



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY**

**A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## **NÁVRH A REALIZACE TESTOVACÍHO POLYGONU PRO ŘÍZENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE V BYTOVÝCH DOMECH**

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A TEST POLYGON FOR ELECTRICAL ENERGY MANAGEMENT IN  
RESIDENTIAL BUILDINGS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Pavel Paluřík**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Lukáš Jablončík**

**BRNO 2023**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika a komunikační technologie**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Pavel Palušík

**ID:** 211587

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2022/23

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Návrh a realizace testovacího polygonu pro řízení elektrické energie v bytových domech**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je navrhnout a realizovat testovací polygon pro řízení elektrické energie v budovách. Účelem polygonu je umožnit testování metod řízení elektrické energie v laboratorních podmínkách. Do polygonu bude možné připojit prvky spotřeby a výroby energie od různých výrobců. Základem polygonu bude studentem navržená gateway. V rámci teoretické části se student seznámí s problematikou řízení budov a dostupnými řešeními. Dále definuje požadavky na řízení energií z pohledu energetiky. Na základě těchto poznatků určí vhodná rozhraní a prakticky ověří parametry potřebných sítí. Nakonec navrhne schéma pro gateway i celý polygon. V praktické části student realizuje navrženou gateway i polygon. Provede měření funkčnosti celého polygonu a simulaci konkrétního příkladu bytového domu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] VRBA, K.; HANÁK, P. Vybrané problémy konstrukce elektronických přístrojů pro integrovanou výuku VUT a VŠB- TUO. Elektronická skripta. Technická 12, 616 00 Brno: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UTKO, 2014. s. 1-110. ISBN: 978-80-214-5071- 4.

[2] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.

**Termín zadání:** 6.2.2023

**Termín odevzdání:** 19.5.2023

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Jablončík

**doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou návrhu řídicí gateway a testovacího polygonu pro správu a řízení elektrické energie v bytových domech. Cílem práce bylo navrhnout řídicí gateway včetně její implementace do funkčního polygonu. Gateway byla navržena v programu Altium Designer. Polygon byl navržen jako simulace malého domu nebo chaty. Výsledkem práce je prototyp gateway a laboratorní model polygonu vhodný pro další vývojovou a výukovou činnost.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

UP 4000, polygon, gateway, power management, interface, communication, building management, V2X

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with issues regarding the design of the control gateway and the test polygon for the management of electricity in apartment buildings. The aim of the thesis was to design a control gateway including its implementation into a functional polygon. The gateway was designed in Altium Designer. Polygon was designed as a simulation of a small house or a cottage. The result of the work is a gateway prototype and a laboratory polygon model suitable for further development and teaching activities.

## **KEYWORDS**

UP 4000, polygon, gateway, řízení elektrické energie, rozhraní, komunikace, řízení budov, V2X

PALUŘÍK, Pavel. *Návrh a realizace testovacího polygonu pro řízení elektrické energie v bytových domech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2023, 89 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Jablončík

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení autora:</b>	Bc. Pavel Paluřík
<b>VUT ID autora:</b>	211587
<b>Typ práce:</b>	Diplomová práce
<b>Akademický rok:</b>	2022/23
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Návrh a realizace testovacího polygonu pro řízení elektrické energie v bytových domech

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Lukáši Jablončíkovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Popis dostupných řešení</b>	<b>13</b>
1.1	Porovnání řešení u komerčních výrobců . . . . .	13
1.2	Loxone . . . . .	13
1.3	iCOOL 4 . . . . .	15
1.4	unipi technology . . . . .	18
1.5	Teco a další . . . . .	19
<b>2</b>	<b>Jednotlivé prvky polygonu</b>	<b>21</b>
2.1	Prvky spotřeby . . . . .	22
2.2	Prvky výroby . . . . .	26
2.3	Zdroje dat . . . . .	28
2.4	Řídící gateway . . . . .	29
2.4.1	Mikrokontrolér . . . . .	30
2.4.2	HAT40 konektor . . . . .	31
2.4.3	Konektor pro vysokorychlostní přenos . . . . .	31
2.4.4	Doplňující konektor portů . . . . .	33
2.4.5	Rozšiřující porty . . . . .	33
<b>3</b>	<b>Návrh prvního prototypu</b>	<b>39</b>
3.1	Pravidla návrhu . . . . .	39
3.1.1	Provozní podmínky, normy produktu . . . . .	39
3.1.2	Elektromagnetická kompatibilita . . . . .	40
3.2	Blokové schéma první verze polygonu . . . . .	42
3.2.1	Prvky výroby . . . . .	42
3.2.2	Prvky spotřeby . . . . .	42
3.2.3	Zdroje dat . . . . .	43
3.3	Blokové schéma první verze gateway . . . . .	43
3.4	Shrnutí první verze . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Druhá verze gateway</b>	<b>49</b>
4.1	Schéma zařízení . . . . .	50
4.2	Rozvržení schéma v Altium . . . . .	62
4.3	DPS prototypu . . . . .	62
4.3.1	Rozvržení desky . . . . .	63
4.3.2	Prototyp s UP 4000 . . . . .	64
4.3.3	Kontrola DPS a její výroba . . . . .	64
4.4	Cena prototypu . . . . .	66

4.5	Konkurenceschopnost prototypu . . . . .	66
4.6	Oživení prototypu . . . . .	67
<b>5</b>	<b>Druhá verze polygonu</b>	<b>71</b>
5.1	Fotovoltaická elektrárna . . . . .	71
5.2	Gateway . . . . .	73
5.3	Dobíjecí stanice . . . . .	73
5.4	Analogově řízená zásuvka . . . . .	73
5.5	Využití . . . . .	74
	<b>Závěr</b>	<b>76</b>
	<b>Literatura</b>	<b>77</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>85</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>88</b>
	<b>A Obsah elektronické přílohy</b>	<b>89</b>



# Seznam obrázků

1.1	Loxone Miniserver . . . . .	15
1.2	Základní modul iCOOL4 CP-2005.11NSNN . . . . .	17
1.3	Řídící jednotka unipi Patron S107 . . . . .	19
1.4	IKEA produkty chytré domácnosti . . . . .	20
2.1	Chytrá domácnost s možnými vlastnostmi [68] . . . . .	21
2.2	Chytrý elektroměr pro odečítání na dálku [67] . . . . .	23
2.3	Tepelné čerpadlo IVT AERO [66] . . . . .	25
2.4	Soukromá dobíjecí stanice [64] . . . . .	26
2.5	Možnosti využití elektromobilu [69] . . . . .	27
2.6	Škoda Octavia iV s dobíjecí stanicí [65] . . . . .	28
2.7	Deska Nvidia Jetson Nano Developer kit . . . . .	30
2.8	Deska mikrokontroléru UP 4000 . . . . .	31
2.9	Označení konektoru CN1 a jeho blokový diagram portů . . . . .	32
2.10	Označení konektoru CN21 a jeho blokový diagram portů . . . . .	32
2.11	UP 4000 vysokorychlostní rozšiřující desky . . . . .	33
2.12	Označení konektoru CN15 a jeho blokový diagram portů . . . . .	33
2.13	Nejpoužívanější druhy M.2 konektorů [56] . . . . .	36
2.14	1-Wire master/slave konfigurace [42] . . . . .	37
3.1	Rozdělení tříd ochrany s jejich značením [71] . . . . .	40
3.2	Diagram vývoje návrhu prototypu . . . . .	41
3.3	Blokové schéma první verze polygonu . . . . .	43
3.4	Modul CAN bus pro Arduino [86] . . . . .	46
3.5	Blokové schéma první verze gateway . . . . .	47
3.6	Blokové schéma rozšiřujících desek . . . . .	48
4.1	Blokové schéma druhé verze 1/2 . . . . .	49
4.2	Blokové schéma druhé verze 2/2 . . . . .	50
4.3	Převodník TTL na RS-485 [74] . . . . .	52
4.4	Zapojení SD karty . . . . .	52
4.5	Čip STM32 v pouzdře LQFP100 [87] . . . . .	53
4.6	Zapojení skupiny LED diod . . . . .	56
4.7	Zapojení proudové smyčky s čidlem [81] . . . . .	60
4.8	Zapojení digitálního vstupu v Altium . . . . .	60
4.9	Zapojení digitálních výstupů v Altium . . . . .	61
4.10	Vizualizace DPS v Altium . . . . .	63
4.11	3D vizualizace prototypu 1/3 . . . . .	64
4.12	3D vizualizace prototypu 2/3 . . . . .	65
4.13	3D vizualizace prototypu 3/3 . . . . .	65

4.14	Ukázka prototypu 1.0 1/2 . . . . .	70
4.15	Ukázka prototypu 1.0 2/2 . . . . .	70
5.1	Zapojení druhé verze polygonu . . . . .	73
5.2	Ukázka sestrojeného polygonu . . . . .	75

# Seznam tabulek

4.1	Mapa pinů pro zapojení STM32 periferie PA-PC . . . . .	54
4.2	Mapa pinů pro zapojení STM32 periferie PD-PE . . . . .	55
4.3	Logická mapa fungování přepínačů . . . . .	59
4.4	Seznam souborů z projektu v Altium . . . . .	62
4.5	Cena jednotlivých částí prototypu . . . . .	67
4.6	Porovnání konkurence 1/2 . . . . .	68
4.7	Porovnání konkurence 2/2 . . . . .	69
5.1	Jednotlivé prvky polygonu . . . . .	74

# Úvod

V dnešní době je využíváno u budov mnoho prvků. Mezi tyto součásti patří jak prvky spotřeby, tak výroby energie. Rozmach elektromobility, stavby lokálních malovýkonových fotovoltaických elektráren a globální potřeba zavedení inteligentních sítí a dalších, klade větší a větší důraz na rozvoj chytrých elektroměrů a následnou automatizaci systému. S růstem cen energií se lidé začínají více zajímat o možné komerční řešení optimalizování svých domácností a budov. Chytré řízení a automatizace takové budovy může přinést nejenom data z monitorování jednotlivých částí systému, ale také například ušetření peněz za vytápění. Celková úspora energie na vytápění je jedním z evropských palčivých témat současnosti.

I přes to, že je budova vybavena fotovoltaickými panely na části střechy, není nijak zajištěno plné využití maximální možné kapacity, kterou tyto panely poskytují v rámci denního slunečního režimu. Zajištěním propojení a komunikace s dalšími prvky může být část přebytečné energie předána a odprodána za smluvní ceny do distribuční sítě, může být zároveň část energie použita a uložena do baterie elektromobilu postaveného u domu nebo uložena do lokálního bateriového úložiště v suterénu budovy. Takto uchovaná energie může být poté použita ve večerních hodinách obyvateli, kdy je sluneční energie nedostatek a zároveň se lidé vrací do svých domovů nebo může být distributorem poskytnuta pro řízení elektrizační soustavy.

Chytré řízení elektrické energie v budovách tak představuje zajímavé perspektivní řešení. Propojení jednotlivých funkčních prvků budovy do jednoho celku řízeného jednodeskovým počítačem, který bude provádět sběr samotných dat, softwarovou datovou analýzu, predikci, bude na něm postaveno strojové učení a zároveň bude poskytovat prostor a potenciál pro budoucí rozšiřování je klíčové.

Cílem této práce je navrhnutí a realizace testovacího polygonu, ke kterému se připojí po jednotlivých komunikačních rozhraních prvky budov jak industriálních, tak obytných. Řídící gateway, jako klíčový prvek polygonu, bude důležitým členem na komunikační cestě mezi počítačem a použitými komponenty, protože počítač nedisponuje všemi potřebnými rozhraními. Bude tak zajišťovat zpracování a překlad veškerých získaných dat do formátu vhodného pro další zpracování. Po vyhodnocení zpráv bude počítač sám odesílat data, řídit celý systém a zároveň zaštití komunikace prvků s vnějším světem.

Porovnání dostupných komerčních řešení, které splňují stejnou základní funkcionalitu, bude provedeno s kladením důrazu na konkurenceschopnost prototypu. Na trhu se vyskytují mnozí zástupci těchto podobných východisk. Největším rozdílem, který bude blíže porovnán a rozebrán, bude technologie, na které jsou jednotlivé řešení postavena.

# 1 Popis dostupných řešení

Člověk, jako tvor zvědavý, díky dostupnosti informací na internetu dokáže snadno a rychle zjistit potřebné hledané informace. Díky tomu, jak se posunuje doba a technologie kupředu, se snaží o zjednodušení úkolů a úkonů v domácnosti v rámci implementace určité formy automatizace. Pokud pak požaduje určité nové funkce od chytré budovy, jednoduchým vyhledáním informací spěšně zjistí nabízené komerční možnosti. Tyto možnosti se pak pyšní barevnými webovými stránkami, některé zahrátí návštěvníka technickými informacemi, jiné zase nalákají na jednoduchost instalace a jiné nabízí komplexní programování chodu v nepříliš přívětivém PLC programu. Výsledkem pak je, že žádný komerční prodejce nenabízí natolik obecně robustní výrobek, jenž by spojil všechny možné zařízení a funkce do jednoho uceleného ekosystému.

## 1.1 Porovnání řešení u komerčních výrobců

Z řad zástupců komerčních zpracování stejného konceptu je vybráno několik tuzemských i zahraničních představitelů. Jednoduchým výčtem to jsou např. LOXONE, iCOOL 4, unipi technology, TECO, Wia a PHOENIX contact. Výše zmínění zastupují zařízení, u kterých se centrální jednotka s částí podpůrných a rozšiřujících modulů instaluje do rozvodných skříní elektrické energie v budovách. V rámci této instalace je použita buď stávající rozvodná skříň nebo je vybudována kompletně nová. V mnohých případech je nutné i nové natažení kabeláže pro komunikaci a jednotlivé spoje. Toto řešení v mnohých případech představuje komplikaci kvůli typu budovy a zákonným omezením stavebních úprav. Obecným příkladem můžou být typově historické budovy nebo budovní komplexy s vícero částmi [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Do této kategorie spadají i nejvíce rozšířené jednodušší řešení zpracované společnostmi jako je Google, Amazon nebo Apple. V těchto případech se souhrnně jedná spíše o bytové doplňky. Ovládání těchto doplňků je založeno nejčastěji na slovních příkazech snímaných mikrofonom na jednotlivých hlasových asistentech. Ti po obdržení příkazu komunikují bezdrátově dále přímo s doplňkem samotným, který akci provede. Pro ovládání má každý z ekosystémů i svou proprietární aplikaci na chytré zařízení jako jsou telefony s iOS, Androidem, chytré hodinky nebo tablety. Jdou nastavit mimo jiné i automatizace založené na logických podmínkách [10, 11, 12].

## 1.2 Loxone

Jedná se o firmu jejíž vizí je domácnost, která plní námi zvládnutelné i nezvládnutelné úkoly za nás. Zajišťuje bezpečnost našeho majetku i nás samotných. To vše je

podloženo jednoduchou ovladatelností, hospodárností s energiemi a kompletní kontrolu kdekoliv a kdykoliv. Zakladateli a CEO společnosti Loxone jsou páni Martin Öller a Thomas Moser. Vznikla v roce 2008 v Rakousku. Od té doby fungují na trhu inteligentního řízení budov. Jejich portfolio nabízí řešení jak pro domácnosti, tak pro firmy. Nabízí služby online konfigurátoru, konzultace i projekty přímo na míru [4].

Centrální jednotkou pro řízení celé inteligentní elektroinstalace je Loxone Mini-server. Samotná jednotka nabízí:

- 8 digitálních výstupů
  - 250 V AC / 10 A  $\cos\varphi=1$
  - 30 V DC / 10 A
- 8 digitálních vstupů 24 V DC
- 4 analogové vstupy 0 – 10 V
- LAN rozhraní (IPv4/IPv6, SSL, 100Mbps)
- Napájení 19,2–30 V DC (PELV)
- Slot na SD kartu – pro průmyslové použití
- Upevnění na DIN lištu – výsledná šířka 9 pozic
- Loxone Tree Interkomunikace.

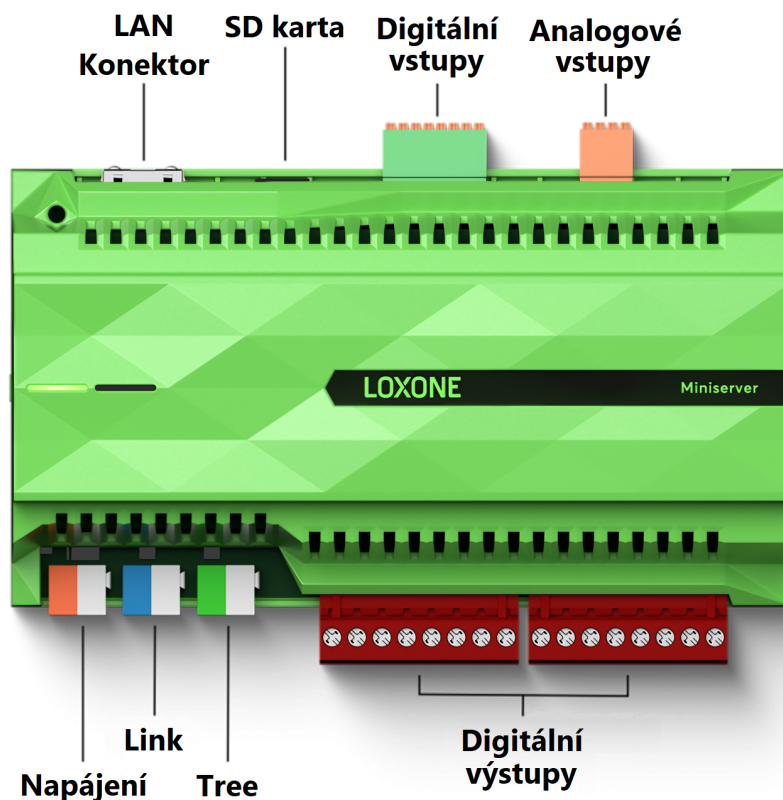
Bližší informace a detailnější technický popis je k nalezení v technickém listu MINISERVERU. Dále je součástí Loxone Link a Tree rozhraní. Ty se starají o připojení rozšiřujících modulů, kterých je široké množství. Mezi ně patří:

- Air Base - rozšíření o bezdrátovou technologii
- Tree – technologie umožňující jednoduché připojení periférii
- Dimmer – modul pro stmívání jakýchkoliv běžných světel (vhodné pro odporové, indukční i kapacitní zátěže)
- Relay – 14 silných digitálních výstupů pro ovládání žaluzií, světel, topení apod.
- RS-232
- RS-485
- Modbus – shromažďování dat o spotřebě energie, vody, plynu
- DMX – chytré řízení LED světel pomocí protokolu DMX
- Fröling – chytré ovládání topných okruhů, bojlerů, akumulčních nádrží a kotle na tuhá paliva
- Moduly pro integrování dalších digitálních a analogových vstupů a výstupů
- A další.

