsem toto řešení nevyužil.

### 5.1.2 Solární předpověď

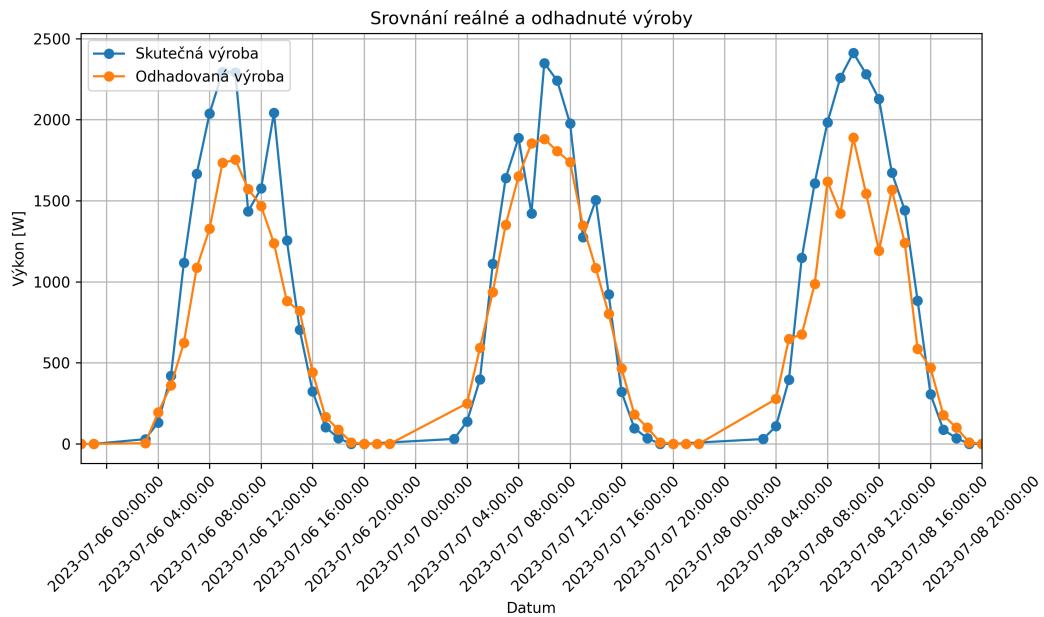
Aby bylo možné člověka informovat o tom, které spotřebiče může v průběhu dne využít, je potřebné znát kolik energie máme uloženo, ať už v baterii nebo akumulární nádrži. Zároveň je nutné odhadnout kolik energie ještě dokáže FVE vyrobit ve zbytku aktuálního a v následujícím dni.

Pro tento účel jsem využil: Forecast Solar [19], ta poskytuje přes API solární předpověď, na základě lokality, konkrétní orientace panelů, aktuálního počasí a statistických dat z PVGIS. Ve verzi zdarma poskytuje předpověď s rozlišením 1 hodiny a intervalem volání 12 volání/hod, s odhadem den dopředu. V případě zakoupení předplatného, je možné získat předpověď s rozlišením 15 minut a až na 6 dní dopředu. Pro účel projektu stačí bezplatná verze.

Volání:

```
| https://api.forecast.solar/estimate/:lat/:lon/:dec/:az/:kwp
```

Sám tuto předpověď již více než rok používám doma a předpověď ve většině případů odpovídá. Výjimkou jsou dny, kdy velmi fouká a střídá se oblačnost, případně dny, kdy jsou panely pokryty sněhem. Na Obr. 5.1 je vidět porovnání odhadnutých a reálných dat pro string o výkonu 2,7 kWp orientovaný na jih se sklonem 22° v červenci.



Obrázek 5.1: Srovnání odhadované a reálné výroby

### 5.1.3 Fibaro Home Center 2

Objekt již obsahuje hub, který integruje většinou chytrých zařízení. Pro komunikaci s externími zařízeními poskytuje API, přes které lze data nejen získávat přes příkaz GET, ale také nastavovat zařízení připojená přes příkaz PUT. Dále umožňuje i modifikaci nastavení nebo odebírání zařízení. Komunikace PC s Fibaro Home Center probíhá pouze v rámci LAN, nehrozí tak potenciální zneužití dat uložených v cloudu. Internet a cloudové služby jsou používány pouze pro vytěžování dat z FVE, předpovědi počasí a solární předpovědi. Zde kromě FVE, u které jsou možnosti komunikace popsány výše, jiné řešení neexistuje. Na adrese níže pak poskytuje rozhraní popisující API, včetně možnosti testování volání.

| [http://IP\\_ADD/docs/](http://IP_ADD/docs/)

### 5.1.4 Předpověď počasí

Jako zdroj předpovědi počasí jsem využil [20], to opět poskytuje API, přes které je možné získávat data. V bezplatné verzi poskytuje 1000 volání/den, další jsou pak za poplatek. V bezplatné verzi nabízí 5 denní předpověď.

Adresa volání:

| [https://api.openweathermap.org/data/3.0/onecall?lat=LATTITUDE&lon=LONGITUDE&units=metric&appid=API\\_KEY](https://api.openweathermap.org/data/3.0/onecall?lat=LATTITUDE&lon=LONGITUDE&units=metric&appid=API_KEY)

## 5.2 Informační štítky u spotřebičů

Informační štítky jsou použity u zařízení, které spotřebují na svůj cyklus velké množství elektrické energie, z toho důvodu je potřebné uživatele informovat o optimální době, kdy zařízení využívat.

### 5.2.1 Hardware

Uživatel je informován pomocí malého monochromatického displeje tzn. E-Paperu o úhlopříčce 2.7" s rozlišením 264x176. Jedná se o optimální velikost displeje na to, aby informace byly jednoduše čitelné a zároveň displej nebyl zbytečně veliký. Tento typ displeje jsem vybral, protože je velmi úsporný, elektrickou energii spotřebovává pouze pokud se na něm překresluje obraz, jinak je spotřeba prakticky nulová. Tyto displeje je možné nalézt v obchodech jako cenovky zboží. Štítek je napájen Li-Pol baterií o kapacitě 2500 mAh, případně lze využít konektor USB-C.

Uživatel může štítek ovládat pomocí 3 kapacitních tlačítek. 1. slouží k potvrzení navrhovaného času systémem, 2. tlačítko slouží k vynucenému spuštění spotřebiče i v neideální dobu, poslední tlačítko slouží pro výpis diagnostických informací celého modulu.

Pro realizaci jsem využil čip ESP32, ten disponuje konektivitou Wi-Fi a velkým množstvím General Purpose Input/Output (GPIO). Konkrétně jsem využil již existující desku LaskaKit ESPink [21], která je přímo navržena pro práci s displejem výše, to znamená, že již obsahuje konektor pro displej, díky tomu není potřeba využít Flexible flat cable (FFC) adaptér. Dále obsahuje konektor pro připojení baterie. Konektor USB-C je možné využít k programování čipu a pro nabíjení připojené baterie.

Krabička je navržena tak, aby se do ní vešla veškerá elektronika. Vytiskl jsem ji na tiskárně Prusa MK2.5 z PET-G, jednotlivé moduly tlačítek jsem propojil s deskou pomocí vodičů. Uchycení v krabičce je pomocí závitových vložek do plastu, které jsem po nahřátí nalisoval do vytisknutého boxu.