Software pro řízení inteligentního systému s názvem Loxone Config je založen na práci a propojování připravených funkčních bloků pro všechny pokročilé funkce v budovách. Přehledně se dá s nastavením pracovat i v aplikaci Loxone App pro chytré zařízení. Samotné zařízení pak může fungovat jako centrální ovladač pro

zapínání a vypínání jednotlivých funkcí. Systém a celý software je tedy jen tak chytrý, jak dobře se nakonfiguruje a optimalizuje [13, 14].

Cenová příkladová náročnost pro dům s výměrou 120 m<sup>2</sup> je ve třech základních kalkulacích (Clever, Premium, Exclusive) poskytnutých na samotných stránkách výrobce v rozmezí od 83 938 Kč do 373 170 Kč včetně DPH. V ceně nejsou zahrnuty poplatky za montáž komponentů [15].



Obr. 1.1: Loxone Miniserver

### 1.3 iCOOL 4

Navrhování a realizace chytrých budov, které se vyvinulo z dlouholetého českého podnikání v IT. Tak by se dal popsat druhý zástupce z komerčních výrobců technologie zajišťující využití vyššího potenciálu inteligentních budov. Tvorbou této české firmy se sídlem v Brně je vytvoření hospodárných budov, které se budou starat samy o sebe. Zakladatelem a CEO je pan Jiří Vogl. Na jejich webových stránkách nabízí konzultaci, webináře i návody. Nabízí řešení pro rodinné byty, domy, hotely, kanceláře a komerční budovy. Pro hotely pak nabízí přehledné odbavení, hlídá přístupy

do pokojů a zajišťuje neustálý komfort hostů díky např. automatické regulaci vytápění, větrání i provozu spotřebičů. Stejně tak pro kanceláře klade důraz na zajištění důkladné kontroly přístupu a zabezpečení objektu [5, 16, 17].

Firma iCOOL 4 používá komponenty od českého výrobce TECO a.s. Centrem celého systému je řídicí jednotka TECOMA Foxtrot. Ta je založena na výkonném logickém automatu PLC. Tuto jednotku je možné nainstalovat:

- Do rozvaděče
- Do elektromontážních krabic
- Do zařízení
- Pro spojení bezdrátovou technologií.

Řídicí jednotku základního modulu druhé generace nalezneme v široké škále modelů, které se různí jak svou velikostí, tak integrací rozšiřujících vstupů a výstupů v jednom těle. Záleží tedy v konečném měřítku na požadavcích klienta a jeho projektu. Nejprodávanějšími modely na e-shopu jsou tři základní moduly v cenovém rozpětí 13 781 Kč až 19 757 Kč včetně DPH. Primárním rozdílem je vybavenost I/O portů čítající od 9 do 27. Samotná deska tištěného spoje pak obsahuje prostor se svorkovnicí pro dva submoduly. Přítomnost sběrnice Common Installation Bus dokáže připojit až 64 modulů senzorů pomocí dvou vodičové sběrnice. V sadě se poté dá zakoupit i s např. nabíječkou elektromobilu.

Obecné podporované sběrnice jsou:

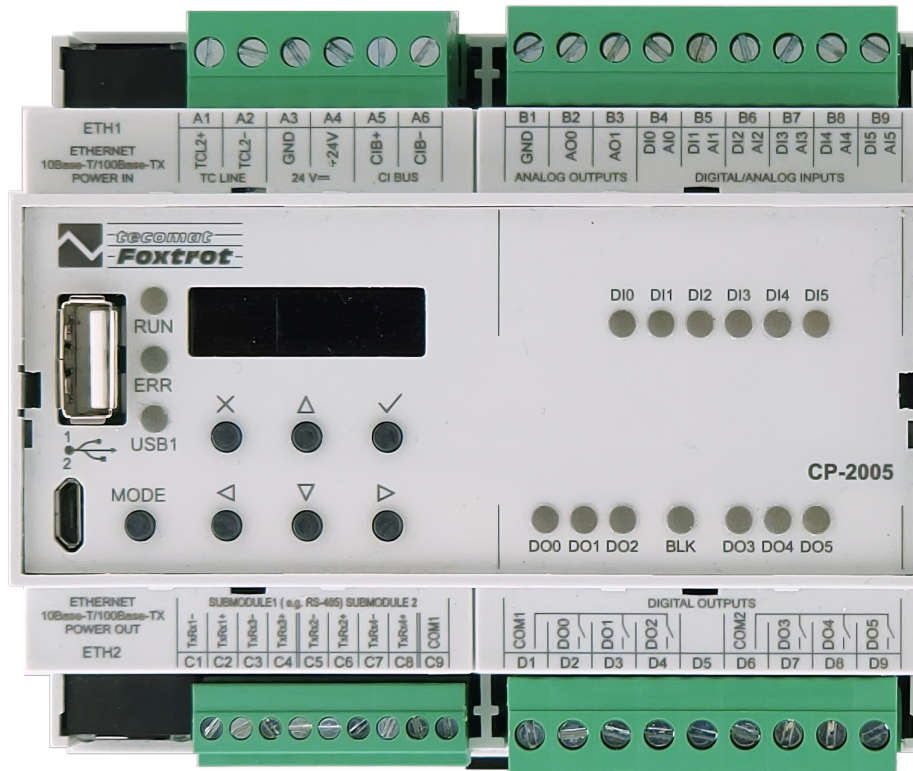
- MODBUS (RTU nebo TCP/IP)
- MP-BUS (Belimo)
- Open Therm (kotle)
- PROFIBUS (průmyslová automatizace)
- CAN (Philips)
- M-BUS (Landis)
- KNX (automatizace budov)
- Miele@home
- RS-232, RS-422, RS-485.

Základní moduly druhé generace se dají rozšířit o snímání binárních signálů, rychlé tranzistorové výstupy využitelné jako PWM nebo pro řízení krokových motorů, vstupy obecně konfigurovatelné v softwaru, analogové diferenciální vstupy nebo výstupy s polovodičovým spínacím prvkem [18].

Ovládání celého systému je možné díky aplikaci pro chytré telefony Android a iOS nebo z klasického internetového prohlížeče. Dají se v ní vytvářet vlastní scény. Dle webových stránek se prezentuje jednoduchým ovládáním, přehledným nastavením, zasíláním upozornění a analýzou dat. Analýzou dat se rozumí možnost zapnutí ukládání vybraných hodnot a upozornění na email nebo zprávou při překročení



předem nastavených limitů. Datové zobrazení v grafech a tabulkách s exportem do programů jako např. Excel je také implementováno [19].



Obr. 1.2: Základní modul iCOOL4 CP-2005.11NSNN

Software iCOOL 4 umí:

- Řízení vyrobené energie z FVE
- Řízení proudového maxima
- Řízení 1/4 hod. rezervovaného příkonu
- Řízení podle hodinových cen (SPOT)
- Řízení nabíjení elektromobilů
- Řízení ohřevu akumulárního zásobníku
- Řízení oběhového čerpadla TUV
- Řízení tepelného čerpadla 0 – 10 V
- API pro propojení s obchodníkem nebo agregátorem flexibility
- Předpověď osvitů a počasí
- Aktualizace data a času.

## 1.4 unipi technology

Dalším ze zástupců technologie chytrých budov z tuzemských řad je firma unipi technology. Sídlí v Brně, jedná se o české vývojáře a výrobce řídicích jednotek, rozšíření a celkově systémů pro rodinné domy, průmyslové budovy a technické zařízení budov s cílem automatizace. V poslední době se prezentovali redesignem svých řídicích jednotek a dalšího doplňkového hardwaru z důvodů nedostupných komponentů. Jejich hardware tak díky této změně volby prošel fází nalezení alternativních možností. Dále následovala fáze testování a výsledné produkce [20, 21].

Pro výběr řídicí jednotky má klient možnosti vybírat buď z Unipi Patron nebo Neuron. Počítač Raspberry Pi je využit v modulech Neuron a to ve verzích 3 Model B+ nebo 4 Model B. Pro moduly ze série Patron to pak je procesor NXP i.MX 8M Mini (4x Arm Cortex – A53). Rozdílnou je dále interní eMMC paměť pro Patrona a použití microSD paměťových karet u Raspberry Pi. Neuron nepodporu komunikační rozhraní RS-232, má vyšší definované rychlosti ethernetu a více portů USB. Zato nabízí pouze GPRS/GSM modul namísto LTE modulu přítomného u Patrona. Řada Neuron je tak více vhodná pro širší škálu automatizačních projektů. Může tak být řízena chytrá domácnost, zajištěno měření a regulace nebo monitorování a vzdálená správa. Řada Patron je spíše vhodná díky rychlejšímu procesoru pro aplikace v projektech průmyslové automatizace s náročnějším prostředím (SCADA systémy, fotovoltaiky) [22, 23, 24].

Je vyráběna ve třech velikostech. Každá velikost má pak maximální počet vstupů a výstupů a zabírá vždy násobně vyšší počet DIN modulů. Velikosti jsou:

- Typ S – max. 8 vstupů a výstupů, 4 DIN moduly
- Typ L – max. 40 vstupů a výstupů, 8 DIN moduly
- Typ XL – max. 70 vstupů a výstupů, 12 DIN moduly

Výčetem I/O portů se nabízí:

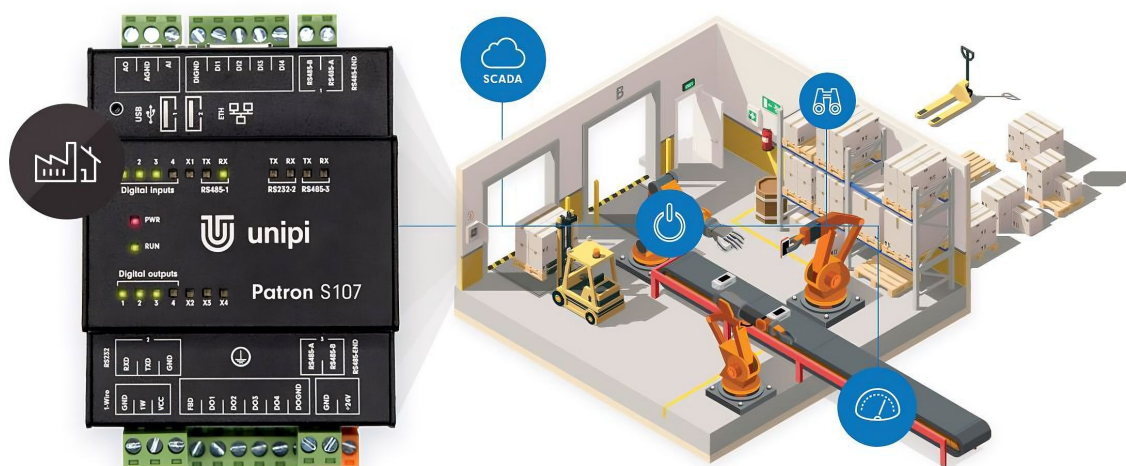
- Digitální vstupy – logické TRUE/FALSE, vhodné pro dvoustavové senzory
- Digitální výstupy – ovládání spínacích prvků: relé/stykač, funkce PWM
- Reléové výstupy – spínání ohmické zátěže (žárovky, ventilů, topných těles, čerpadel atd.), max. 5A při 230 V AC nebo 30 V DC
- Analogové vstupy – čtení 0 – 10 V DC, proud 0 – 20 mA a měření odporu
- Analogové výstupy – ovládání trojcestných ventilů, stmívačů osvětlení atd.

Konektivita na poli komunikačních rozhraní je přítomna zástupci:

- RS-485
- RS-232
- 1-Wire
- Ethernet
- USB

- LTE

Na řídicích jednotkách je předinstalován systém Mervis, který běží na Linuxu. Nabízí tak všestrannost i open-source softwarové řešení. Zároveň je možnost použití i programování pomocí aplikace API, která pak slouží pro integraci softwaru třetích stran (Node-RED, SysFS, openHAB, REXYGEN, Codesys a další).



Obr. 1.3: Řídicí jednotka unipi Patron S107

## 1.5 Teco a další

Z řad dalších výše zmíněných zástupců zde máme TECO, Wia a PHOENIX contact. Krátce například Teco je tuzemským zástupcem se sídlem v Kolíně. Jeho řídicí jednotky odpovídají přímo těm popisovaným a nabízeným ze stránek iCOOL 4. Tento modulární řídicí a regulační systém je použit v mnoha prezentovaných instalacích a jejich portfolio je široké. Na webových stránkách nabízí od Teco Wiki, přes podporu až k Teco Academy, jenž obsahuje video návody a instruktáže [7].

Do rozšíření domovů a vytvoření tak inteligentního systému se zapojují i další celosvětově známí výrobci. Prvky chytré domácnosti najdeme také u švédského prodejce nábytku IKEA. Po technické stránce se musí jednat o co, pokud možno, nejjednodušší montáž, přívětivé a rychlé nastavení i kompatibilitu. Tato ideologie platí samozřejmě na všechny výrobce, nejen pro IKEU. Z jejich sekce chytrých systémů a ovládacích prvků máme podzimní novinku s názvem DIRIGERA. Jedná se o rozbočovač pro chytré výrobky, které v této kategorii jsou také k nalezení. IKEA se tak snaží tímto systémem Home smart hlouběji proniknout na trh konkurující společnostem Google, Amazon nebo Apple [25, 26].

Pokud bychom chtěli, našli by jsme celosvětově plno dostupných řešení pro ovládní jednoduchých zařízení v domácnosti. U většiny z nich nebude problém s dostupností na evropském trhu. Podpora a vzájemná konfigurovatelnost mezi konkurenčními výrobky je v mnohých případech na dobré úrovni, v jiných ne zcela optimalizována nebo zamýšlena. Sázka na větší výrobce tak zajistí do jisté míry dobrou spolehlivost a celkový uživatelský přístup.

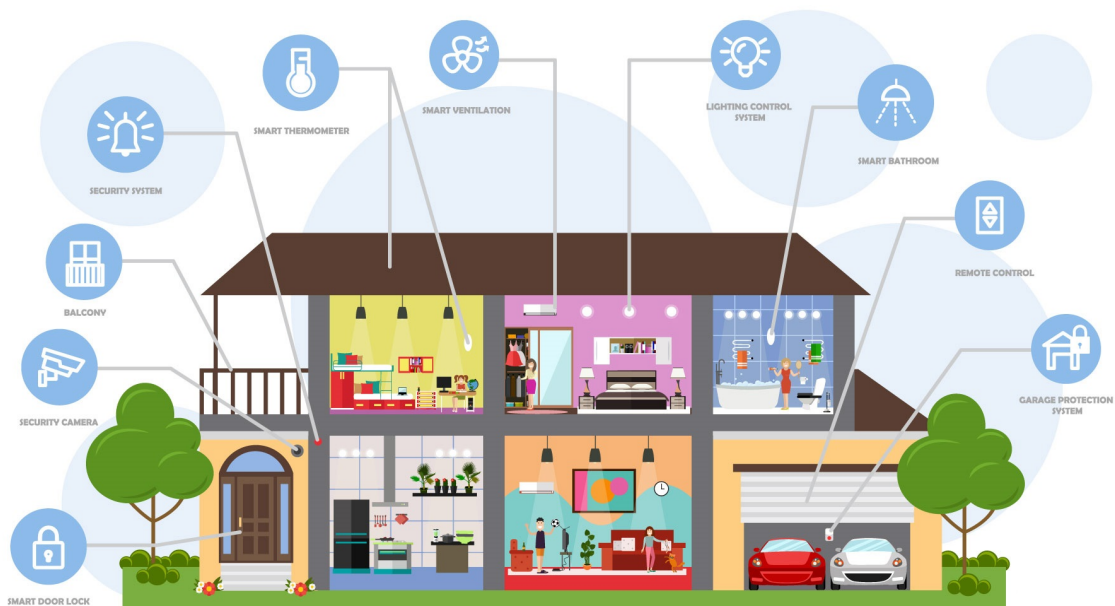


Obr. 1.4: IKEA produkty chytré domácnosti

## 2 Jednotlivé prvky polygonu

Jak již bylo minulou kapitolou nastíněno, inteligentní budovy v současné době mohou nabývat nespočet různých podob. V mnohých případech je implementování inteligence skrze hlasového asistenta a chytrý telefon. Vstupní bránou pro řadu lidí tak můžou být vzdáleně ovládané chytré termostatické hlavice, LED žárovky osvětlení s funkcí stmívání nebo zásuvky s měřením spotřeby. Tím výčet jednotlivých propojitelných částí více méně končí. Výše zmíněné nalezneme např. u firmy EVE. Její produkty komunikují pomocí Wi-Fi, Bluetooth a speciálně také rozmáhajícího se protokolu Thread. Technologie Thread spočívá ve vytvoření vlastní mesh sítě. Domácnost tak nepotřebuje instalaci centrálního komunikačního prvku. Čím více prvků se v domácnosti nachází, tím se dá předpokládat větší stabilita celého celku. Takových komerčních firem je ale samozřejmě na trhu více. V domácnostech a budovách obecně se ale nachází mnoho dalších zařízení od jiných výrobců. Řídící centrální zařízení jsou pak pro celkový provoz nezbytné [27].

Středem celého teoreticky sestaveného polygonu je navrhovaná gateway se svými porty a řídicími protokoly. Jsou v něm připojeny prvky spotřeby i výroby energie. Mezi prvky spotřeby patří jmenovitě například osvětlení, zámky dveří nebo všechny velké i malé spotřebiče. Naopak mezi prvky výroby zařadíme fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny, ve velmi omezeném množství malé vodní elektrárny, bateriové uložení a v určitých případech i elektromobil.



Obr. 2.1: Chytrá domácnost s možnými vlastnostmi [68]

## 2.1 Prvky spotřeby

### Osvětlení

Komerční řešení těchto produktů jsou chytré LED žárovky, které fungují v jádru úplně totožně jako klasické. Co je činí chytrými je zabudovaná bezdrátová konektivita, přes níž se řídí. Toto řešení tak nabízí větší škálu nastavitelných parametrů od jasu přes barvu světla nebo druh svícení (automatizace jasu, blikání). Další možností je využití již existujících okruhů rozvodu elektřiny v domě. Pokud jsou tyto okruhy dostatečně šikovně vytvořeny a integrovány přes rozvodnou skříň s jističi, dá se využít spínání těchto okruhů pomocí reléových vypínačů/spínačů. Bohužel toto ovládání dovoluje pouze změnu stavu na vypnuto nebo zapnuto.

### Zásuvky

Stejně jako u osvětlení jsou i zásuvky říditelné a ovládané bezdrátovými protokoly nebo reléovými vypínači/spínači. Bezdrátové řešení pak integruje v mnohých případech i možnost měření přibližného toku energie touto zásuvkou, tedy výstupem může být přibližná spotřeba připojeného spotřebiče. Automatizace cyklu zapínání a vypínání představuje základní zjednodušení denních úkonů.

### Chytrý elektroměr

Elektroměr vyžaduje napájení na vlastní spotřebu a chod. Vyhodnocuje pak data, porovnává spotřebu nebo náklady za určité období a odesílá tyto datové informace distributorovi. Poskytnutí informací např. odečtu činné spotřeby, celkové činné dodávky nebo čtvrt hodinových maxim zatížení pro další zpracování do řídicí jednotky je užitečné pro další výpočty algoritmů implementované umělé inteligence [28].

### Velké domácí spotřebiče

Do této skupiny se řadí spotřebiče od praček přes sušičky, mrazáky, lednice, trouby až po např. digestoře. Skupina zajišťující chlazení a mrazení pro uchování potravin vyžaduje nepřetržitý provoz pro svůj správný chod a fungování. Jejich vypínání a zapínání tedy nehrozí. Důležitá je pro ně ale soustavná dodávka elektrické energie bez dlouhodobých výpadků. V případě, že by dodávka byla omezena na určitou dobu je potřeba je zařadit do kritického okruhu spotřebičů, které mohou být napájeny například z lokálního bateriového uložení nebo jiného zdroje elektřiny viz kapitola 2.2.

U ostatních spotřebičů spadajících do této skupiny nevyžadujících nepřetržité napájení je možné jejich ovládání pomocí chytrých zásuvek viz kapitola 2.1, část zásuvky.



Obr. 2.2: Chytrý elektroměr pro odečítání na dálku [67]

## Bezpečnost budov

Ucelená sekce pro bezpečnost budov a zajištění bezpečnosti se dá rozdělit do dalších podkapitol. Mezi nejdůležitější zabezpečení patří např.:

- Přístupové systémy včetně zámků dveří
- Kamerový systém včetně infrakamer
- Detektory na přítomnost kouře a vody
- Čidla na přítomnost kysličníku uhličitého v klimatizačním systému
- Infračidla na vznik malých požárů
- Protipožární systémy
- Fyzická bezpečnost
- a další.

Každá podkapitola pak nabývá různých druhů zařízení a přístrojů. Instalace jednotlivých přístrojů pak záleží od typu budovy a způsobu jejího použití [29].

## Zdroje tepla

Každá domácnost nebo budova potřebuje v jisté formě zdroj teplé užitkové vody. Ať už to je jen pro topení nebo sprchování. V tomto systému se může nacházet několik dílčích částí, které lze individuálně ovládat. Pasivní částí je akumulární

zásobník. Ten zde je od toho, aby uchovával a udržoval po omezenou dobu vodu ohřátou na danou teplotu. Uchováním teplé vody v zásobníku může mít dopady na množení bakterií dle nastavené teploty.

Aktivní částí je tepelné čerpadlo. Tento spotřebič spadá mezi alternativní zdroje energie a lze ho řídit. Ve své podstatě se jedná o zařízení, které funguje na principu uzavřeného tepelného okruhu. Stejný princip nalezneme ve všech lednicích, jen s rozdílem obrácené logiky převodu tepla. Teplo z lednice vyvádíme ven zatímco tepelným čerpadlem vnášíme teplo do domácnosti. Tepelná čerpadla modernější výroby s frekvenčním měničem umožňují plynulou regulaci topného/chladicího výkonu kompresoru v rozsahu např. od 10 % do 100 % (rozsah 30 – 100 % uveden viz [32]) [30, 31].

Taková jednotka pak k transportu topné vody vyžaduje oběhové čerpadlo. Oběhové čerpadlo pracuje s vodou, zatímco tepelné pracuje s chladivem např. R290 (propan), R1270 (propylen), anebo dalšími ve vývoji [33]. Pro nejefektivnější práci je důležité zajištění velkého průtoku topné vody. Topení radiátorové nebo i podlahové však představují a kladou značný hydraulický odpor do systému. V mnohých systémech se tak nedoporučuje regulovat výkon oběhového čerpadla. Následkem redukce výkonu se v důsledku sníží průtok. Snížením průtoku vznikne vyšší teplotní spád na kondenzátoru venkovní jednotky. To celé vede k větší spotřebě kompresoru a jeho namáhání. Úsporu na oběhovém čerpadle tak předčí zvýšení spotřeby na kompresoru [34].

Do této kategorie se řadí i přirozená energie ze slunečního osvětlení místností. Ty se tak ohřívají přirozeně a tento efekt může být žádoucí přes podzimní měsíce a zároveň nežádoucí přes měsíce letní. Řešením jsou venkovní elektrické rolety s dálkovým ovládáním. Ovládání je dle stylu konstrukce a liší se od výrobce k výrobcu. Některé řešení se jen spouští plus vytahují a připomínají stahující se oponu s kompletní blokací světla, jiné jsou konstruovány z jednotlivých lamel, které se dají natáčet s jemnější regulací pronikajícího světla do místnosti. V obou případech se pak ovládá motorová část.

## **Chlazení**

Opakem zdrojů tepla je pro letní měsíce chlazení v podobě např. klimatizací. V principu se jedná o tepelný okruh s výměnou tepla. V dnešní době se nejčastěji používá klimatizace. Adekvátním řešením je využívání chlazení pomocí tepelného čerpadla. Slunečné počasí v letních měsících má největší vliv na teploty vnitřních prostor. Dle popisu komerčního řešení viz [35] jednotky tepelných čerpadel vybavené reverzačním ventilem jsou schopné obrátit svůj chod tak, že ochlazují vnitřní prostor objektu na rozdíl od jeho ohřívání. Existují také i sady pro přestavbu jednotek, které venti-





Obr. 2.3: Tepelné čerpadlo IVT AERO [66]

lem nedisponují. Obecně se dá tvrdit, že pokud je tepelné čerpadlo správně dimenzováno pro ohřev objektu a jeho interiéru, je zároveň schopno ho v letních měsících dostatkem chladícího výkonu ochladit. Co se týče energetické účinnosti v porovnání s vyspělou klimatizační jednotkou, představují přinejhorším stejně efektivní řešení typicky s účinností převyšující právě zmíněnou klimatizační jednotku. Náklady na chlazení v základu jsou poté srovnatelné [35].

### **Dobíjecí stanice**

Dobíjecí stanice, též označována jako Wallbox, je zařízení sloužící pro nabíjení elektromobilů. Dobíječky spadají do infrastruktury elektromobility. Opačným pólem soukromých dobíjecích stanic jsou stojanové dobíjecí stanice fungující na stejném principu jako palivové čerpací stanice. Člověk k nim přijede, čipovou kartou se přihlásí a nechá si svůj připojený elektromobil u např. obchodního centra po určitou dobu dobíjet. Svou pořizovací cenou pak převyšují v mnoha případech cenu samotného elektromobilu, dodávané elektrické napětí do nich musí být patřičně dimenzováno s výkonovou rezervou a vyžadují značné stavební úpravy terénu.

Wallboxy jsou komerční řešení, jenž je pro řadu lidí dostupné ať už svou cenou nebo velikostí a nevyžadují velké stavební úpravy. Na koupi a instalaci takové dobíjecí stanice existují dotace a granty. Její dobíjecí výkon nedosahuje výkonů stojanových stanic, za to cena za dobitou kWh se odvíjí od tarifu elektřiny uživatele. Ve většině případů ale člověk dokáže dobíjet doma levněji než ve veřejné síti.



Obr. 2.4: Soukromá dobíjecí stanice [64]

## 2.2 Prvky výroby

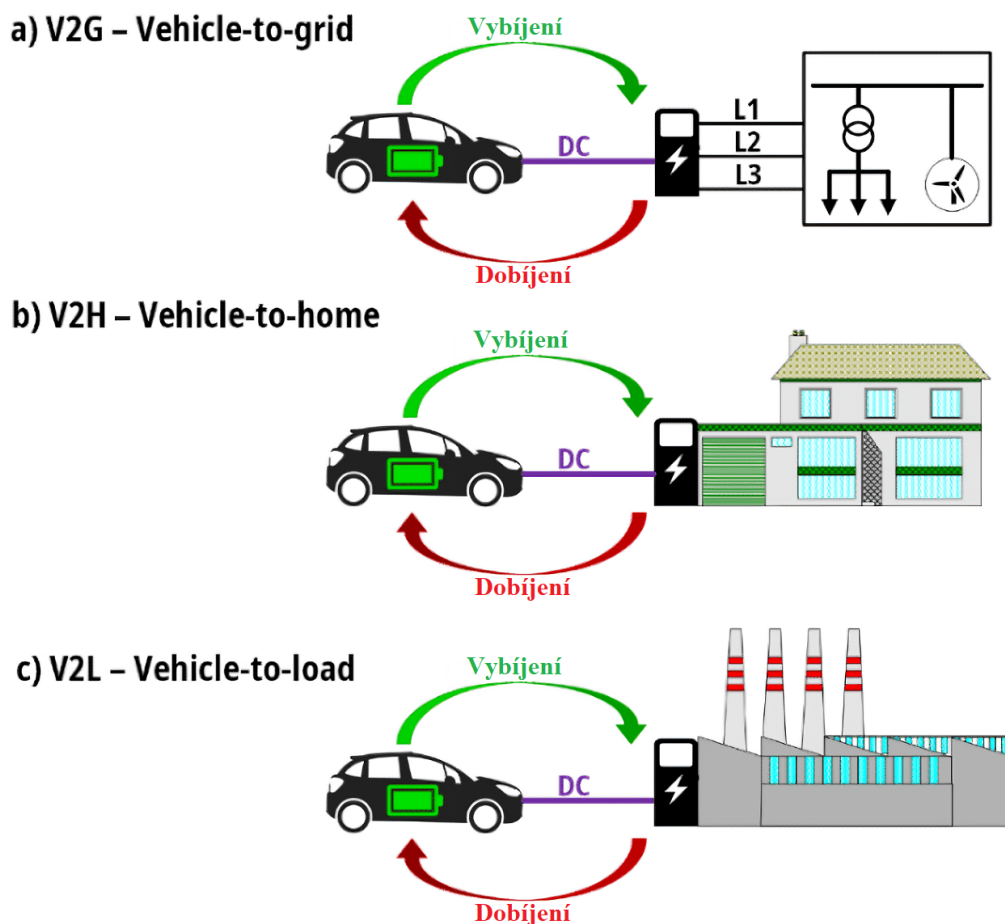
### Elektrárny

Nejčastěji se jedná o fotovoltaické elektrárny. V menší míře pak mají zastoupení větrné a nejméně vodní elektrárny. Ve všech třech případech se pak jedná o obnovitelné zdroje elektřiny. Důvodem četnosti fotovoltaických elektráren je sluneční energie osvit, kterou přeměňují solární panely na energii elektrickou. Jedná se o nevyčerpatelný zdroj, který je takřikajíc všudy přítomný. Solární panely jako takové se připojují k měničům, které zajišťují přeměnu stejnosměrného proudu z panelů na elektřinu s parametry vhodnými pro použití s klasickými spotřebiči v domácnosti. Jelikož slunce funguje na denním režimu, je v systému potřeba připojení určitého druhu uložení. Jako uložení může posloužit bateriové uložení elektrické energie nebo zásobník na teplou vodu. V nedostačujícím případě je pak nutnost doplnění o generátor, kogenerační jednotku nebo samotnou elektrickou přípojku [36].

Zbylí dva zástupci, elektrárny větrné a vodní, vyžadují podle své konstrukce také měnič elektrické energie. Typ měniče pak závisí od výstupních parametrů z točivého elektrického stroje. Ten přeměňuje mechanický rotační pohyb na elektrickou energii [37, 38].

## Bateriové uložičtě

V rámci kapitoly 2.1 v části zdrojů tepla byl popsán akumuláční zásobník jako pasivní část tepelného okruhu. Zásobník se dá také považovat stejně jako bateriové uložičtě jako zdroj energie. Na rozdíl od baterie ukládá tepelnou energii. Bateriové uložičtě je pak pomyslným ekvivalentem, tj. pasivním úložným prvkem systému rozvodu elektrické energie v budově. Spínáním řídicí jednotky baterie pak můžeme spravovat a rozvádět elektrickou energii po budově.



Obr. 2.5: Možnosti využitěně elektromobilu [69]

## Vehicle-to-X

Systěm popisujěně V2X (Vehicle-to-X) využívá plug-in elektrickě automobily k využitěně mobilněho bateriověho uložičtě automobilu. Můěe se tak díky V2H, V2G nebo V2L (Vehicle-to-home, Vehicle-to-grid, Vehicle-to-load) zvětšit pomyslná kapacita celkověho bateriověho uložičtě budovy nebo nabět jině elektromobily viz obrázek 2.5. Na druhou stranu můěe bět využita solární energie na nabětěně obou druhů bateriě



Obr. 2.6: Škoda Octavia iV s dobíjecí stanicí [65]

a zvětšení tak dojezdové vzdálenosti. K tomu je zapotřebí obousměrná nabíjecí stanice elektromobilu. Vnitřní systém elektromobilu funguje na stejnosměrném napětí v řádu stovek voltů. Ty pak musí jít přes měnič, který přetransformuje parametry elektrické energie tak, aby odpovídaly požadavkům a směrnici distribuční sítě [39, 40].

### **Elektromobil jako baterie**

V tomto případě je elektromobil přes dobíjecí stanici připojen k chodu budovy. Je možné využít jeho kapacitu baterie pro uložení elektrické energie v případě plné kapacity bateriového uložení samotné budovy. Další možností je využití elektrické energie, kterou vůz disponuje pro napájení domácnosti v případě např. nedostatečného toku elektrické energie z lokální fotovoltaické elektrárny či jiných popisovaných typů elektráren výše. Je možnost také docílit při výpadku elektriny ostrovního provozu samotné domácnosti z bateriového uložení umístěného např. v suterénu a baterie elektromobilu.

## **2.3 Zdroje dat**

Do této podskupiny se řadí mnoho již zmíněných zařízení. Jedná se o skupinu představující určitou funkci nebo schopnost sdílení datového obsahu jinému zařízení. Data, jejich sběr, překlad a odesílání je hlavní podstatou celé gateway.

Z prvků spotřeby se dají do této skupiny zařadit chytré zásuvky, jenž informují o toku elektrické energie spotřebované zapojeným zařízením. Také elektroměry sem patří, ať už je řeč o chytrých, které disponují rozhraním pro odesílání dat a komunikaci, nebo starších typech. Tyto starší typy se vyznačují výstupním pulzním rozhraním pro předávání informací o spotřebě. Těmito pulzními výstupy krom elektroměrů disponují také plynoměry nebo vodoměry. Každý poslaný impulz poté představuje určitou spotřebovanou velikost měřené jednotky.

Senzory a čidla jsou obecně zařízení primárně využívaná pro odesílání dat o stavu měřených či sledovaných veličin, funkcí nebo varování. Dá se tak hovořit o použití ve skupině zabezpečení, prevenci událostí nebo sledování pohybu osob. Sledované veličiny v budovách jsou teplota anebo např. přítomnost oxidu uhličitého. Tyto data po zpracování spouští programové sekvence a reakce systému.

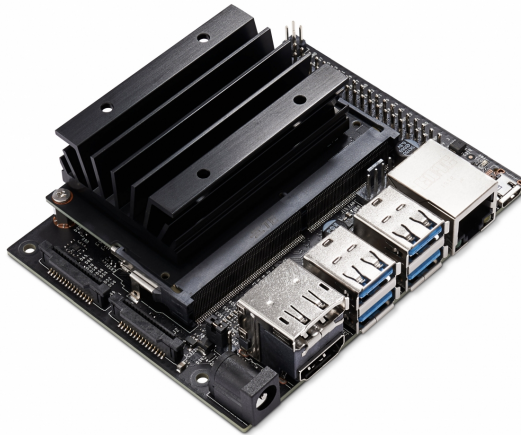
Získaná data popisující elektrickou energii pramení z měniče nainstalované elektrárny, bateriového uložení, elektroměrů a dobíjecí stanice elektromobilu. Jádro výpočtů zpracovává ucelený pohled na energetickou bilanci celého komplexu budovy a podle výsledků je poté implementováno řízení.

V neposlední řadě je možné zmínit také čerpání informací z internetu. Jedná se o validní zdroj dat. Import dat si řídí samo jádro systému a jedná se o např. předpovědi počasí, spotový vývoj cen na hodinovém trhu elektrické energie nebo příkazy ze vzdálených zařízení mimo budovu.