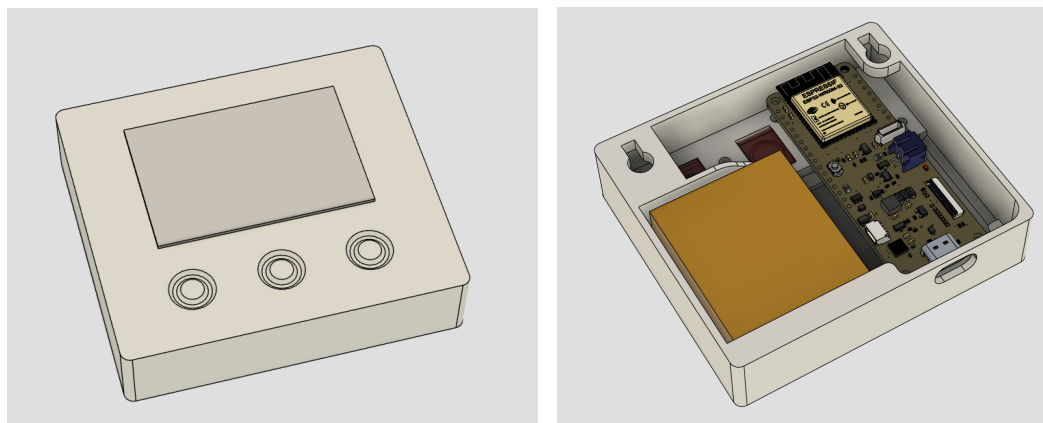
Seznam komponent použitých pro štítek:

- LaskaKit ESPink ESP32 e-Paper 1x
- Good Display GDEY027T91 2.7" 264x176 ePaper displej Grayscale 1x
- GeB LiPol Baterie 104050 2500mAh 3.7V JST-PH 2.0 1x
- Kapacitní Dotykové tlačítko TTP223 3x
- 10 k $\Omega$  Odpor 3x
- Závitové vložky
- Vodiče
- Šroubky
- Vytištěná krabička

Seznam použitých nástrojů

- Pájecí stanice
- Isopropyl alkohol
- Kleště
- Pinzeta
- Šroubovák s bity
- Odizolovací nůž

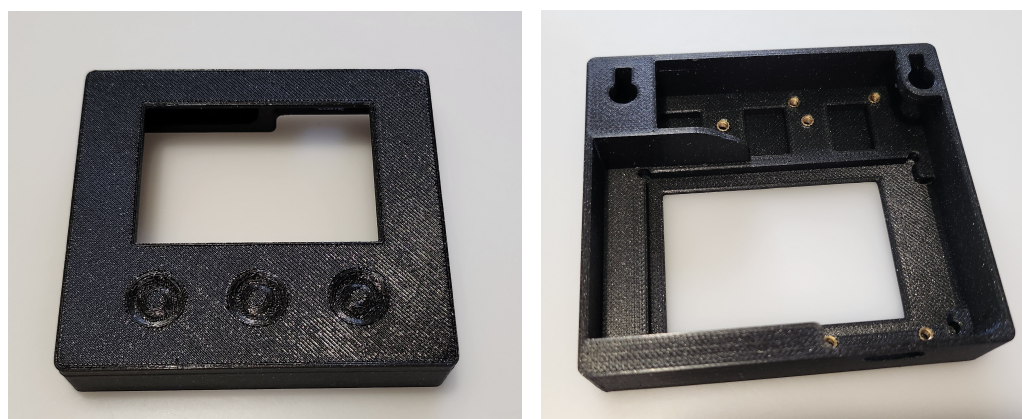
Pro návrh krabičky jsem využil program Fusion 360 [22], pohled na model lze vidět na Obr. 5.2. Baterie je znázorněna žlutou barvou, kapacitní tlačítko červenou. Model desky jsem našel na webu výrobce [21] ve formě STEP modelu, který jsem si do programu naimportoval. Na Obr. 5.3 lze vidět vytištěnou krabičku, na Obr. 5.4a je již zkompletovaná, na Obr. 5.4b je zobrazen hlavní pohled pro uživatele, na Obr. 5.4c jsou pak zobrazeny diagnostické informace.



(a) Přední pohled na model

(b) Zadní pohled na model

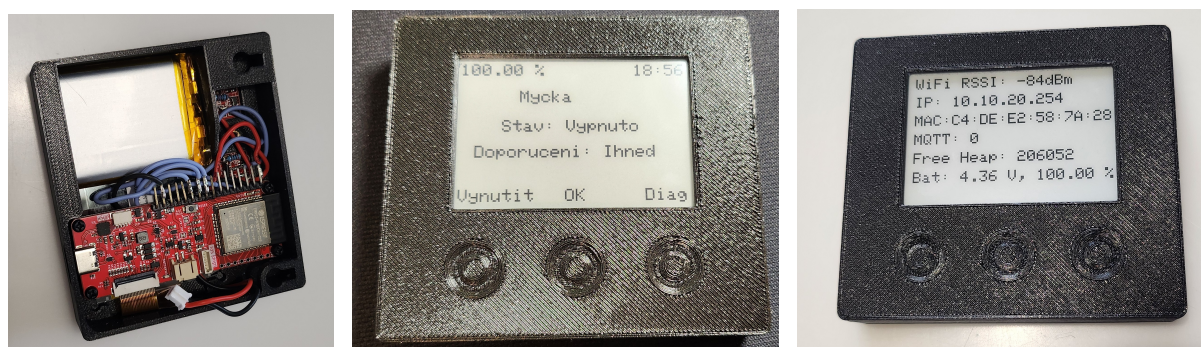
Obrázek 5.2: Návrh krabičky v Fusion 360



(a) Přední pohled

(b) Zadní pohled s osazenými závitovými vložkami

Obrázek 5.3: Vytištěný box



(a) Box s osazenými moduly

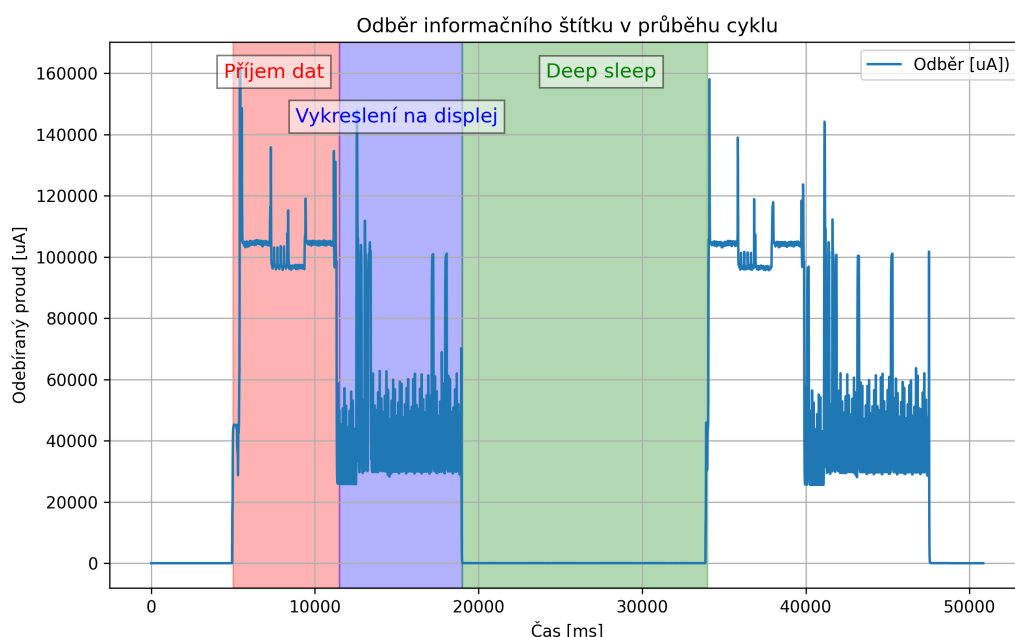
(b) Hlavní pohled pro uživatele

(c) Diagnostické informace

Obrázek 5.4: Finální podoba krabičky

## Spotřeba štítku

Pro štítek je zásadní délka výdrže na baterii. Proto jsem využil deep-sleep režim, ve kterém je většina komponent desky ESP32 vypnutá. Probuzení probíhá periodicky v 30-ti minutových intervalech, kdy dochází k příjmu dat z centrálního počítače a vykreslení na displeji. Druhou možností probuzení je uživatelská interakce s tlačítkem, po probuzení modulu dojde opět ke stažení aktuálních dat a zároveň je odeslána uživatelem vybraná volba spuštění spotřebiče. Pro měření spotřeby jsem využil Power Profiler Kit II [23], který je schopný změřit i jednotky  $\mu\text{A}$ . Na Obr. 5.5 lze vidět průběh odběru.



Obrázek 5.5: Průběh odběru štítku

Tabulka 5.1: Spotřeba ESP32 v jednotlivých fázích běhu

Akce	Odběr	Doba odběru
Příjem dat	100 mA	6,5 s
Vykreslování na displej	40 mA	7,5 s
Deep sleep	26 $\mu\text{A}$	1800 s

Tabulka 5.2: Odhadovaná výdrž v závislosti na intervalu probouzení

Interval probouzení	Doba výdrže
5 minut	28 dní
10 minut	55 dní
15 minut	82 dní
30 minut	160 dní

Z grafu jsem si vyčetl doby trvání jednotlivých fází, ty je možné vidět v tabulce 5.1. Z



těchto údajů jsem pak dopočítal dobu výdrže na baterii. Pro výpočet jsem počítal využívání baterie na 80 %, v tabulce 5.2 lze vidět očekávanou výdrž v závislosti na intervalu probouzení. Reálná výdrž pak bude závislá na frekvenci používání štítku uživatelem.

### 5.2.2 Software

#### MQTT

Pro komunikaci s centrálním počítačem, který má na starost veškeré řízení je využito protokolu MQTT. Jedná se o protokol navržený pro komunikaci mezi Internet of things (IoT) zařízeními pomocí hlavního bodu - brokeru. Komunikace je založena na principu publish-subscribe. Každé zařízení tak může přijímat a odesílat data na tzn. topicu. Zde jsou využity 3 topicy, první slouží k posílání dat, která se mají vykreslit na displeji, druhý slouží pro přenos příkazů od uživatele, poslední slouží k zaslání stavu baterie.

```
esp/MAC/data  
esp/MAC/command  
esp/MAC/battery
```

Data, která se mají vykreslit na displeji jsou posílána ve formátu popsaném níže. Stačí definovat na jakých souřadnicích se má text vykreslit a poté textový řetězec pro vykreslení.

```
{"type": "text", "x_pos": 5, "y_pos": 20, "text": "World"}
```

#### Kód

Při realizaci je použito v domácnosti více štítků, rozhodl jsem se proto psát kód univerzálně tak, aby bylo možné stejný kód použít pro všechny štítky bez nutnosti jediné modifikace. To znamená, že každý štítek se identifikuje pomocí MAC adresy, kterou lze softwarově získat, to slouží jako základ pro jednotlivé MQTT topicy. Při startu se zařízení připojí k Wi-Fi a MQTT brokeru, přijme data, která má zobrazit na displeji, poté přejde do deep-sleep režimu.

Mimo pravidelné probouzení je možné využít uživatelská tlačítka, po jejich stisku je vyvolán externí wakeup, celý modul se pak spustí, obdobně jako při pravidelné aktualizaci, navíc ale vyšle centrálnímu PC informaci od uživatele.

#### Bezpečnost

Aby byla zaručena bezpečnost, přístupové údaje k Wi-Fi nejsou uloženy v hlavním programu, ale jsou jako první nahrány pomocí knihovny "Preferences.h" do flash paměti ESP32, poté je do ESP32 nahrán samotný řídicí program, ve kterém jsou tyto údaje pak načteny. Zároveň pro připojení k MQTT brokeru jsou vyžadovány přístupové údaje, ty jsou na hlavním počítači vygenerovány z MAC adres jednotlivých zařízení.

## 5.3 Hlavní displej

Aby se mohl uživatel v reálném čase podívat na jednotlivé prvky chytré domácnosti, je využit centrální displej, přes který může monitorovat teploty v místnostech, ovládat jednotlivé spotřebiče nebo sledovat data z FVE.

### 5.3.1 Hardware

Vybral jsem 7" dotykový displej Nextion original Enhanced NX8048K070 [24] s rozlišením 800x480. Hlavní displej je napájen pomocí adaptéru ze sítě, z toho důvodu není nutné vybírat velice úsporný displej jako v případě informačního štítku. Protože displej bude umístěn v obývacím pokoji, je důležitější pohodlí uživatele pro ovládání domácnosti a přehledné grafické rozhraní. Displej obsahuje již vlastní MCU, který vyhodnocuje dotyky displeje a řídí základní logiku displeje, dále Random-access memory (RAM), Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM), Real-time clock (RTC) a slot pro SD kartu, ten je využit pro prvotní nahrání grafiky do paměti displeje. Pro komunikaci s nadřazeným MCU je využit sériový port.

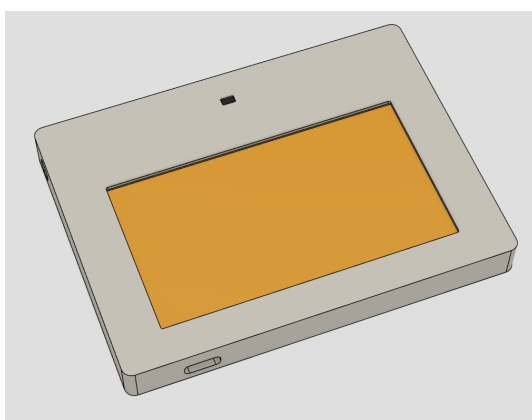
Obdobně jako u menšího štítku jsem zde využil čip ESP32, osazený v existující desce: LaskaKit ESP32-S3 [25]. Ta obsahuje stejné funkcionality jako u štítku, ale má více GPIO. Protože se jedná o displej, který má větší spotřebu, nelze jej napájet přímo z této desky, při nedostatečném napájení hrozí poškození displeje. Využil jsem tak USB-C adaptér, přes který je napájení rozvedeno pro ESP32 a displej separátně.

Uživateli je nabídnuto několik pohledů pro displej, mezi kterými si může libovolně přepínat. Pro přechod mezi pohledy může využít dotykový displej nebo senzor gest, pak pro přechod stačí mávnout rukou před displejem.

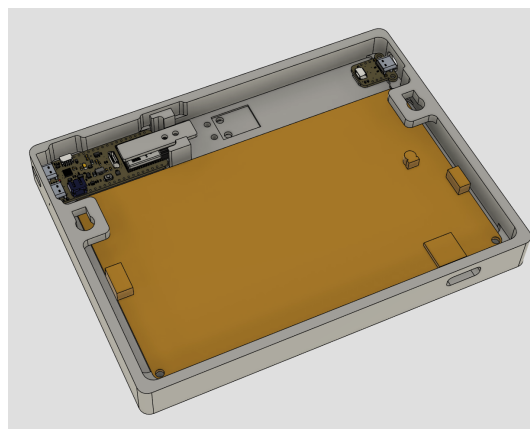
Seznam použitých komponent:

- LaskaKit ESP32-S3-DEVKit 1x
- Nextion orig. Enhanced NX8048K070 1x
- Senzor RGB a gest APDS-9960 1x
- LaskaKit USB-C adaptér 1x
- Závitové vložky
- Vodiče
- Šroubky
- Vytištěná krabička

Na Obr. 5.6 je vyobrazen model. Žlutá část představuje samotný displej, šedá část bude vytištěna na 3D tiskárně.