## 2.4 Řídící gateway

Gateway, při překladu do češtiny mluvíme o bráně, je síťový hardware nebo i software, který propojuje a zajišťuje tok dat z jedné oddělené části sítě do druhé. Používá se typicky v telekomunikacích. Propojení je důležité, protože každá oddělená část pracuje s odlišnými komunikačními protokoly. Jelikož může gateway komunikovat s více zařízeními, odvíjí se od toho i důležitost znalosti komunikačních protokolů všech těchto zařízení [1, 2].

Cíl technického zpracování gateway je definován svými požadavky a předpoklady plnění činností na toto zařízení. Do gateway bude možnost připojit prvky výroby a spotřeby energie od různých výrobců. Tyto prvky byly blíže popsány v kapitole 2. Dalším požadavkem bude správná komunikace a výměna dat s jednodeskovým počítačem UP 4000 Series. Brána tak bude zajišťovat i překlad na jednotlivá rozhraní. Celé zařízení, tj. jednodeskový počítač společně s deskou tištěného spoje bude namontován do instalační krabičky na DIN lištu pro univerzální možnost přidání do stávajících rozvodných skříní v bytových i nebytových prostorech [3].



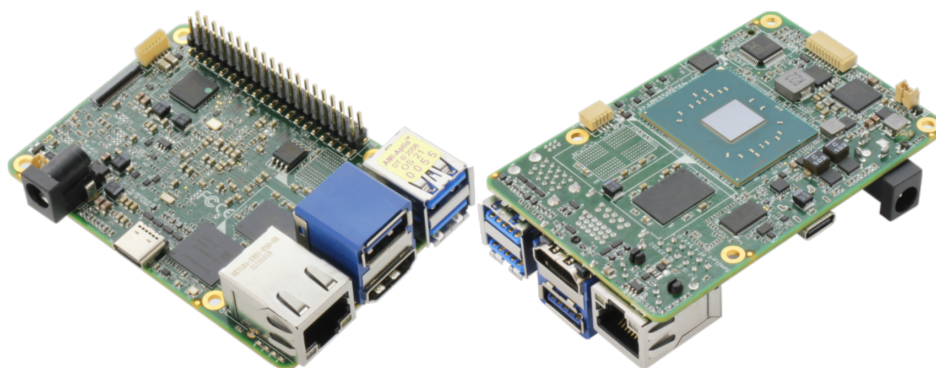
Obr. 2.7: Deska Nvidia Jetson Nano Developer kit

### 2.4.1 Mikrokontrolér

Volba samotné desky mikrokontroléru se odvíjela od dostupnosti na evropském trhu. Na výběr bylo z mnoha kandidátů. Někteří kandidáti a jejich použití bylo vhodnější díky lepšímu výpočetnímu výkonu pro implementaci umělé inteligence. Příkladem takové desky je Nvidia Jetson Nano Developer kit 2.7. Tato deska umožňuje uživateli mít současně spuštěných a provozovaných více neuronových sítí pro široké aplikační použití [41].

Mezi dalšími kandidáty, kteří se dostali do užšího výběru byly mikrokontrolérové desky Rock Pi N10, BeagleV, BeagleBone AI a dvojice od Google (Coral Dev Board Mini a Coral Dev Board). Svou cenou mnohé odpovídaly nacenění desky mikrokontroléru UP 4000. Díky tomu by pak byly v konečném důsledku i lepšími kandidáty v rámci svojí specializace na umělou inteligenci. Díky důležitému faktoru dostupnosti ale nakonec padl výběr na desku UP 4000.

Deska mikrokontroléru UP 4000 bude použita jako středobod všech výpočtů a datového toku dovnitř i ven. Její základní cena je 129 \$ bez DPH. Při přepočtu tak činí přibližně 2850 Kč bez DPH. Mezi výhody, jaké nabízí, jsou například nízká spotřeba (typicky 6-12 W) nebo výběr z několika výkonných procesorů v konfigurátoru (Intel Celeron N3350, Pentium N4200, Atom x7-E3950). Architektura procesoru je 64bitová. Dále na stránkách je nabízeno z několika možností velikosti vnitřního uložení a paměti RAM. Připojitelnost samotné desky obstarává základní konektor pro napájení DC, tři konektory USB 3.2 Gen 1 typu A, jeden konektor USB 3.2 Gen 1 typu C, jenž zároveň podporuje Display Port 1.2, HDMI, RJ-45 a konektor pro audio. Dále se na desce nachází konektory pro rozšíření portů a připojení periferních zařízení. Nejdůležitější je 40 pinový HAT konektor společně s vysokorychlostním FPC konektorem a dalšími rozšiřující desku o rozhraní UART a 2x port USB 2.0 včetně



Obr. 2.8: Deska mikrokontroléru UP 4000

doplňkových pro ovládání větráku, zapínání samotné desky a resetovacího tlačítka [3].

Rozměrově je celá deska velmi malá měřící jen 56 mm x 88 mm. Podporuje pak operační systémy Microsoft Windows 10 (full), Windows IoT Core, Yocto project 3.1, Kernel 5.4 a Ubuntu 20.04 [3].

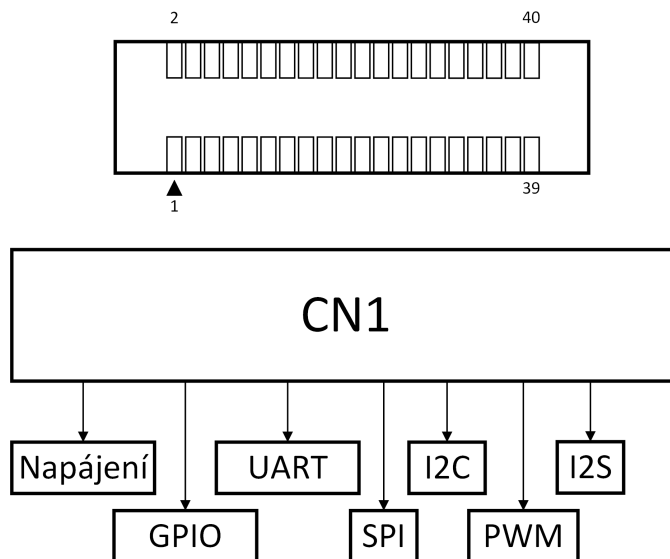
#### 2.4.2 HAT40 konektor

Tento konektor je označen jako CN1 ve všech dostupných dokumentech a má 40 pinů viz obrázek 2.9. Po důkladném rozčlenění jednotlivých pinů do skupin podle použití se došlo k závěru, že obsahuje omezené množství skupin. Mezi tyto skupiny patří:

- Napájení +5 V; +3,3 V DC
- 1x UART s doplňujícími linkami request to send a clear to send
- SPI
- I<sup>2</sup>C
- I<sup>2</sup>S
- PWM
- obecné GPIO piny.

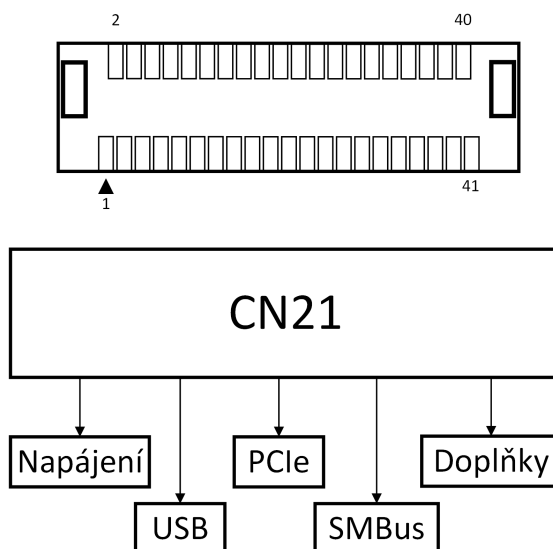
#### 2.4.3 Konektor pro vysokorychlostní přenos

Pod označením CN21 se schovává vysokorychlostní rozšiřující konektor. Jedná se o SMD konektor pro FPC plochý kabel. Nachází se na něm napětí +12 V DC, USB 3.0 a 2.0, PCIe x1, SMBus a doplňkové piny jako například sleep control nebo platform reset. K této desce je nabízena k dokoupení dvojice rozšiřujících desek využívající tento FPC konektor. První rozšiřující deska pod označením UP 4000 carrier board for WiFi and 5G module nabízí konektory M.2 E 2230 a M.2



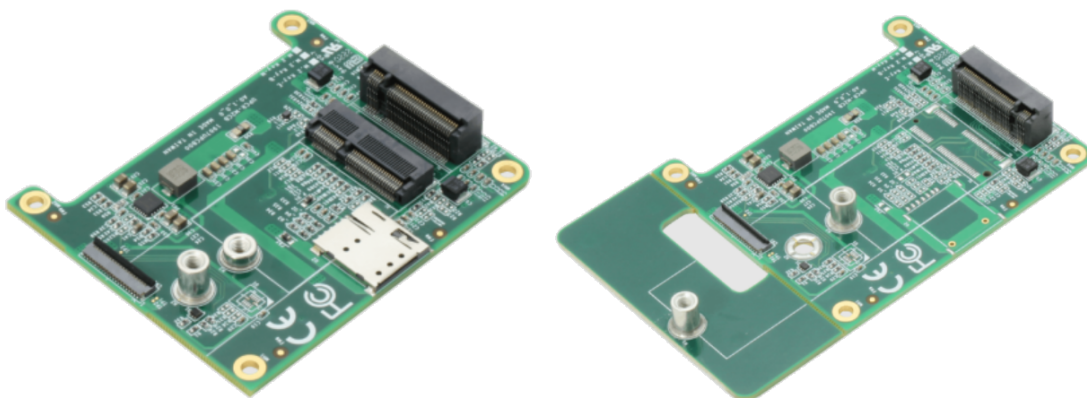
Obr. 2.9: Označení konektoru CN1 a jeho blokový diagram portů

B 3042/3052. Je pak vhodná pro použití s Wi-Fi kartami a 4G/5G moduly včetně slotu na mobilní Nano SIM kartu. Druhá svým zapojením nabízí rozšíření o M.2 M konektor vhodná pro vložení paměťového nebo AI modulu. Tyto oba moduly jsou zobrazeny na obrázku 2.11. [3]



Obr. 2.10: Označení konektoru CN21 a jeho blokový diagram portů

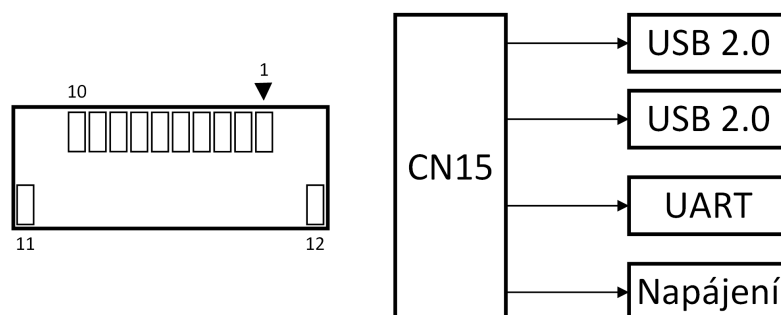




Obr. 2.11: UP 4000 vysokorychlostní rozšiřující desky

#### 2.4.4 Doplnující konektor portů

Jedná se o konektor ze spodní strany desky na rozdíl od konektoru CN1, nacházejícího se na svrchní straně desky. Má dokumentové označení CN15 viz obrázek 2.12. Jedná se o 12 pinový konektor s vyvedeným napětím, zemí, dvojicí USB 2.0 portů a jedním UART rozhraním.



Obr. 2.12: Označení konektoru CN15 a jeho blokový diagram portů

#### 2.4.5 Rozšiřující porty

Gateway jako taková by měla rozšiřovat základní desku mikrokontroléru o potřebné porty. Do seznamu požadovaných portů patří:

- Ethernet
- 2x RS-485
- RS-232
- konektor pro připojení externích karet M.2
- USB
- 1-Wire

- 4x Vstup, 4x Výstup
- 1x Analogový vstup a výstup
- 1x PWM řízený výstup
- LED signalizace
- CAN bus
- konektor záložní baterie
- případně slot na SD kartu.

## Ethernet

Tento konektor je přítomen již na samotné desce mikrokontroléru, a proto odpadá nutnost jeho implementace na desce tištěného spoje gateway. Ethernetový konektor RJ-45 primárně slouží pro připojení celého systému k internetu. Díky tomu bude systém moci komunikovat a odesílat data do cloudového systému a zároveň informace např. o předpovědi počasí nebo spotových cenách sbírat pro další interní zpracování.

Dalším využitím pak bude Modbus/TCP, který využívá síť LAN. Jedná se o otevřený protokol. Je určen pro komunikaci mezi různými zařízení prostřednictvím probíhající výměny datových zpráv pomocí režimu master (server) a slave (klient). Můžeme se s ním setkat u technologie průmyslových řídicích jednotek PLC, senzorů, I/O rozhraní anebo například SCADA systému. Objevuje se také ve verzi určené pro sériový přenos pomocí RS-232, RS-422, RS-485, pomocí optického vlákna nebo přes rádiový přenos [46, 47].

## RS-485, RS-232

Název RS-485 specifikuje standard sériové komunikace schválený na počátku 80 let. Jedná se o standard využívající dvou vodičového poloduplexního vícebodového sériového spoje navrženého především pro průmyslové prostředí. Rozdíly v těchto dvou standardech RS-232 a RS-485 jsou v definici napěťových úrovní, možnosti vytvoření sítě pro vícero zařízení a komunikace na vzdálenosti více než jeden kilometr. Linka RS-485 lze jednoduše vytvořit z RS-232, který je široce rozšířen, využitím jednoduchých převodníků úrovně [51, 52].

Standard RS-232 se svou poslední variantou 232C se datuje do roku 1969. Toto komunikační rozhraní umožňuje propojit pouze dvě zařízení, tedy point-to-point, a zajistit tak jejich vzájemnou sériovou komunikaci při nízkých rychlostech. Je pro něj definováno jen to, jak má přenášet určitou sekvenci bitů a představuje tak čistě fyzickou vrstvu z referenčního modelu ISO/OSI [51, 53].

Hlavním důvodem, proč dokáže RS-485 komunikovat na dlouhé vzdálenosti je použití diferenčního páru pro vedení. Toto vedení lze nalézt také pod názvem Twisted

pair, Balanced data transmission nebo Differential voltage transmission. Díky použitému vedení je přenos odolný na vnější rušení a zdroje šumu. Běžně dosahované přenosové rychlosti na takto vytvořeném spoji jsou 2,5 Mbps. Diferenční vysílače používají k přenosu napětí alternující mezi 0 a 5 V.

Topologie sítě RS-485 je vícebodová s jedním master zařízením a ostatními podružnými slave zařízením. Každé takové slave zařízení disponuje svou unikátní adresou a odpovídá jen na jí určené pakety. Pakety jsou generovány master zařízením a jsou periodicky odesílány na sběrnici, kde je vidí všechny připojené zařízení v síti. V takové síti se může v jeden okamžik nacházet až 32 zařízení. Existuje i varianta pro přenos v duplexním režimu využívající dvojice diferenčního páru. Vysílání master-slave probíhá na jednom páru vodičů a odpovědi generované a odesílané slave-master putují po druhém páru vodičů. Jedná se tak o hardwarové řešení pro zvýšení rychlosti přenosu dat [51, 54, 55].

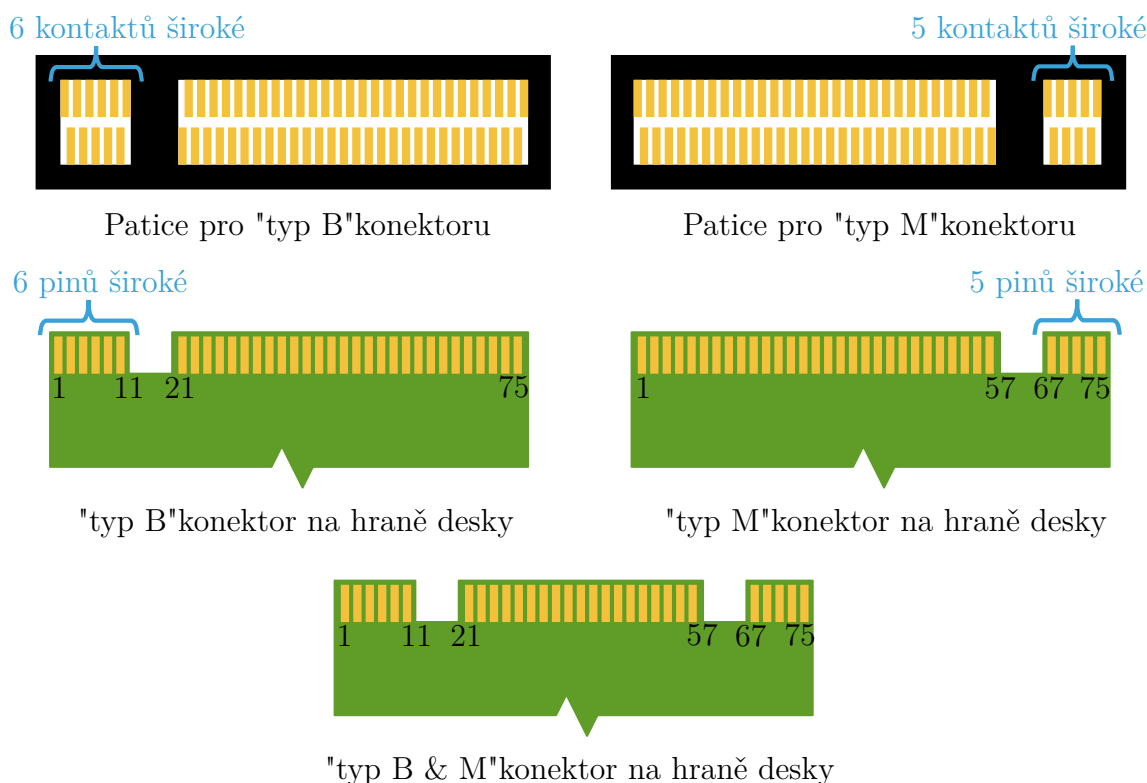
## **Připojení externích karet M.2**

Specifikace M.2 je využívána jako rozšiřující interní slot. Je proto taktéž označována jako Next Generation Form Factor (NGFF). Tento konektor se nachází ve čtyřech základních verzích, které jsou nejvíce využívány. Existují dvě používané verze, které mezi sebou sdílejí pozici slotu. Starší verze konektoru je označovaná jako typ B, resp. B key nebo socket 2. Novější je označovaná typ M, resp. M key nebo socket 3. Tyto dva typy jsou zobrazeny na obrázku 2.13.