(a) Přední pohled na model boxu



(b) Zadní pohled na model boxu

Obrázek 5.6: Návrh boxu pro displej v Fusion 360

Na Obr. 5.7 lze vidět vytištěný box pro displej, na Obr. 5.8 je pak funkční displej s pohledem na přehled spotřebičů. Pro návrh rozhraní jsem využil volně dostupné grafické prvky z [26], ikony pro vizualizaci počasí jsem využil [20], ikonu baterie jsem si upravil z [27].



(a) Přední pohled na displej

(b) Zadní pohled na krabičku pro displej s osazenými závitovými vložkami

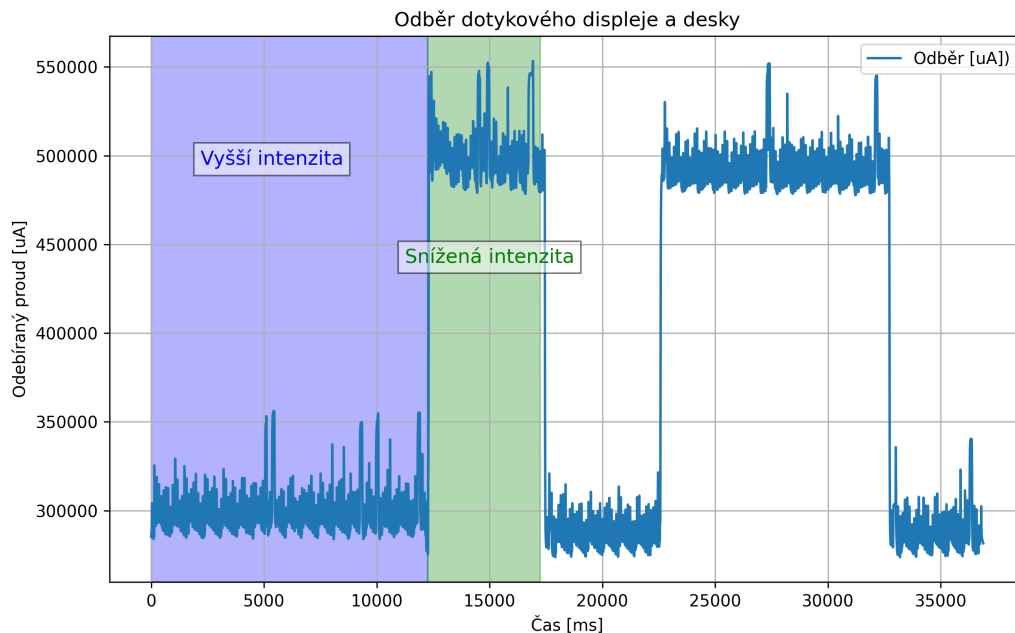
Obrázek 5.7: Vytištěný box



Obrázek 5.8: Funkční displej s pohledem na spotřebiče

## Spotřeba

Spotřebu jsem měřil stejným zařízením jako informační štítek. Výsledný odběr při zapnutém displeji se v průměru pohyboval na 480 mA, při snížení intenzity klesl odběr na 280 mA. Displej je nastaven tak, že pokud po dobu 15 vteřin nedetekuje objekt, sníží intenzitu svícení, v případě detekce pak intenzitu opět zvýší. Průběh lze vidět na Obr. 5.9



Obrázek 5.9: Průběh odběru displeje

### 5.3.2 Software

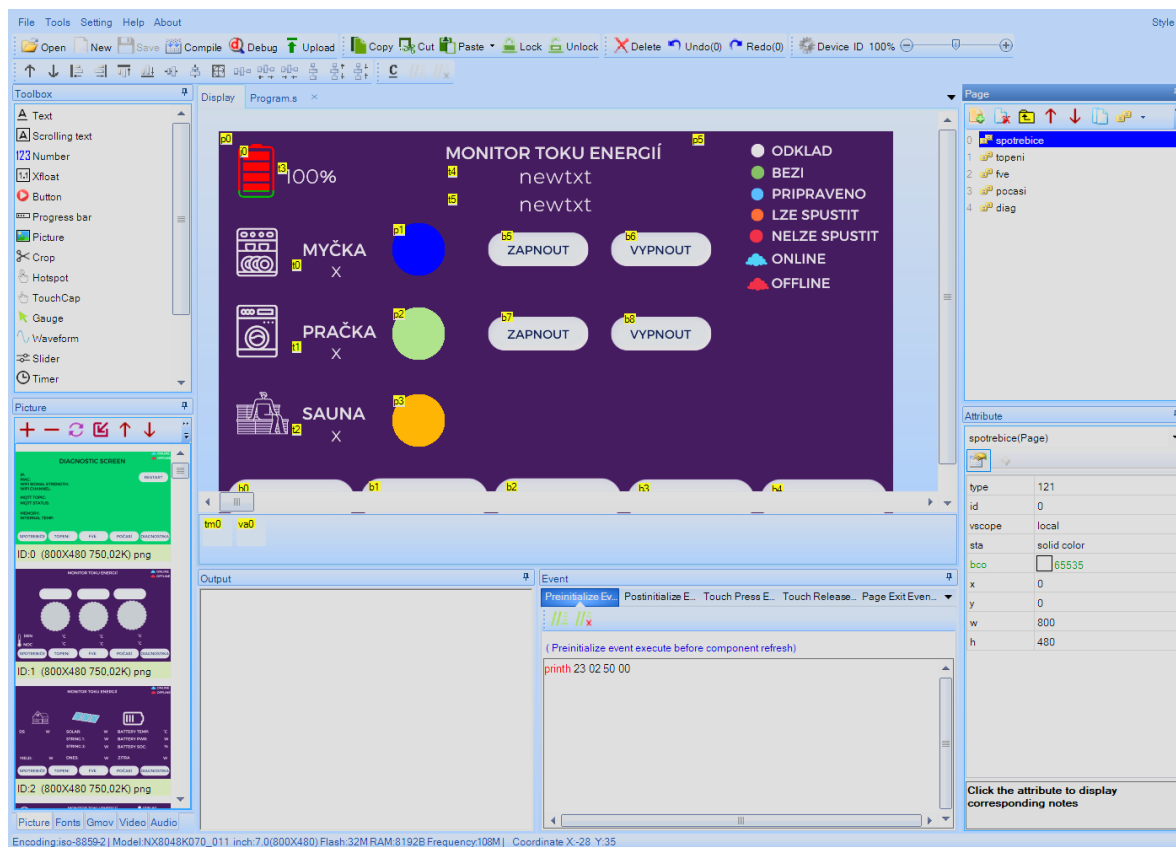
Sytém posílání dat je stejný jako pro informační štítek, tedy přes MQTT. Zabezpečení je také stejné. Oproti štítku zde není využito deep-sleep režimu a pravidelného probouzení, je totiž důležité, aby displej byl připravený kdykoliv s ním chce uživatel interagovat. Data jsou opět posílána z centrálního PC přes MQTT. Poté jsou předána displeji pomocí sériového rozhraní. První 4 topicky slouží pro přenos dat, která se mají na displeji zobrazovat. Poslední je využit pro přenos příkazů od uživatele na centrální PC.

```
esp/MAC/spotrebice
esp/MAC/topeni
esp/MAC/fve
esp/MAC/pocasi
esp/MAC/action
```

### Návrh displeje

Jako první je nutné stáhnout aplikaci Nextion Editor [28], po vybrání konkrétního typu displeje a jeho orientace se otevře grafické rozhraní s paletou prvků, které je možné využít pro tvorbu pohledu, lze jej vidět na Obr. 5.10. Na pravé straně si můžeme vytvářet různé stránky pro displej, na levé straně je umístěna paleta nástrojů, které je možné využít v návrhu, jedná se o tlačítka, obrázky, ukazatele nebo textová pole. Protože displej obsahuje interní paměť, lze do něj nahrát i krátké video. Po přidání nástroje na aktuální stránku dostane prvek unikátní číslo, v obrázku se jedná o text se žlutým pozadím. Identifikátor pak slouží pro jeho modifikaci přes ESP32. Každý prvek má několik vlastností, mezi hlavní patří například barva textu, barva pozadí, souřadnice na displeji nebo velikost. Tyto vlastnosti je možné modifikovat po kliknutí na prvek v pravé dolní části.