Dále existuje konektor ve verzi označované jako typ A a typ E. Rozdíly v těchto čtyřech základních typech jsou v pozici oddělovacího slotu, neboli klíče, pro jediné možné správné osazení karty. Pro kombinované verze jsou to typy B+M a typu A+E. Nejčastější využití je obecně v laptotech a na základních deskách stolních počítačů pro připojení datového úložiště, karet s implementací Bluetooth, Wi-Fi, GPS, GNSS, WiGig, WWAN a dalších [48].

## **1-Wire**

Jedná se o sběrnici, po které je umožněno komunikovat s vícero zařízeními a prvky řízených jedním master zařízením. Principem by šla přirovnat k technologii I<sup>2</sup>C. Charakteristickým rysem, jenž tuto sběrnici odlišuje od již zmíněného I<sup>2</sup>C, jsou pouze dva vodiče (datový a referenční) a nižší datový obsah s delším dosahem. Vytváří se tak pomocí jednoho master zařízení a několika podružných prvků sítě 1-Wire, která se nazývá MicroLAN. MicroLAN je síťový standard, který umožňuje počítačům a mikrokontrolerům digitální komunikaci s podružnými prvky této sítě přes kroucenou dvojlinku. Přes jeden kabel tak zařízení obdrží napájení, prostor pro datovou komunikaci a signalizaci. Jednotlivá zařízení sběrnice 1-Wire jsou odlišena



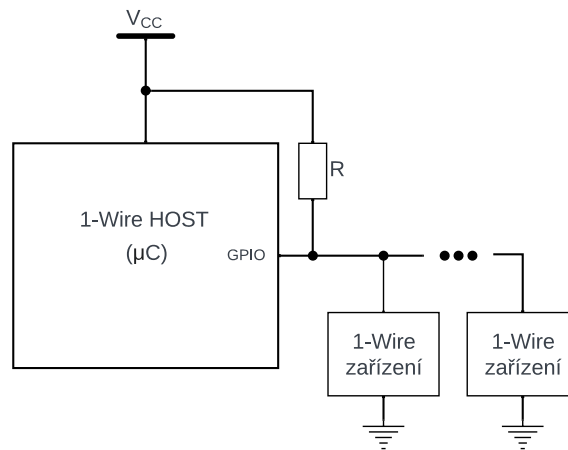
Obr. 2.13: Nejpoužívanější druhy M.2 konektorů [56]

pomocí unikátního, neměnného, továrně naprogramovaného 64bitového ID identifikátoru sloužícího pro adresaci na sběrnici. V rámci tohoto identifikátoru je 8bitový kód pro rozřazení dle typu a funkčnosti zařízení. Komunikace master zařízení na síti 1-Wire se specifickým prvkem probíhá poloduplexní obousměrnou komunikací a adresováním pomocí ID kódu. Zdroj napětí pro tyto zařízení se označuje za parazitní. V principu se tak označuje, jelikož v přeneseném slova smyslu krade napájení z datové linky skrze jednofázový jednocestný usměrňovač s 800 pF interním kondenzátorem. Uchovaný náboj poté slouží pro napájení zařízení během periody aktivního datového přenosu, kdy je v datovém přenosu přenášena měnící se úroveň signálu pro signalizování logické jedničky nebo nuly. Konfigurace takového zapojení je zobrazena na obrázku 2.14 [42, 43, 44].

### Vstupy a výstupy

Digitální vstupy a výstupy budou vytvořeny buď s pomocí nevyužitých a volných GPIO pinů nebo bude využita sběrnice I<sup>2</sup>C. Na tuto sběrnici pak bude připojen obvod překládající komunikaci ze sběrnice na příslušné vstupy a výstupy.

Podobně jako digitální vstupy a výstupy budou vyřešeny ty analogové, včetně zajištění PWM řízení. Dedikovaný obvod zajišťující překlad komunikace ze sběrnice I<sup>2</sup>C s funkcí řízení PWM bude také připojen.



Obr. 2.14: 1-Wire master/slave konfigurace [42]

### LED signalizace

Stejně jako v případě vstupů a výstupů bude použito volných GPIO pinů nebo budou vyvedeny logické signály přes sběrnici I<sup>2</sup>C a příslušný překladač na samotnou LED signalizaci. Softwarově pak lze pro jednotlivé LED nastavit funkci blikání, svícení anebo samotného signalizování určitého pracovního stavu.

### CAN bus

Jedná se o komunikační protokol určený pro sériový datový přenos po sběrnici vyvinutý německou firmou BOSCH Corporation počátkem 80. let. Tato vyvinutá sběrnice definuje přenosový standard pro efektivní a spolehlivou komunikaci mezi ovladači, senzory a akčními členy (hydraulické písty, servomotory, stykače, ventily a podobné soustrojí). Komunikace je vhodná pro aplikaci v reálném čase. Zprvu byla podpora zařízení primárně z odvětví automobilového průmyslu. Je možné tuto sběrnici tak nalézt v osobních automobilech, nákladních automobilech, lodích nebo např. i v kosmických lodích a dalších typech vozidel. S rozvojem celého protokolu se dnes dá nalézt jeho široké využití i v průmyslové automatizaci anebo v oblastech integrovaného síťového řízení. Takovým příkladem oblasti jsou výrobní stroje, automatizace budov, osobní lékařská vozidla jako invalidní vozíky a další lékařské vybavení. Celá síť pak funguje na principu peer-to-peer a to i v případě poškození některé z cest. Z toho vyplývá, že komunikace přes tuto sběrnici je velmi spolehlivá [49, 50].

Je to multi-master sběrnice. Komunikačním médiem jsou kroucené dvojlinky, koaxiální kabel nebo optické vlákno. Dosahuje rychlosti až 1Mbps. Velikost datové jednotky je až 8 bajtů. Označení spolehlivé nese díky implementaci testování CRC a poskytování vhodného zpracování chyb [49].

## **Záložní baterie**

Záložní baterie obecně slouží pro chod při vypadnutí hlavního zdroje vlastní spotřeby. Důležitou otázkou pak je doba samotného napájení umožněného ze záložní baterie dle její kapacity. V této době typicky zařízení ukládá a zálohuje veškeré nastavení a úkony, které by mohly být vypnutím ztraceny, signalizuje samotnou změnu chodu a vyčkává na opětovné naběhnutí primárního zdroje napájení vlastní spotřeby. Díky přístupu k internetu mohou být také data průběžně odesílána a zálohována vzdáleně např. na cloudovém úložišti. Při nastalém výpadku napájení poté nebudou žádné data ztracena i v případě, že by byla samotná jednotka poškozena např. přepětím, výbojem atd.

Namísto typické záložní baterie je také možné implementovat supercap kondenzátor na samotné desce tištěného spoje. Ten je pak dimenzován tak, aby pokryl napájení hlavního kontroléru na dobu nezbytně nutnou pro uložení aktuálních dat.

## **SD karta**

Na konektoru CN1 se nachází sériové periferní rozhraní SPI. Díky němu je možné připojení slotu SD karty. UP 4000 je umožněno ukládání dat a jejich následné lokální čtení z paměti SD karty. Jedná se o jedno ze dvou druhů připojení SD karet do obvodu. Druhým připojením je SDIO rozhraní, které vyžaduje propojení s více propoji, zato nabízí až čtyři datové linky. Všechny propoje vyžadují připojení pull-up rezistorů pro zajištění správného fungování.

## 3 Návrh prvního prototypu

V této kapitole jsou prvně řešeny pravidla návrhu. Jsou tak popsány jednotlivé vývojové kroky zařízení, provozní podmínky společně s normami a elektromagnetická kompatibilita zařízení.

Dále je řešeno blokové schéma jak samotného polygonu tak gateway. U polygonu jsou popsány jednotlivé části od prvků výroby přes prvky spotřeby až po zdroje dat. U gateway jsou probírány konektory na desce mikrokontroléru společně s dostupnými sběrnicemi a jejich využitím. Hardwarové možnosti součástek a jednotlivých čipů jsou také vzpomenuy s přihlédnutím na současnou cenu těchto komponentů na evropském trhu.

### 3.1 Pravidla návrhu

Každé zařízení prochází několika kroky návrhu. Za první krok je možné považovat teoretické ustanovení požadavků, vlastností a portovou vybavenost v podobě konektorů. Poté se vývoj dostane přes bloková schémata, vybírání dílčích konstrukčních částí až k první podobě technického schématu.

Dílčí konstrukční části popisují ucelené části, jenž plní určitou funkci. Příkladem takové části je například sběrnice CAN bus. Ta pro svou funkčnost vyžaduje čip CAN kontroléru, který úzce spolupracuje s CAN bus transmitterem. Samotný kontrolér pak komunikuje přes rozhraní SPI s mikrokontrolérem. Navíc jsou doplněny tyto čipy o pasivní prvky jako jsou rezistory a kondenzátory.

Jakmile je vyhotoveno technické schéma, přejde se na tvorbu desky tištěného spoje. Deska tištěného spoje musí splňovat určité pravidla návrhu a také normy pro komerční použití. O těchto pravidlech a normách se hovoří níže. Získaná deska tištěného spoje je poté osazena odpovídajícími pasivními a polovodičovými součástkami. V tomto stádiu je tedy vyhotoven první prototyp a ten je podroben důkladnému testování. Obrázek 3.2 zobrazuje výše popsaný postup shrnutý do přehledného diagramu.

V dalším postupu jsou pak tvořeny iterace od technického schématu až po nový prototyp. Po vychytání většiny problémů a vad je finální prototyp poslán do výroby.

#### 3.1.1 Provozní podmínky, normy produktu

Výrobky řídicí chytré domy obecně nazývané Programovatelné logické automaty, spadají pod normu výrobku *ČSN EN 60730-1 ed. 4 Automatická elektrická řídicí zařízení pro domácnost a podobné účely – Část 1: Obecné požadavky*. Dále by se dalo

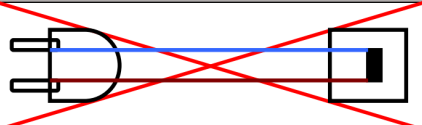





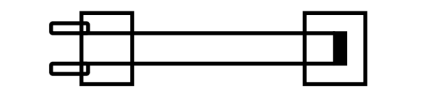
hovořit o aplikaci normy *ČSN EN 61131-1 Programovatelné řídicí jednotky – Část 1: Všeobecné informace*.

Dle zpracování finálního prototypu se bude moci určit Třída ochrany elektrického předmětu podle normy *ČSN EN 61140 ed.3 definující Ochranu před úrazem elektrickým proudem – Společná hlediska pro instalaci zařízení*. Celkově pak jsou čtyři třídy 0, I., II., a III. V České republice se pak setkáme jen s Třídou ochrany I., II., a III. To, do jaké třídy bude prototyp zařazen, se bude odvíjet od jeho opatření k zajištění bezpečnosti. Jelikož je prototyp 1.0 napájen externím zdrojem nízkého napětí, dá se předpokládat zařazení do Třídy ochrany II. s přídatnou nebo zesílenou izolací pro napájecí vodiče [70].

Stupeň krytí zařízení označován zkratkou IP bude dle normy *ČSN EN 60529*. Pro tento typ zařízení, tj. obvodová část v krabici na DIN lištu nainstalovaná v rozvodné krabici, je vhodné krytí alespoň IP20. Ochrana je pak chráněna proti vniknutí cizích malých předmětů bez ochrany proti vniknutí vodě [70].

Provozní podmínky lze definovat dle druhu provozu, pracovní polohy, rozsahu provozních teplot okolí, relativní vlhkosti vzduchu a atmosférického tlaku.

Obecně je nakonec důležité zmínit odkaz na dodržování vyhlášky č. 250/2021 Sb., o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů. V této vyhlášce jsou popsány stupně krytí i ochrany před úrazem elektrickým proudem [70].

Třída ochrany	Značka na předmětu	Princip ochrany	Poznámka
<b>0</b>			Nemá ochranné prostředky pro případ poruchy. <b>Nepovoleno v ČR.</b>
<b>I</b>			Spojení neživé části EZ s ochranným vodičem sítě.
<b>II</b>			Dvojitá či zesílená izolace EZ.
<b>III</b>			Zásuvka musí být nezáměnná. Připojení pouze k síti SELV nebo PELV.

Obr. 3.1: Rozdělení tříd ochrany s jejich značením [71]

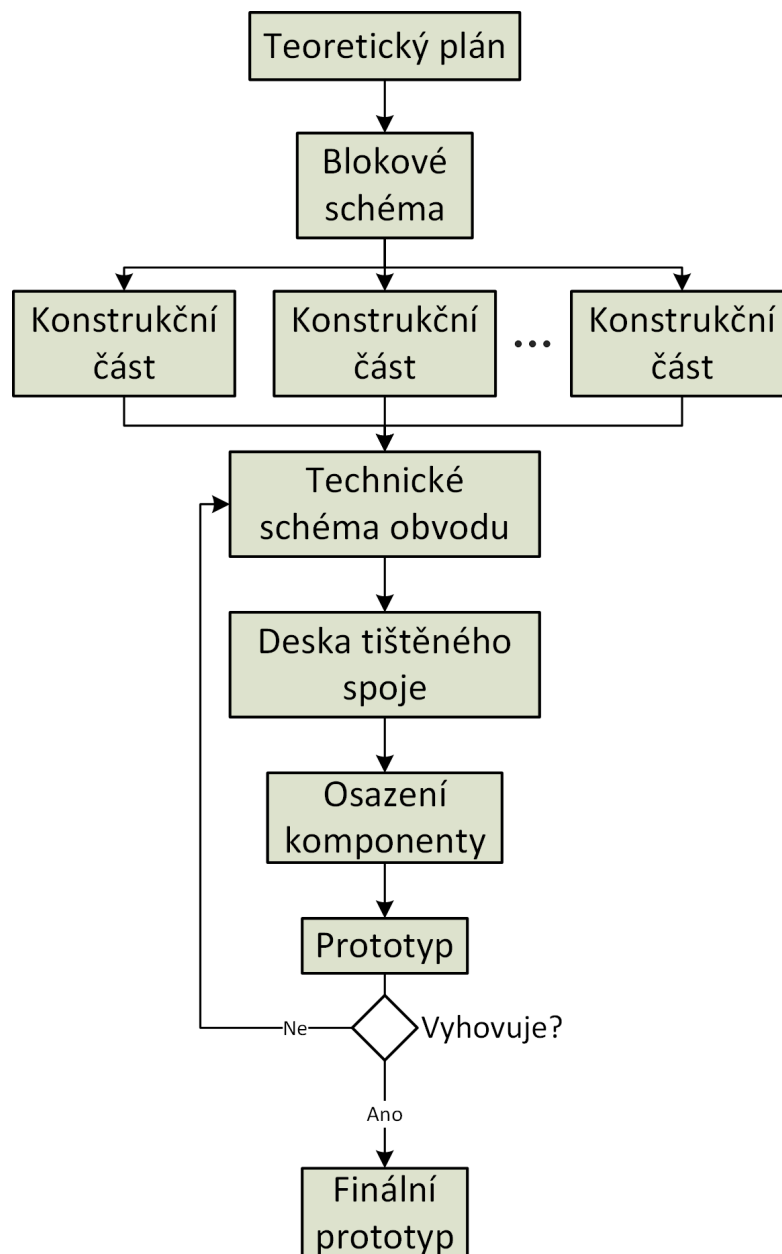
### 3.1.2 Elektromagnetická kompatibilita

Certifikace komerčních tuzemských zařízení má EMC řešeno v rámci normy *ČSN EN 60730-1 ed.4:2017*. V rámci obecné kompatibility zařízení je vhodné aplikování



normy ČSN EN 55032 ed.2 Elektromagnetické kompatibility multimediálních zařízení - Požadavky na emisi. Jedná se o kategorii ochrany rádiového příjmu před rušením.

V případě, že bude připojeno k zařízení více senzorů pracujících na bezdrátové technologii, se může předpokládat určitá forma rušení v omezeném okruhu od tohoto zařízení. Pokud by se tak stalo, mohlo by být požadováno adekvátních doplňujících opatření k zamezení tohoto jevu rušení.



Obr. 3.2: Diagram vývoje návrhu prototypu

## 3.2 Blokové schéma první verze polygonu

Polygon se dá rozdělit na pomyslné čtyři skupiny dle funkce. První skupinou jsou zdroje energie. Druhou skupinou jsou prvky spotřeby. Třetí skupina je pak tvořena zdroji dat. Do skupiny zdrojů dat mohou patřit i prvky z první nebo druhé skupiny díky provázanosti celého systému. Poslední skupina je tvořena řídicí gateway. Celé blokové schéma je zobrazeno na obrázku 3.3.

### 3.2.1 Prvky výroby

Elektrárny s malým výkonem jsou fotovoltaické či jiné založené na principu přeměny obnovitelných přírodních zdrojů na elektrickou energii. Vždy je pak výstup z takovéto generující jednotky vyveden na zařízení měnící vlastnosti elektrické energie. K zařízení kombinující kontrolér a měnič je připojeno bateriové uložení. Výstup vhodně upravené elektrické energie je veden přes jednotku měření výroby do domovního rozvaděče. Příjem a vysílání dat zajišťuje také měnič. Měníče disponují rozhraním CAN bus a sériovým portem RS-485 nebo RS-232. Novější modely jsou také vybaveny několika LAN porty s konektorem RJ-45.

Dalším prvkem výroby je pak bateriové uložení elektromobilu. To je připojené do budovy přes dobíjecí stanici a elektroměr jen v případě, že elektromobil podporuje obousměrné nabíjení a zároveň dobíjecí stanice taktéž podporuje obousměrné nabíjení. Mluví se pak o vehicle-to-home, vehicle-to-grid, anebo vehicle-to-load. Rozdíly jsou pak v tom, kam přesně putuje elektrická energie z baterie automobilu. Jedná-li se o napájení budovy, posílání elektrické energie uložené v baterii elektromobilu do sítě distributora nebo použití pro napájení domácích spotřebičů a jiných zařízení. Komunikace probíhá na sběrnici Modbus s elektroměrem a také s dobíjecí stanicí.

### 3.2.2 Prvky spotřeby

Do této kategorie zahrnujeme od velkých domácích spotřebičů jako jsou například pračky, ledničky, samostatné mrazáky, přes chytré zásuvky až po chytré žárovky. Ve schématu na obrázku 3.3 je tato skupina označena obecně jako spotřebiče.

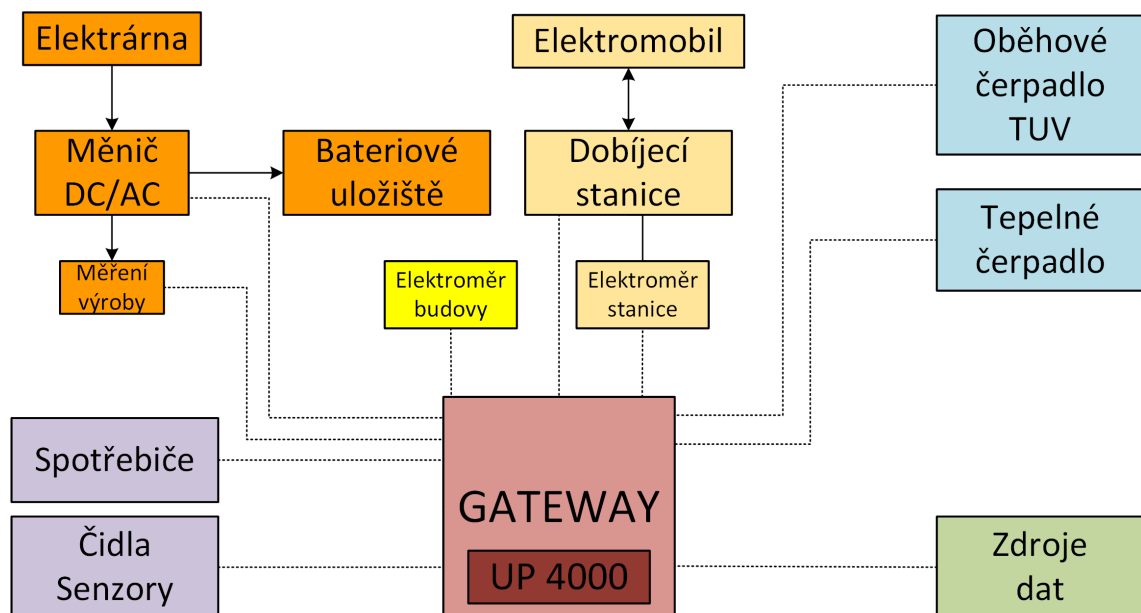
Hlavní elektroměr budovy je možné také zahrnout do skupiny spotřebičů. Jelikož pro svou vlastní spotřebu potřebuje napájení a monitoruje tok elektrické energie. Data, která nashromáždí poté poskytuje gateway a distributorovi.

Čidla, senzory, a další zařízení, jejichž primárním cílem je data odesílat, tvoří další skupinu v prvcích spotřeby. Jejich používané komunikační rozhraní se různí dle typu čidla, senzoru a také výrobce. Nalezneme zde komunikaci bezdrátovou přes WiFi, 1-Wire nebo ojedinelé i Bluetooth.

Zdroje tepla se se svými zařízeními dělí do dvou větších skupin. První je zajištění ohřevu užitkové vody (TUV). Druhou je pak ohřev vody určené pro topné okruhy podlahového a radiátorového topení. Řízení tepelného čerpadla je docíleno pomocí proudové smyčky 4 – 20 mA nebo proměnného napětí 0 – 10 V. V tomto případě je tedy řízeno zařízení analogovým signálem. Oběhové čerpadlo TUV je možné řídit také PWM signálem.

### 3.2.3 Zdroje dat

Většina zařízení, jež nějakým způsobem odesílá data a komunikuje s centrální jednotkou náleží do skupiny zdrojů dat. Důležité je také zmínit data o odečtu vody a plynu, které se také sbírají a mohou se dále zpracovávat. Nejdůležitější data jsou o energiích a jejich tocích (elektroměr, měnič, dobíjecí stanice), spotřebě vody a plynu, senzorech teploty, bezpečnosti budov a protipožárních opatření.



Obr. 3.3: Blokové schéma první verze polygonu

## 3.3 Blokové schéma první verze gateway

V kapitole 2.4 popisující gateway byly předneseny předpoklady pro porty jakými by měla gateway disponovat. Konektor HAT má bohužel pouze omezené množství sběrnic a GPIO. Bylo tak potřeba přihlédnout na kompenzaci těchto nedostatků. V blokovém schématu 3.5 jsou zaneseny bloky pro rozšíření jednotlivých sběrnic nebo pro překlad z jedné sběrnic na jinou.

## Doplňující zdroj napětí

Jelikož HAT konektor nabízí napájecí napětí pouze na hladině 5 a 3,3 V, bude potřeba přidat i napájecí zdroj pro získání vyššího napětí pro vhodné napájení skupiny součástek vyžadujících tuto napěťovou hladinu.

V případě potřeby doplňujícího napájení na hladině 1,8 V je možné využít integrovaného regulátoru napětí TPS6213x od firmy Texas Instruments. Jeho cena je 60 Kč a účinnost se pohybuje na hranici 95 %.

## GPIO

Samostatný HAT konektor disponuje dostatkem GPIO pinů pro obecně široké základní využití. V tomto případě je ale jejich počet nedostatečný a je třeba využít i např. skupinu pinů pro I<sup>2</sup>S, která se na konektoru také nachází a nebyla vzpomenu. Tuto skupinu je možné využít pro obecné vyvedení a přivedení signálů do a z hlavního mikroprocesoru. Takto bude k dispozici dodatečných 6 GPIO pinů včetně dvou obsahujících PWM řízení.

## I<sup>2</sup>C

Použití této sběrnice poskytuje mnoho využitelných rozšiřujících převodníků. Díky expandéru PCF8574 firmy Texas Instruments, jenž je kompatibilní s většinou mikrokontrolérů jsme schopni získat 8 vstupů/výstupů. Další výhodou je v případě použití 8 výstupů schopnost napájení LED diod. Cena jednoho čipu se pohybuje okolo 60 Kč.

Dalšího rozhraní můžeme dosáhnout přidáním převodníku I<sup>2</sup>C na 1-Wire. Tuto funkcionalitu umožňuje např. čip DS2482-100 od firmy Maxim Integrated (Analog Devices). Cena jednoho se pohybuje taktéž okolo 60 Kč.

## UART

K získání této sběrnice je možné využít několik převodníků. První možností je využití převodníku USB na UART. Čip FT234XD plní tuto možnost a jeho cena je 60 Kč. Dalším takovým čipem, který je možné použít je CP2102 od firmy Silicon Labs. Bohužel varianty, kde se z jednoho USB dostaneme na dvojitý nebo čtyřnásobný UART výstup, jsou značně drahé a ve velmi omezených variantách. Příkladem takového čipu je např. MAX3109 nebo MAX14830 od firmy Maxim Integration. Oba pak svou cenou spadají do kategorie nad 300 Kč. Další možností, jenž spadá do kategorie USB na vícero UART rozhraní, je čip XR21V1414. Jedná se o čtyřkanálový UART čip na USB. Jeho cena se pohybuje okolo 250 Kč.

Existují i varianty kde namísto USB sběrnice je využita SPI a I<sup>2</sup>C sběrnice. Zástupcem je pak čip SC16IS752/SC16IS762. Tento čip je převodníkem z SPI/I<sup>2</sup>C sběrnice na dvojici UART portů s doplňujícím rozhraním pro 8 programovatelných I/O pinů. Výrobce tohoto čipu je NXP Semiconductors. Cena je velmi příznivá, okolo 180 Kč, pokud se vezme v potaz plný potenciál využití. Dle technické dokumentace pak tento čip umožňuje bezproblémový převod ze sběrnice I<sup>2</sup>C/SPI na RS-232/RS-485 a to plně obousměrně.

### **RS-485, RS-232**

Získáním těchto sběrnic pro připojení externích zařízení bude využito převodníku UART na RS-XXX. Do kategorie typů těchto čipů spadá velké množství možností od řady výrobců. Jedním z příkladů je LT1785 od firmy Analog Devices. Cena toho čipu je 150 Kč. S cenou na 30 Kč se dají najít a pořídit čipy od Texas Instrument nebo MaxLinear. Příkladem takových zástupců jsou SNx5176B a SP485E.

Stejně jako pro RS-485, je pro sběrnici RS-232 mnoho možností převodníku. Cenově spadají do stejné kategorie. Příkladem je pak ST3232 od firmy STMicroelectronics, MAX3221 od Texas Instrument nebo SP3232E od firmy MaxLinear.

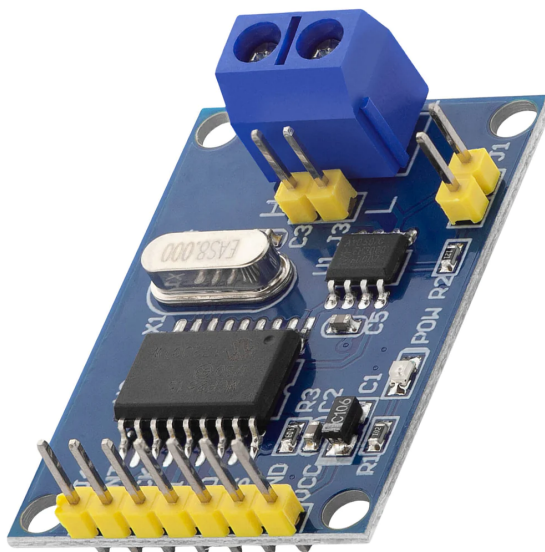
### **SD karta**

Jelikož je eMMC paměť základní verze desky UP 4000 jen 16 GB, je možné, že tato velikost bude pro budoucí implementaci algoritmu a řídicího softwaru nedostačující. Samotný upgrade eMMC paměti na 32 GB pak činí rozdíl v přepočtu 250 Kč. Pokud se pak vezme upgrade na maximální možnou kapacitu 64 GB nabízenou prodejcem, rozdíl bude vycházet v přepočtu 2000 Kč. Jednoduchým přepočtem se dostaneme na cenu 15,6 Kč za GB potažmo 41,6 Kč za GB druhým příkladem. V případě využití směrnice SPI a vytvoření tak slotu na kartu micro SD se jednoduše upgrade úložného datového prostoru začne pohybovat v rozmezí 10 Kč za GB. V této uváděné ceně jsou pak započítány i náklady na doplňující součástky [3].

### **CAN bus**

Pro komunikaci a získávání dat z např. senzorů baterie nacházejících se v elektromobilu se používá sběrnice CAN bus. Pro mikrokontroléry Arduino je k dispozici deska CAN převodníku s čipem MCP2515 a MCP2551. Deska je zobrazena na obrázku 3.4. Jedná se obvod pracující se sběrnici SPI. První čip MCP2515 plní funkci samostatného CAN kontroléru s SPI rozhraním. Tento čip poté kontroluje chod a překládá data pro čip MCP2551, jenž plní funkci vysokorychlostního CAN vysílače. Na githubu jsou k dispozici open-source .ZIP knihovny s příklady pro softwarové

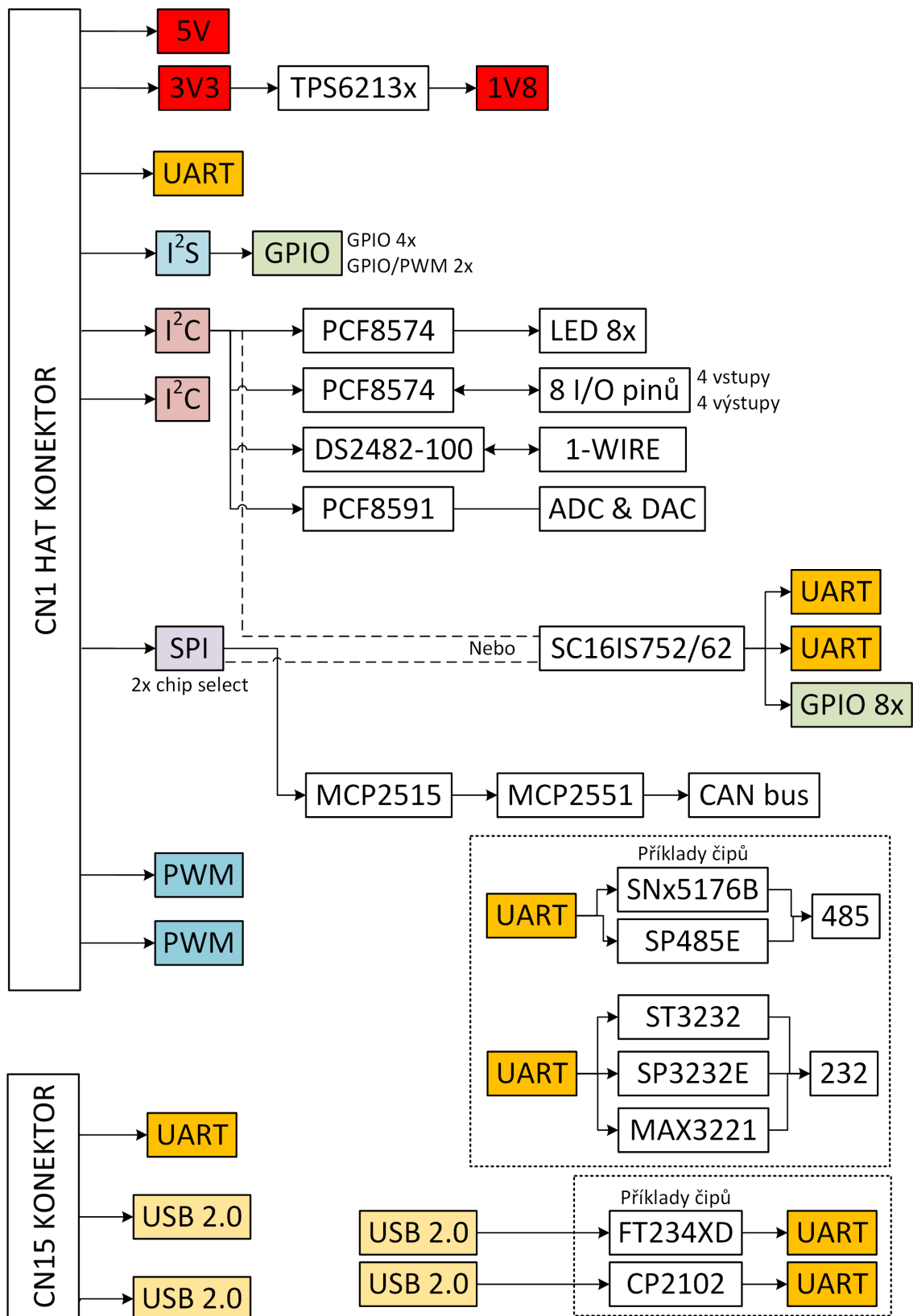
naprogramování kódu v Arduino. Tato rozšiřující deska nachází své použití nejenom pro mikrokontroléry Arduino ale také Raspberry Pi [86].



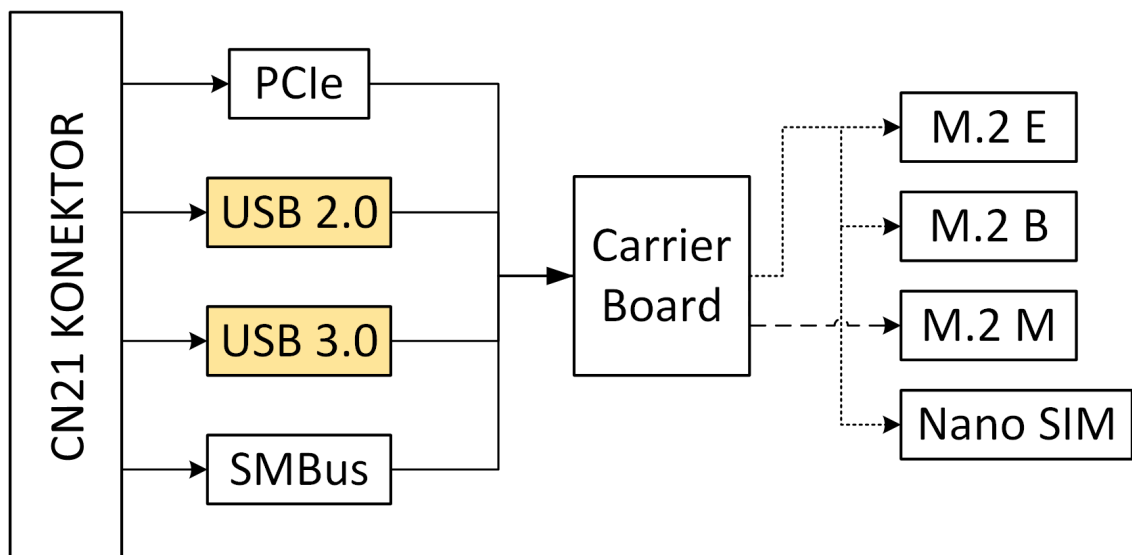
Obr. 3.4: Modul CAN bus pro Arduino [86]

### **Analogový vstup/výstup**

Z odvětví průmyslové automatizace, kde je stále ještě hojně využíván analogový standard pro přenos naměřených hodnot, je implementována proudová smyčka 4 – 20 mA. Pro tento případ se pak mluví o proudových smyčkách analogových, které jsou vyjádřeny proudy v rozsahu 4 – 20 mA. Existují pak také digitální proudové smyčky, které vyjadřují proudem 4 mA logickou nulu a proudem 20 mA logickou jedničku. Výhodou proudové smyčky je imunita proti elektromagnetickému zarušení pro přenos na velké vzdálenosti a její jednoduchost. Díky existenci převodníků proudové smyčky na vstupu do napětového rozsahu 0 – 5 V nebo 0 – 10 V na výstupu je možné využít jednoduchý A/D převodník na sběrnici např. I<sup>2</sup>C. Příkladem takového AD převodníku je čip PCF8591 od výrobce NXP Semiconductors. Jeho cena činí 120 Kč. Jedná se o AD a DA převodník v jednom těle. Disponuje rozlišením 8 bitů. Typický rozsah analogového napětí, které je schopen přijmout na vstupu je do hodnoty napájení VDD. V kombinaci pak při napájení 5 V s převodníkem proudové smyčky 4 – 20 mA na napětový rozsah 0 – 5 V je ideálně využít celý rozsah převodníku [62, 63].