Po navržení všech pohledů jsem vyexportoval z programu soubor, ten pak uložil na SD kartu. Po jejím vložení do displeje a zapnutí dojde automaticky k nahrání dat do displeje. Pro následné ovládání přes ESP32 jsem využil dostupné knihovny [29], ta poskytuje funkce, přes které je možné ovládat chování displeje a zobrazovaná data právě na základě výše zmíněných identifikátorů u prvků a jejich vlastností.



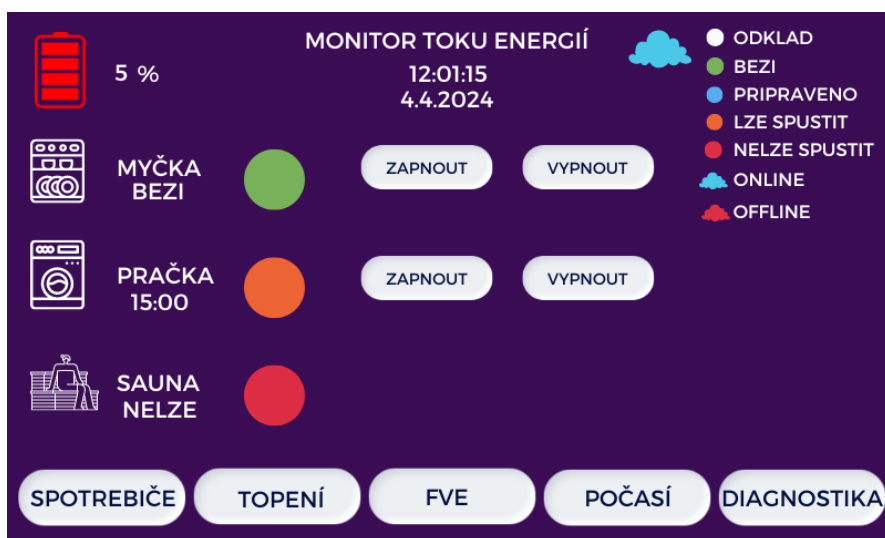
Obrázek 5.10: Nextion Editor

### 5.3.3 Ovládání uživatelem

Uživatel může přepínat jednotlivé pohledy pomocí tlačítek umístěných ve spodní části displeje nebo využít ovládání gesty. V pravé horní části displeje je symbol mráčku, ten symbolizuje, zda jsou data aktuální, v případě výpadku internetu, nebo problému s vytěžováním dat mráček změní barvu na červenou.

#### Karta spotřebiče

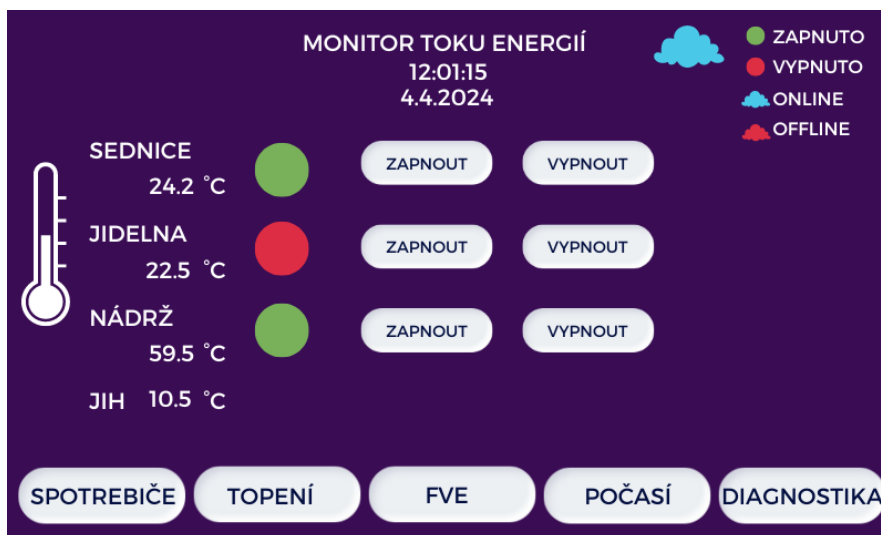
Zde je uživatel informován o aktuálních stavech jednotlivých spotřebičů, případně je může manuálně ovládat. Zároveň je zde vidět ideální čas pro spuštění spotřebiče. Tento pohled je vidět na Obr. 5.11.



Obrázek 5.11: Přehled spotřebičů

### Karta topení

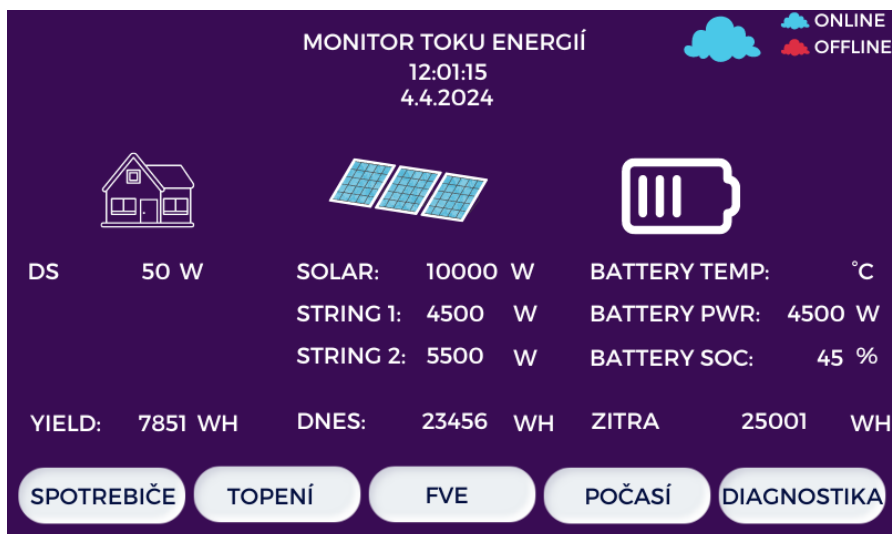
V této sekci jsou přehledně zobrazeny teploty na vybraných místech v objektu, zároveň je zde možnost ovládat podlahové vytápění a termostat akumulární nádrže. Aktuální stav je pak barevně indikován. Vše lze vidět na Obr. 5.12.