Obr. 3.5: Blokové schéma první verze gateway



Obr. 3.6: Blokové schéma rozšiřujících desek

### 3.4 Shrnutí první verze

V rámci první verze prototypu bylo zpracováno blokové schéma polygonu a gateway. Do blokového schématu polygonu byly zakresleny všechny druhy možné připojitelné periferie. Jednotlivé bloky polygonu pak představují ideálně vybavenou inteligentní budovu včetně čidel, autonomního chodu a sběru dat.

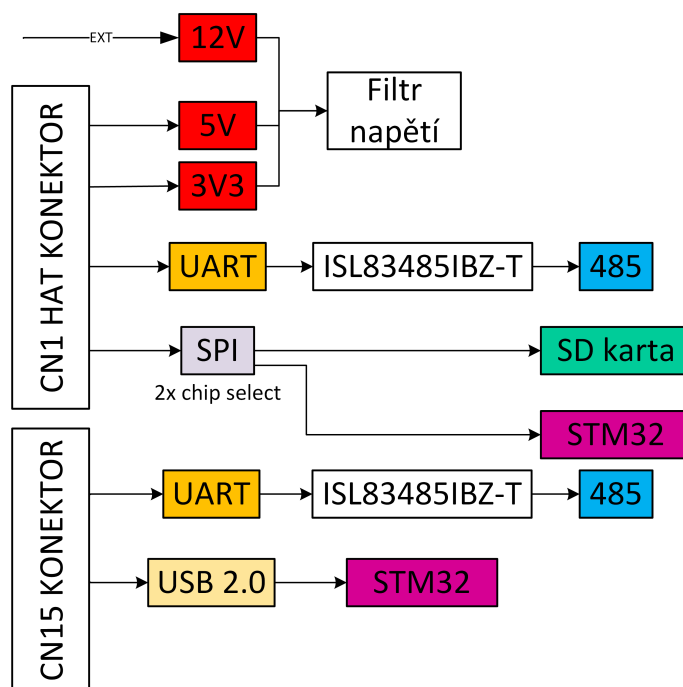
Blokové schéma gateway zobrazuje možné využití všech sběrnic a rozhraní z hlavního mikrokontroléru UP 4000. Počty jednotlivých sběrnic a volných GPIO pinů jsou dle všech zjištění nedostačující pro cílené použití. Počty možných periferií by v tomto případě bylo nutné omezit a doplňující překlady z jednoho druhu sběrnice na druhý (např. USB 2.0 na UART přes čip FT234XD a ten následně na RS-485 pomocí čipu SP485E) by zanesly komplikace při oživování a odstraňování možných problémů prototypu.

Celý návrh první verze gateway tak zůstal pouze teoretický s požadavkem na přepracování zjištěných nedostatků. Pro zpracování druhé verze prototypu je tedy nutné vyřešit problém s nedostatečným počtem GPIO pinů a sběrnic.



## 4 Druhá verze gateway

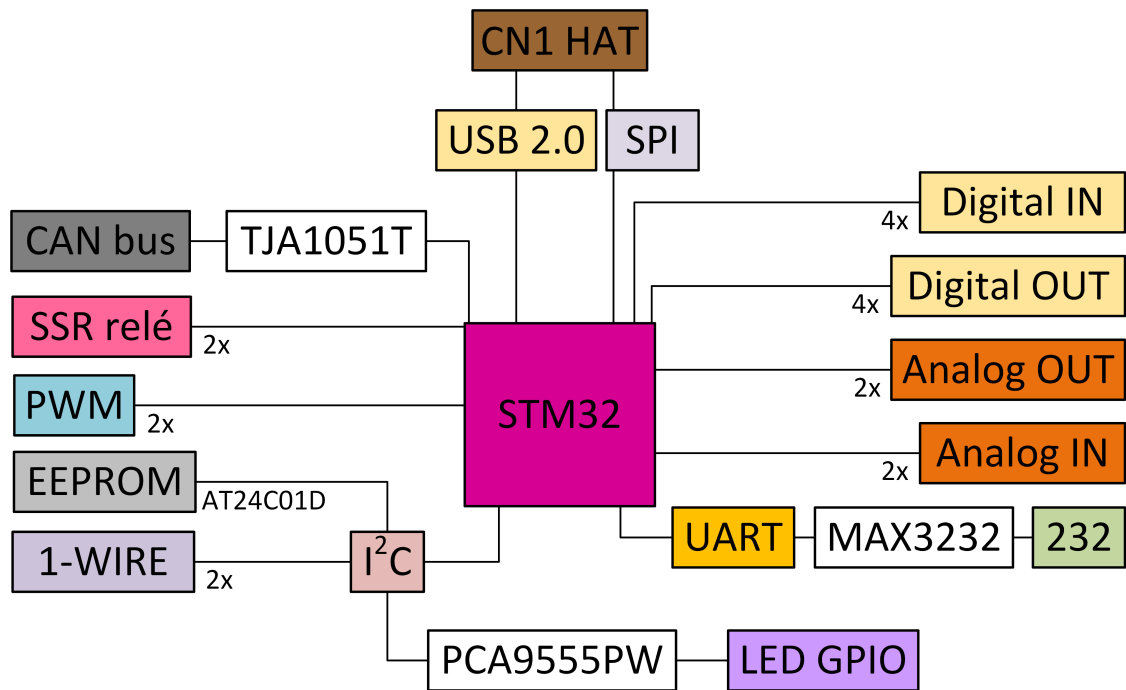
Tato kapitola se zabývá praktickým návrhem a problematikou spjatou s vytvořením funkčního schématického zapojení gateway. Je rozdělena na dvě podkapitoly věnující se prvně struktuře vzájemného zapojení jednotlivých komponentů a dále pak jejich rozvržení na desce samotné.



Obr. 4.1: Blokové schéma druhé verze 1/2

Díky skutečnosti, že konektor HAT mikrokontroléru UP 4000 nedisponuje dostatečným počtem pinů pro připojení všech skupin periférií jak již bylo zmíněno a popsáno v kapitole 3.3, byl zvolen jiný a odlišný přístup tvorby schématu. Jelikož čip STM32 nabízí značné počty GPIO pinů, které mají mnohé funkce od PWM, snímání digitální nuly nebo jedničky či dokonce převod vstupní analogové hodnoty napětí na digitální hodnotu, byl zvolen jako mikrokontrolér v režimu slave. Eliminovala se tak díky tomu nutnost použití drahých čipů pro překlad jednoho rozhraní na druhé. Dále se díky tomuto kroku zjednodušilo i praktické schéma a složitost samotného budoucího řídicího softwaru.

Blokové schéma celkového zapojení je zobrazeno na obrázku 4.1 a 4.2. První obrázek 4.1 zobrazuje sekci vstupních konektorů, jednotlivých napětí s příslušnými filtry, SD kartou, rozhraním RS-485 a komunikaci s čipem STM32. Druhé blokové schéma na obrázku 4.2 zobrazuje jednotlivé skupiny vstupů a výstupů, jenž zastupují různé funkce a jsou všechny spojeny čipem STM32 do jednoho celku.



Obr. 4.2: Blokové schéma druhé verze 2/2

Samotný návrh probíhal v programu Altium Designer. Tento program byl použit pro tvorbu schématu a desky tištěného spoje včetně jeho 3D modelu. Program samotný nabízí softwarový balíček, jenž je vhodný pro detailní zpracování schématu, desky tištěného spoje s propracovanou vizualizací s 3D modely, vývojem FPGA a exportováním datových informací včetně souborů pro výrobu samotné desky.

## 4.1 Schéma zařízení

V této podkapitole jsou blíže rozebrány jednotlivé skupiny připojené k mikrokontroléru UP 4000 a STM32. Tyto skupiny odpovídají jednotlivým blokům na obrázcích 4.1 a 4.2.

### Napájení

Master mikrokontrolér UP 4000 má na svém HAT konektoru vyvedenou napěťovou hladinu 3,3 V a 5 V. Tyto hladiny jsou dostatečně výkonnově nadimenzovány pro provoz připojených dolňkových zařízení. Pro to, aby byly vygenerovány, vyžaduje UP 4000 vstupní napájení 12 V přes DC konektor označený zkratkou CN11. Část komponentů z doplňkové sekce pak vyžaduje pro své správné fungování taktéž napěťovou hladinu 12 V. Je tak využito jediného přívodního napětí 12 V pro napájení UP 4000 včetně desky gateway. Napětí 1,8 V zmiňované a uváděné v kapitole 3.3

nebo na obrázku 3.5 nebylo použito, jelikož nejsou použity čipy vyžadující toto napětí. Přivedené napětí 12 V prochází přes filtr doplněný o TVS diodu. Stejně tak i vstupní napětí 5 V z desky UP 4000 prochází přes separátní filtr. Hladina napětí 3,3 V má filtr složený z feritové perly a skupiny kondenzátorů.

### **CN1 HAT konektor**

Jedná se o 40 pinový konektor, který příhodně svým rozložením přesně kopíruje ten, jenž se nachází na konkurenčním mikrokontroléru Raspberry Pi. V tomto případě by deska Raspberry Pi šla teoreticky také použít jako řídicí master. Na tomto konektoru je pak využíváno rozhraní SPI a UART.

### **CN15 konektor**

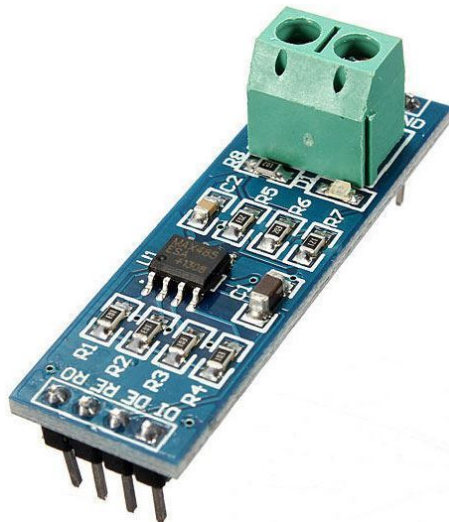
Doplňující SMD 10 pinový konektor s pomocí něhož jsou vyvedeny dvě USB 2.0 a jeden UART. Gateway využívá rozhraní USB pro doplňkovou komunikaci s čipem STM32. V cestě jsou vloženy rezistory s nulovým odporem pro možnost jednoduchého a rychlého odpojení. Rozhraní UART slouží pro připojení RS-485. Jedna dvojice datových pinů USB 2.0 je nevyužita a uchována jako rezerva pro případnou doplňkovou potřebu na implementování jiného separátního rozhraní či na vyvedení dalšího USB konektoru.

### **RS-485**

Komunikační rozhraní RS-485 bylo nakonec připojeno přímo na UART mikrokontroléru UP 4000 přes rezistory nulového odporu. Cílem tohoto připojení je následná jednoduchá implementace softwaru. Knihovny pro vytvoření RS-485 jsou volně ke stažení od jiných uživatelů pod označením open source a nemusí se tak tvořit pro cestu UP 4000, SPI, STM32 do transceiveru ISL83485IBZ-T. Zapojení je také doplněno o resetovatelné pojistky MINISMDC010F-2. Ty jsou implementovány v cestě RS-485 fungující na hladině 5 V včetně TVS diod. Ukázka příkladu desky RS-485 je na obrázku 4.3. Existuje více typů podobných zapojení. Některé desky vyžadují tři datové linky a to TX, RX včetně RTS (Ready To Send). Implementované zapojení v druhém prototypu eliminuje linku RTS. Celou správu komunikace po RS-485 rozhraní pak řeší čip samotný [72, 73]. Detailní zapojení z programu Altium je k dispozici v digitální příloze A.

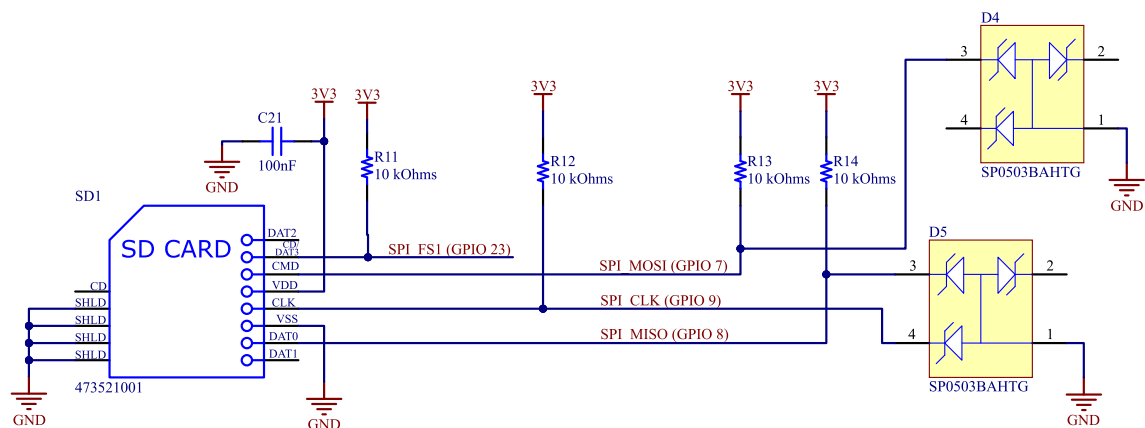
### **SD karta**

SD karta je připojena pomocí rozhraní SPI na samotnou desku UP 4000. Využívá tak pro toto spojení jeden z chip select pinů přítomných na HAT konektu CN1. Jedná



Obr. 4.3: Převodník TTL na RS-485 [74]

se o standardní zapojení SD karty pro komunikaci po SPI. Schéma obsahující SD kartu je zobrazeno na obrázku 4.4. Důležité bylo v tomto zapojení implementování pull-up rezistorů a chránících TVS diod [75, 76].

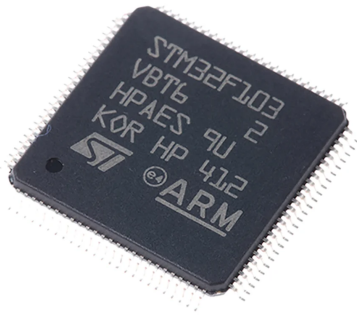


Obr. 4.4: Zapojení SD karty

## STM32

STM32 je použit jako podřadný mikrokontrolér pracující v režimu SPI slave. Tento čip vedený pod produktovým označením STM32F103VBT6 je založen na 32 bitovém procesoru ARM Cortex-M3. Pouzdro čipu bylo zvoleno LQFP100 o rozměrech 14 x 14 mm. Toto 100 pinové pouzdro je zobrazeno na obrázku 4.5 a nabízí dostatek všestranných GPIO pinů. Výčet, v rámci těchto GPIO pinů, připojitelných periférií je jeden CAN bus, tři USART, jedno USB, dva I<sup>2</sup>C a dva SPI. Dále má pak 128 KB Flash paměti a 20 KB interní RAM paměť [77, 78] .

Schématicky je k STM32 zapojeno vstupní napájení s dostatečným počtem kondenzátorů různé kapacity. Jako další jsou zapojeny dva krystaly. První 8 MHz je zapojen jako hlavní krystal celého čipu. Druhý, jenž není na prototypu osazen, je použit na RTC a pracuje na frekvenci 32,768 KHz. Implementováno je i resetovací tlačítko. Výstupní hřebínkové konektory jsou použity pro zvolení bootovacího režimu čipu a jeho programování či debugování. Komunikaci s master zařízením UP 4000 zajišťuje SPI s doplňkovým USB 2.0.



Obr. 4.5: Čip STM32 v pouzdře LQFP100 [87]

Mapa pinů pro zapojení čipu STM32 je rozdělena do dvou tabulek 4.1 a 4.2. První tabulka zobrazuje piny PA0-PC15. Druhá tabulka zobrazuje zbylé piny PD0-PE15. U každého pinu je ve sloupečku periferie definována jednotlivá skupina. Rozřazení a zapojování probíhalo postupným výběrem dle jednotlivých funkcí každého pinu. Postupovalo se od nejdůležitějších komunikačních rozhraní s nejvyšší prioritou až v poslední řadě k zapojení obyčejných dvojstavových vstupních či výstupních GPIO pinů.

### **CAN bus**

Jelikož čip STM32 disponuje rozhraním CAN bus na pinech PB8 a PB9, je nutné ho doplnit pouze vhodným transceiverem. Tuto funkci zajišťuje čip TJA1051T/3,118. Jedná se o čip, jenž vyžaduje pro svůj správný chod dvou napěťových hladin. Digitální část ze strany STM32 je připojena přes rezistory s nulovým odporem a pracuje na hladině 3,3 V. Strana již upraveného CAN bus signálu s diferenciálním párem CAN-N a CAN-P pracuje na hladině 5 V. Tato strana je napájena ze zdroje napětí 5 V. Zapojení je tak velmi jednoduché a nevyžaduje mnoho komponentů.