Obrázek 5.12: Přehled topení

### Karta FVE

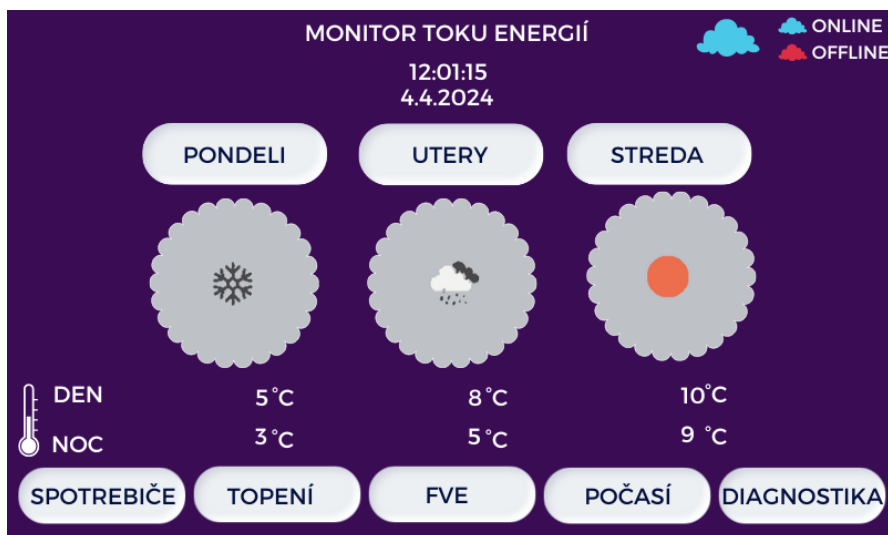
Slouží k informování ohledně aktuálního stavu FVE, lze zde vyčíst data jako aktuální odběr ze sítě, stav baterie, výkon panelů, nebo předpokládanou výrobu za daný den. Lze vidět na Obr. 5.13.



Obrázek 5.13: Přehled o FVE

### Karta počasí

V této kartě je vyobrazena předpověď počasí na 3 dny, pro každý den obsahuje ikonu očekávaného počasí, ve spodní části jsou pak průměrné denní a noční teploty pro daný den, příklad lze vidět na Obr. 5.14.



Obrázek 5.14: Přehled počasí

### Karta diagnostika

Slouží pro zjištění IP adresy zařízení, zjištění síly signálu. Je zde také umístěno tlačítko pro případný restart zařízení. Zobrazeno na Obr. 5.15.



Obrázek 5.15: Diagnostický pohled



## 5.4 Hlavní PC

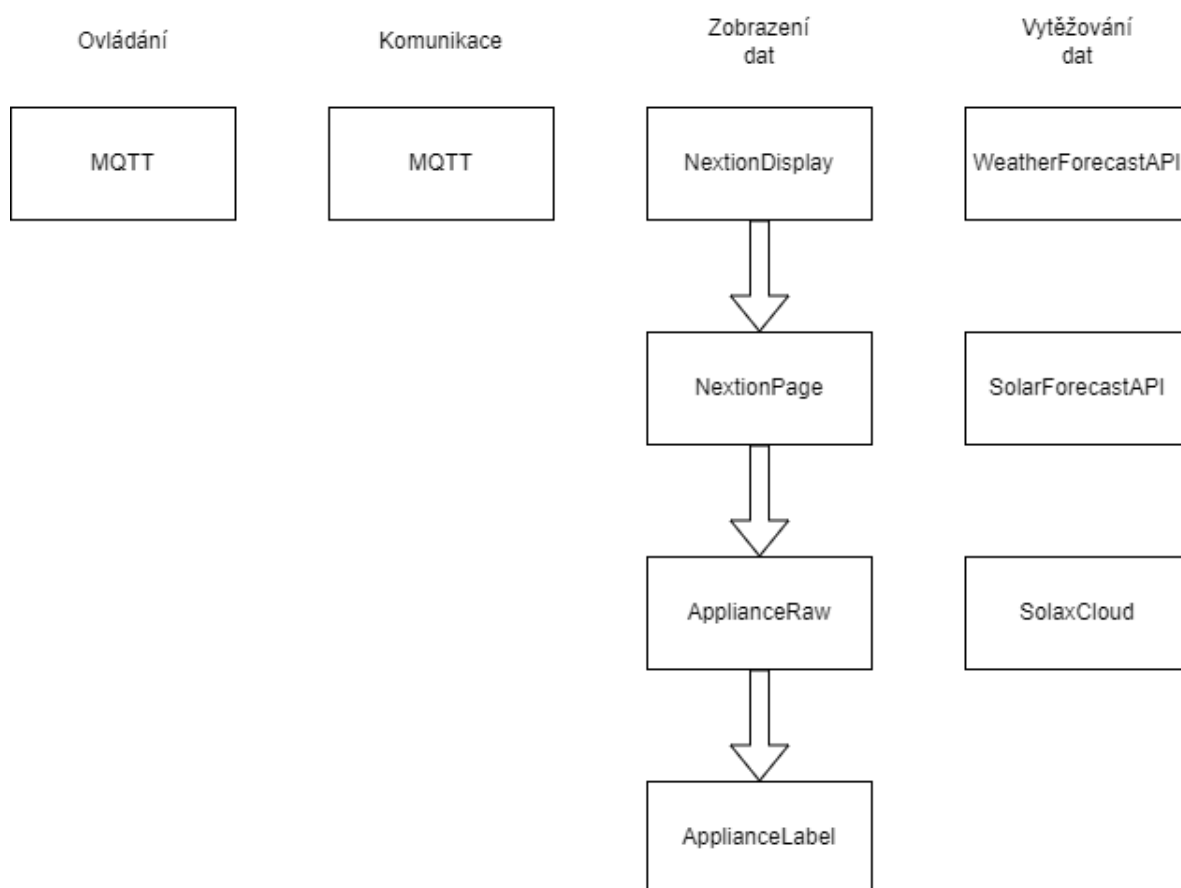
Jako hlavní PC jsem využil Intel NUC starší generace s 8 GB RAM, protože nevykonává výpočetně náročné operace, je na tento účel dostatečný, změřená spotřeba se pohybuje kolem 10 Wh. Na počítači je jako operační systém nainstalovaný Windows 10 na 256 GB Solid State Drive (SSD). Počítač jsem nastavil tak, aby jej nebylo nutné za normálních okolností obsluhovat, po zapnutí PC dojde automaticky k přihlášení uživatele a spuštění celého programu, který má na starost veškerou komunikaci se štítky, displejem, vytěžování dat a výpočet doporučení. Dále se automaticky spustí MQTT broker. V případě, že PC nebude připojen do stejné sítě jako je Fibaro Home Center, je možné spustit nástroj OpenVPN [30], přes který dojde k navázání připojení do virtuální privátní sítě. PC bude pravděpodobně umístěn v server racku, kde k němu nebude přístup, proto jsem nainstaloval aplikaci AnyDesk [31], ta vygeneruje PC unikátní číslo. Poté se můžeme na jiném PC, kde je také nainstalovaný AnyDesk, na tento PC připojit a ovládat jej. V případě výpadku a opětovné dodávce elektřiny dojde k automatickému spuštění celého počítače.

### 5.4.1 Zabezpečení

Jednotlivým zařízením vytvořeny přístupové údaje pro připojení k MQTT brokeru na základě uživatelských jmen, ty jsou vytvořeny dle MAC adres jednotlivých zařízení. Aby každé zařízení mohlo přistupovat pouze k topicům, které mu náleží je vytvořený Access Control List (ACL), ten zapříčiní to, že zařízení nebude schopné přijímat a posílat údaje na jiné, než definované topic. Ještě bezpečnější variantou by bylo použití certifikátů, to by pak ale znamenalo, že nebude možné použít stejný kód pro všechny zařízení.

### 5.4.2 Organizace programu

Jako programovací jazyk jsem si vybral Python [32]. Podporuje totiž velké množství knihoven, nabízí objektově orientované programování a dobré funkcionality pro zpracování dat. Pro vygenerování některých částí kódu jsem využil [33], jednalo se hlavně o repetitivní činnosti při práci s API. Musím ale zdůraznit, že tento nástroj není dokonalý, dokáže sice urychlit práci, ale je nutné si jeho výsledky ověřovat, případně dokonce opravit tak, aby řešení fungovalo. Celý návrh jsem rozdělil do několika tříd, tak, aby bylo v budoucnu modifikovatelné dle potřeb. Zároveň je díky tomu možné implementovat řešení pouze pomocí informačních štítků bez hlavního displeje nebo naopak. Umožňuje to také využití v bytových domech, kde každé jednotce jsou přiřazeny jednotlivé instance třídy bez nutnosti větších modifikací programu. Zjednodušené schéma tříd lze vidět na Obr. 5.16. Kritické třídy, které vytěžují data, ukládají informační data do individuálních souborů (log). Typicky se jedná o chyby na dotazy přes API, to je důležité v případě nefunkčnosti nebo problému v některé části programu. Do okna příkazové řádky jsou průběžně vypisována informační hlášení a stavy týkající se například výpočtu ideálního času spuštění. Přístupové údaje, IP adresy a API klíče jsou všechny uloženy v jednom separátním souboru, tak aby je bylo možné snadno a přehledně modifikovat.



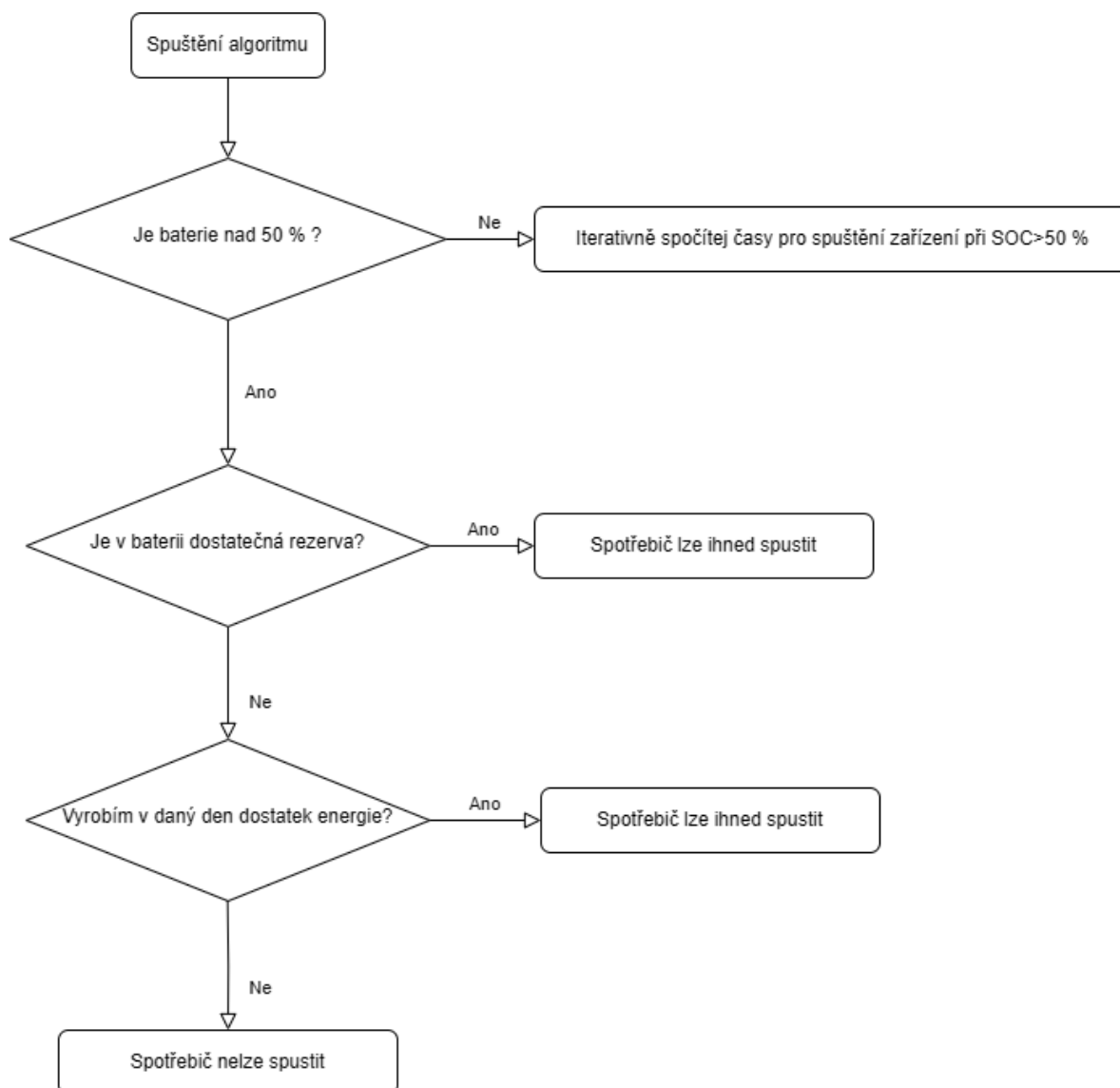
Obrázek 5.16: Rozdělení do tříd

### 5.4.3 Hlavní smyčka

Při prvním spuštění programu dojde inicializaci a vytvoření jednotlivých instancí tříd. Pomocí knihovny "threading" jsem si vytvořil časovače. Ty se chovají na principu samostatných vláken, která běží paralelně a nezávisle na sobě. Tyto časovače slouží k periodickým spouštěním vytěžování dat a algoritmu pro doporučování ideálního spuštění spotřebičů. Některá vlákna pak mohou používat stejná data, aby nedošlo k souběhu vláken a nepředvídatelnému čtení nebo zápisu v jeden okamžik využil jsem jednoho zámku, přes který je řízen přístup mezi jednotlivými vlákny. Před zápisem dat je nutné tento zámek získat, po dokončení potřebných operací je tento zámek zpět uvolněn pro další vlákna.

### 5.4.4 Algoritmus doporučení

Protože cílem tohoto projektu je zvýšení energetické soběstačnosti, snažil jsem se algoritmus nastavit tak, aby spotřebiče byly spouštěny v době, kdy je dostatek elektrické energie pro zbytek dne a zároveň dostatečná rezerva v baterii pro noční spotřebu. V průběhu dne je snaha jako první nabít baterii nad 50 %. Primárně jako rezervu na noční provoz, případně na výpadek proudu. Poté využívám solární předpovědi pro aktuální a následující den, spolu s údajem o reálně vyrobené elektřině v daný den. Algoritmus je vyobrazen ve zjednodušené formě zobrazen na Obr. 5.17



Obrázek 5.17: Zjednodušený diagram algoritmu

Jako první je do výpočtu zahrnut aktuální SOC baterie a je vypočítána energie, kterou je nutné do baterie dodat, aby dosáhla 50 %. Poté je spuštěn iterativní výpočet s hodinovým rozlišením. V případě, že je baterie již nad 50 % a rezerva v baterii je vyšší než potřebná energie pro spuštění zařízení a pohotovostní spotřeba domu do 18. hodiny, lze zařízení spustit hned. V případě, že je baterie již nad 50 % a dle předpovědi vím, že FVE v ten den ještě vyrobí dostatek elektřiny pro spuštění zařízení a pokrytí pohotovostní spotřeby domu do 18. hodiny, při udržení 50 % SOC, lze zařízení také ihned spustit. Tyto dvě podmínky zaručí dostatek elektřiny uložené v baterii pro noční provoz.

V případě, že zařízení nelze ihned spustit, je iterativně vypočítáno na základě hodinové předpovědi v kolik hodin to bude možné. Do výpočtu je zahrnuta energie potřebná pro dobití baterie nad 50 %, pohotovostní spotřeba v průběhu dne, energie rezervovaná pro zařízení, které již mají řízený odklad spuštění a samotná energie potřebná pro dané zařízení. Pokud se během aktuálního a následujícího dne nenalezne vhodný okamžik pro spuštění spotřebiče, je o tom informován uživatel na dotykovém displeji i na štítku u spotřebiče.

Pokud spotřebič již má naplánovaný řízený odklad startu a je zjištěno, že již nepůjde spustit, je jeho odklad zrušen a uživatel opět informován. V případě, že je spotřebič odložený a energetická situace umožní dřívější spuštění, je provedeno dříve, spolu s informováním uživatele. Jestliže v průběhu cyklu spotřebiče klesne SOC baterie pod 50 %, spotřebiči je umožněno daný cyklus dokončit.

Tento algoritmus bere v potaz aktuální energetickou situaci v domě a pohotovostní spotřebu domu v průběhu dne, ale v případě že by došlo například k připojení elektromobilu, nebo jiného energeticky náročného zařízení, algoritmus to nemohl předpokládat. Díky iterativnímu výpočtu ale dokáže přepočítat doporučené časy základních spotřebičů, které jsou definovány.

## Kapitola 6

# Testování řešení

V rámci testování řešení jsem využil dva informační štítky, jeden pro myčku na nádobí, druhý pro pračku. Dále jeden hlavní dotykový tablet. Hlavní řídicí PC jsem nechal běžet více než dva týdny v kuse. Průběžně jsem jej monitoroval vzdáleně pomocí [31]. Počítač spolu s programem běžel plynule bez problému. Snažil jsem se simulovat chování běžného uživatele a využívat tak informačních štítků. Algoritmus pro doporučování fungoval dobře. Snažil jsem se i využít řízeného odkladu spuštění, ten také fungoval dle očekávání. Manuální ovládání topení přes dotykový tablet bylo bezproblémové. Vytěžování dat z FVE fungovalo plynule bez jakýkoliv chyb. Na Obr. 6.1 lze vidět testovanou sestavu.

Jako nevýhodu vidím pouze horší čitelnost informačních štítků u spotřebičů jako je pračka a podobných. Ty jsou typicky umístěny v technické místnosti, která je ve většině případů malá a méně osvětlená.

Potenciál pro budoucí vylepšení si myslím, je navržení vlastní desky plošných spojů pro informační štítek, tím by bylo možné celé zařízení zmenšit.



Obrázek 6.1: Testovací sestava obsahující displej a dva informační štítky

# Kapitola 7

## Závěr

Tato práce cílila na návržení monitoru toku energií v rodinných a bytových domech. Popis cíle práce je detailněji popsán v kapitole 1.

Všechny úkoly byly úspěšně splněny dle zadání:

Poskytl jsem přehled existujících řešení na trhu v kapitole 1.

Seznámil jsem se s problematikou výroby a ukládání energie v kapitole 2

Analyzoval jsem potřeby uživatelů a možnosti zdrojů elektrické energie v kapitole 3.

Navrhl jsem a zrealizoval monitorovací systém pro domácnost, který sbírá data z existujících systémů a uživateli je pak přehledně zobrazuje, popis systému je v kapitole 5.

Kompletní systém jsem otestoval a popsal možnosti pro budoucí vylepšení v kapitole 6.





## Kapitola 8

# Literatura

- [1] Wattrouter. (2024), URL: <https://solarcontrols.cz/cz/wattrouter.html>.
- [2] „Nord Power Genius 3000.“ (2024), URL: <https://gbc-solino.cz/novinky-cs/novinka-nord-power-genius-3000/>.
- [3] Crestron. (2024), URL: <https://www.evenix.cz/produkty/ridici-system-crestron/>.
- [4] Loxone. (2024), URL: <https://www.loxone.com/cscz/>.
- [5] Sunny Home. (2024), URL: <https://www.smartsunnyhome.com/>.
- [6] Solar Station. (2024), URL: <https://www.solar-station.cz/>.
- [7] Home Assistant. (2024), URL: <https://www.home-assistant.io/>.
- [8] B. U. Abdolmaleki L, „Hybrid solar energy systems with hydrogen and electrical energy storage for a single house and a midrise apartment in North America,“ roč. 52, s. 1381–1394, 2024. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.11.222.
- [9] J. D. Hunt, B. Zakeri, J. Jurasz et al., „Underground Gravity Energy Storage: A Solution for Long-Term Energy Storage,“ roč. 16, s. 1–20, 2 2023. DOI: 10.3390/en16020825.
- [10] Český soběstačný dům. (2024), URL: <https://www.cs dum.cz/>.
- [11] Casa Siemens Milan. (2024), URL: <https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/urban-communities/references/casa-siemens.html>.
- [12] Desigo. (2024), URL: <https://www.siemens.com/cz/cs/products/technologie-budov/automation/desigo.html>.
- [13] Tzbinfo. (2024), URL: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>.
- [14] NIBE. (2024), URL: <https://www.nibe.eu/cz/cs>.
- [15] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (2024), URL: [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en).
- [16] PVsol. (2024), URL: <https://pvsol.software/en/>.
- [17] Solax. (2024), URL: <https://www.solaxcloud.com/blue/#/login>.
- [18] draw.io. (2024), URL: <https://app.diagrams.net/>.
- [19] Forecast Solar. (2024), URL: <https://doc.forecast.solar/start>.
- [20] Open Weather Map. (2024), URL: <https://openweathermap.org/>.
- [21] LaskaKit ESPink ESP32 e-Paper. (2024), URL: <https://www.laskakit.cz/laskakit-espink-esp32-e-paper-pcb-antenna/>.
- [22] Fusion 360. (2024), URL: <https://www.autodesk.cz/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [23] Power Profiler Kit II. (2024), URL: <https://www.nordicsemi.com/Products/Development-hardware/Power-Profiler-Kit-2>.
- [24] Nextion NX8048K070. (2024), URL: <https://nextion.tech/datasheets/nx8048k070/>.

- [25] LaskaKit ESP32-S3-DEVKit. (2024), URL: <https://www.laskakit.cz/laskakit-esp32-s3-devkit/>.
- [26] Canva. (2024), URL: <https://www.canva.com/>.
- [27] Vecteezy. (2024), URL: <https://www.vecteezy.com/vector-art/7902065-battery-icon-isolated-on-white-vector>.
- [28] Nextion Editor. (2024), URL: <https://nextion.tech/nextion-editor/>.
- [29] Easy Nextion Library. (2024), URL: <https://github.com/Seithan/EasyNextionLibrary>.
- [30] OpenVPN. (2024), URL: <https://openvpn.net/>.
- [31] AnyDesk. (2024), URL: <https://anydesk.com/en>.
- [32] Python. (2024), URL: <https://www.python.org/>.
- [33] ChatGPT 3.5. (2024), URL: <https://chat.openai.com/>.

## Kapitola 9

# Seznam příloh

Přílohy, které jsou k dispozici online spolu s prací:

- Zdrojový kód pro hlavní počítač
- Zdrojový kód pro ESP32 pro informační štítky
- Zdrojový kód pro ESP32 pro dotykovou obrazovku
- 3D model krabičky pro informační štítek
- 3D model boxu pro dotykovou obrazovku
- Modely domů pro systém PVSol
- Videá ovládání tabletu

Tyto přílohy jsou také dostupné na školním repozitáři Gitlab. Soubor, který obsahuje definice IP adres a přístupové klíče pro služby (Solax API, předpověď počasí a další) pro hlavní počítač, z důvodu, aby nedošlo k případnému zneužití je upravený. Pro funkčnost řešení je nutné tento soubor upravit dle vlastních klíčů a adres.