### **SSR relé**

SSR relé byly doplněny do schématu jako doplňková periferie a v první verzi prototypu se nepočítalo s jejich osazením. Použitý model SSR relé je MULTICOMP

Tab. 4.1: Mapa pinů pro zapojení STM32 periferie PA-PC

Pin	Periferie	Pin	Periferie	Pin	Periferie
PA0	SSR relé	PB0	Analog Out	PC0	-
PA1	SSR relé	PB1	Analog Out	PC1	-
PA2	PWM Out	PB2	Boot 1	PC2	-
PA3	PWM Out	PB3	-	PC3	-
PA4	Analog In	PB4	-	PC4	1-Wire
PA5	Analog In	PB5	-	PC5	1-Wire
PA6	Analog In	PB6	I <sup>2</sup> C	PC6	Digital Out
PA7	Analog In	PB7	I <sup>2</sup> C	PC7	Digital Out
PA8	-	PB8	CAN bus	PC8	-
PA9	RS-232	PB9	CAN bus	PC9	-
PA10	RS-232	PB10	-	PC10	-
PA11	USB 2.0	PB11	-	PC11	-
PA12	USB 2.0	PB12	HAT40 SPI	PC12	-
PA13	Ext 4 pin	PB13	HAT40 SPI	PC13	-
PA14	Ext 4 pin	PB14	HAT40 SPI	PC14	RTC
PA15	-	PB15	HAT40 SPI	PC15	RTC

PRO MCKSD380D5-W(037). Jedná se polovodičové relé, jenž je vybaveno spínáním Zero crossing. Dimenzováno je na spínání střídavého napětí 24 – 530 VAC při maximálním proudu 5 A. Dvojice GPIO pinů PA0 a PA1 je vyvedena přes rezistory s nulovým odporem na bázi tranzistoru 2SD1048-6-TB-E. Tento tranzistor je použit na spínání napětí 12 V pro aktivování SSR relé. Logika spínání je neobrácena tj. v případě logické nuly na pinu např. PA0 je SSR relé ve vypnutém stavu. Použití tohoto zapojení s relé je vhodné například na přímé spínání napájení zátěže do zdánlivého výkonu cca 1,1 kVA. Takovými spotřebiči mohou být menší přímotopné těleso, okruh osvětlení či jiné zařízení. V případě spínání většího výkonu je nutné zajistit dostatečné chlazení SSR relé přídatným externím chladičem.

## PWM

Pro tuto skupinu periferie byly vyčleněny piny mikrokontroléru STM32 PA2 a PA3. Ty jsou zapojeny přes rezistory s odporem 220  $\Omega$  na pin gate N-MOS tranzistoru AO3400. Piny PA2 a PA3 pracují v režimu výstupního PWM signálu. Tranzistor je spínán dle jednotlivých pulzů definovaných z STM32 výstupu. Drain tranzistoru je připojen k zařízení, jež je řízeno pomocí definované napěťové hladiny. Na výběr je z napětí 3,3, 5 nebo 12 V. Definování tohoto napětí je pro každý PWM výstup

Tab. 4.2: Mapa pinů pro zapojení STM32 periferie PD-PE

Pin	Periferie	Pin	Periferie
PD0	-	PE0	CAN bus
PD1	-	PE1	Led INT
PD2	-	PE2	-
PD3	-	PE3	-
PD4	-	PE4	-
PD5	-	PE5	-
PD6	-	PE6	-
PD7	EEPROM	PE7	Analog Out
PD8	Digital In	PE8	Analog Out
PD9	Digital In	PE9	Analog Out
PD10	Digital In	PE10	Analog Out
PD11	Digital In	PE11	Analog Out
PD12	Digital Out	PE12	Analog Out
PD13	Digital Out	PE13	Analog Out
PD14	Digital Out	PE14	Analog Out
PD15	Digital Out	PE15	-

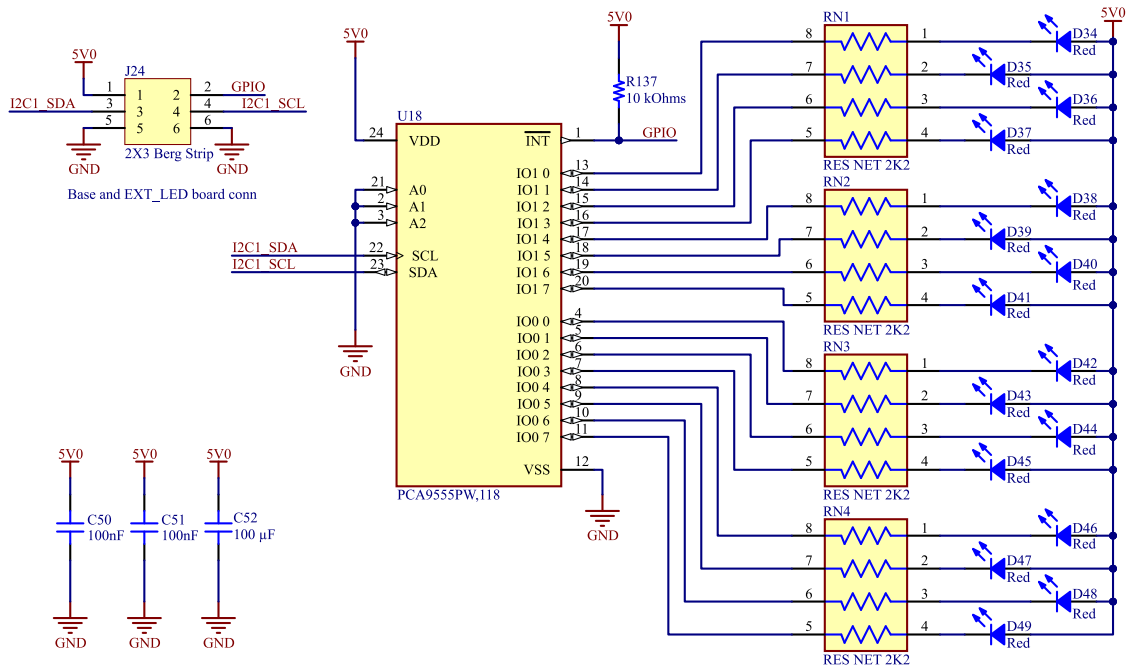
separátně nastaveno příslušnou pájecí ploškou.

## EEPROM

Elektronicky vymazatelná paměť pouze pro čtení byla přidána na sběrnici I<sup>2</sup>C. Zapojení této sběrnice můžeme vidět na obrázku 4.2 a také v tabulce 4.1 a 4.2. Využívá se čipu AT24C01D-SSHM-T. Ten je napájen 3,3 V, je interně organizován do 128 bloků po 8 bitech a celková jeho vnitřní paměť odpovídá velikosti 1024 kbit. Na pouzdro čipu je vyveden i pin PD7, jenž zajišťuje možné zablokování přepisu a změnu dat nacházejících se v této paměti. Jedná se o pin WP EEPROM čipu číslo 7. Adresa tohoto zařízení byla nastavena pomocí pinů A2, A1 a A0 na hodnotu binárního čísla 0b1010010. První čtyři bity této adresy označují identifikátor typu zařízení a zbylé tři označují bity nastavené fyzicky na pinech čipu. Adresa čipu je odesílána v bajtu, kde je za sedmibitovou adresou posílán bit definující zápis nebo čtení hodnot.

## 1-Wire

Piny pod označením PC4 a PC5, které jsou definovány v tabulce 4.1, jsou přivedeny přes rezistory s nulovým odporem na výstupní konektor přes napěťový dělič 3,3 kΩ



Obr. 4.6: Zapojení skupiny LED diod

a 120  $\Omega$ . Dále je na této lince připojena TVS dioda PESD3V3L1BA,115. Jedná se o piny umožňující převod analogově spojitě hodnoty do digitální podoby. Desce je tak díky této sběrnici umožněno získávání dat ze záznamových zařízení teploty, senzorů napětí a proudu, stavů baterií a nebo paměti.

## Led GPIO

Informace o stavech jednotlivých sběrnic, napěťových hladin a uživatelem sledovaných proměnných je důležitá. Obvod zajišťující tuto funkci, skupinu plně programovatelných indikačních LED diod, je vytvořen pomocí čipu PCA9555PW,118. Jedná se o čip společnosti NXP. Připojen je na sběrnici I<sup>2</sup>C jak je i vidět na obrázku 4.2 nebo 4.6. Tento I/O expandér poskytuje 16 GPIO pinů s proudovou kapacitou pro přímé napájení všech LED diod. Ty jsou zapojeny přes síť rezistorů hodnoty 2,2 k $\Omega$  na napětí 5 V. Jejich aktivace tak probíhá sepnutím příslušného pinu do logické nuly. Výstupní interrupt pin čipu je přiveden na STM32 pin PE1. Adresa pro komunikaci je nastavena na binární číslo s hodnotou 0b0100000. Po provedení úvodní sekvence je posílána od MSB. Za poslanou bitovou adresou následuje bit R/W. Výsledkem je tedy zaslání bajtu s adresou příslušného čipu a pokynem pro provedení operace čtení nebo zápisu do registru.

Hřebínkový konektor 2x3 s vyvedenou sběrnici I<sup>2</sup>C, tj. SDA a SCL, zemí, napájením 5 V a interrupt pinem INT je využit pro připojení k hlavní DPS s STM32. Druhý konektor stejného typu a uspořádání signálových pinů se nachází na desce



tištěného spoje blíže čipu STM32. Jelikož je vhodné umístit LED signalizaci pro uživatele na viditelné místo, je s touto skutečností i v rámci druhého prototypu počítáno. Na jedné desce tištěného spoje jsou tak oba 6 pinové konektory, ale obvody jsou signálově odděleny. Skupina LED diod bude uvedena do provozu až vzájemným spojením obou konektorů drátovou propojkou.

## RS-232

V rámci další skupiny z požadavků uvedených v kapitole 2.4.5 je zpracován obvod umožňující komunikaci po rozhraní RS-232. Jádrem tohoto zapojení je linkový budič a přijímač v jednom pod označením MAX3232CDR. V těle čipu se nachází dvojice RS-232 přijímačů a vysílačů signálu. V rámci tohoto prototypu je využíván pouze jeden ze dvojice. Samotné zapojení je vytvořeno dle doporučení od výrobce uvedené v technické dokumentaci čipu dostupné ze stránky [79]. Zapojení je doplněno o TVS diody SMBJ8.0CA zapojené na linkách TX a RX a také o sériově vložené rezistory hodnoty 330  $\Omega$ . Doplnění obvodu je popsáno v článku [80]. Touto úpravou se zajistí lepší ESD ochrana, která prodlouží životnost chodu celého obvodu.

## Analogový vstup

Vstup pro vyčítání spojitě úrovně napětí nebo průchozího proudu byl vytvořen aplikováním napěťového děliče získaného z resistoru hodnoty 44 k $\Omega$  a 22 k $\Omega$ . Díky tomuto děliči se tak získá na jeho výstupu třetinová hodnota té vstupní. Pokud je na vstup přivedeno napětí rozsahu 0 – 10 V, jeho hodnota je upravena díky napěťovému děliči na rozsah 0 – 3,33 V. Tento rozsah pak přesně splňuje požadavky maximálního analogového vstupu na pin mikrokontroléru STM32. Na vstupní pin je paralelně připojena silikonová schottky dioda BAS70-05 na zem a napájecí napětí.

V případě, že je nutné vyčítat proud v proudové smyčce o rozsahu velikosti 0 – 20 mA nebo 4 – 20 mA, je vstup přepnut a přiveden na precizní, teplotně stálý rezistor. Jeho hodnotu je vhodné zvolit buď 100  $\Omega$  nebo 150  $\Omega$ . V prvním případě vytvoří maximální možný protékající proud úbytek 2 V. V druhém případě je výsledný úbytek napětí na rezistoru 3 V. Do prototypu byl zvolen rezistor s hodnotou odporu 100  $\Omega$ . Není tak v konečném důsledku zaplněn celý potenciálně možný rozsah vstupního analogově digitálního převodníku mikrokontroléru SMT32. Dlouhodobějším testováním proběhne ověření zda je tato možnost dostačující i v rámci měřící přesnosti mikrokontroléru[83].

Oba výstupy, ať už z děliče napětí nebo precizního rezistoru, jsou přivedeny na napěťový sledovač vytvořený pomocí čipu LM2904M. Na výstupu je doplněn o sériový rezistor 22 k $\Omega$  a paralelně připojenou schottky diodu BAS70-05 na napájecí napětí a zem. Díky tomuto zapojení je tak zabráněno průniku vysokých transientů

větších než napájecí napětí na pin mikrokontroléru STM32. Sériově zapojený rezistor  $0 \Omega$  spojuje výstup z celé skupiny vyčítání analogové hodnoty a pinu STM32. Jeho použití je pro rychlé odpojení či připojení při testování.

Za přepínání, zda je na vstup přivedeno napětí nebo je uzavřena proudová smyčka, zodpovídá čip CD4053BM96. Jedná se o analogový čip pracující na úrovni CMOS. Má tři vstupní kontrolní piny A B C, jež ovládají tři DPST přepínače. Tyto přepínače zároveň mají globální INH kontrolní pin pro odpojení všech spojených vstupů s jednotlivými výstupy. Výstupní úroveň čipu STM32 z pinů PA6 a PA7 spíná přes tranzistor BC847C napětí pro kontrolní pin A a C čipu CD4053. Detailní schéma celého analogového obvodu je uvedeno v příloze A této práce.

### **Analogový výstup**

Výstupní pin PB0 a PB1 mikrokontroléru STM32 zastává funkci generátoru PWM signálu. Generovaný signál prochází přes rezistor nulového odporu a neinvertující zesilovač s LM2904M až na filtr dolní propusti. Rezistor nulového odporu slouží i zde jako možnost odpojení obvodové skupiny analogového výstupu od zbytku komponentů pro testování. Neuinvertujícím zesilovačem s nastaveným zesílením 1,5 dostaneme na jeho výstupu PWM signál o rozsahu 0–5 V. Toto zapojení je pak přivedeno na filtr dolní propusti, která udělá analogově spojitou úroveň stejnosměrného napětí. Signál je poté přiveden na operační zesilovač LM2904M s funkcí výstupního budiče linky. Do tohoto zesilovače je přivedena i zpětná vazba a to jak v provozu výstupního napětí tak proudu. Tato proudová zpětná vazba je získána ze zesilovače LM2904M zapojeného jako diferenciální zesilovač využívající  $100 \Omega$  rezistor pro sledování procházeného proudu.

Jelikož je velikost výstupního napětí v maximálním rozsahu 0–10 V bylo potřeba nadimenzovat komponenty pro napájení 12 V. Je tak zajištěno, že všechny obvody budou schopny s touto hodnotou pracovat a nebude na vstupních pinech zesilovačů hodnota omezena napájecím napětím čipů [83].

V této části obvodu bylo, stejně jako v analogově vstupním, potřeba digitálně řízených přepínačů. Dle nutných požadavků byl zvolen čip MC74HC4066ADG. Tento čip poskytuje spínání signálů až do hodnoty svého napájení a nízký odpor sepnutých kontaktů. V jeho těle se nachází čtyři analogové spínače. Ty jsou využívány v rámci tohoto obvodu na definování minimálních a maximálních veličin na výstupu. Piny PE7 až PE14 jsou využívány pro logické ovládání jednotlivých přepínačů v čipu. Jelikož čip vyžaduje napětí těchto ovládacích vstupů blízké svému napětí, bylo nutné vytvořit spínání 12 V. Výstupy z STM32 spínají tranzistory BC847C. Přes tranzistory je pak přiváděno napětí 12 V na ovládací vstupy čipu MC74HC4066. Toto spínání pak obrací výstupní logiku z STM32 tzn. při logické jedničce např. na pinu

Tab. 4.3: Logická mapa fungování přepínačů

Výstup	SW1	SW2	SW3	SW4
0 – 5 V		ON		
1 – 5 V		ON	ON	
0 – 10 V	ON	ON		
2 – 10 V	ON	ON	ON	
0 – 10 mA				ON
2 – 10 mA			ON	ON
0 – 20 mA	ON			ON
4 – 20 mA	ON		ON	ON

PE8 se odpovídající přepínač rozepne.

Logická mapa popisující výstupní pracovní režim dle sepnutých přepínačů je zobrazena v tabulce 4.3. Je z ní zřejmé, že přepínače SW2 a SW4 určují zda se jedná o výstup napětí nebo proudu. Přepínač SW1 určuje zda se zapne přídavné zesílení na výstupním budiči LM2904M a SW3 definuje zda je počáteční hodnota nulová nebo posunutá na nenulovou minimální hodnotu dle výstupní veličiny. Detailní rozkreslení schématu je uvedeno v příloze A této práce [83].

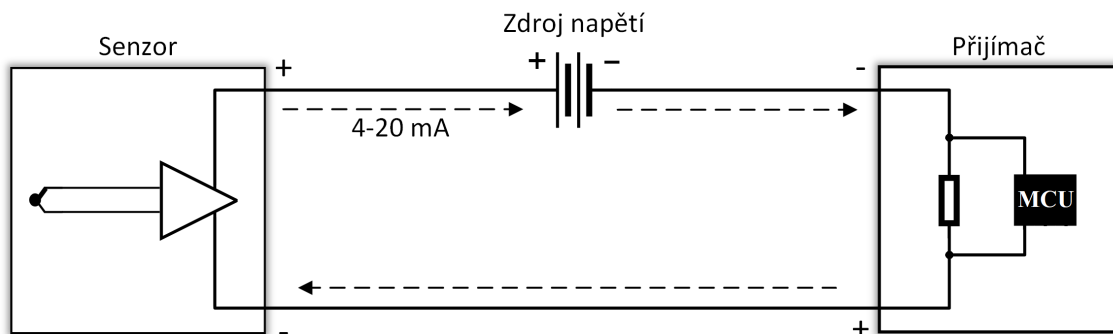
Volba těchto výstupních veličin je důležitá, protože některá zařízení pracují s proudem a jiná s napětím. U proudové smyčky je také možnost řízení zařízení již od nulové hodnoty proudu. Tento obvod byl testován v simulačním programu LTspice XVII. Přílohová část A obsahuje příložený soubor se spustitelnou simulací. Ze simulací bylo zjištěno, že maximální odpor představující dokončení proudové smyčky může být až  $380 \Omega$ . Jedná se tak o hraniční hodnotu odporu celé smyčky, do kterého je schopný výstupní budič dodávat maximální proud 20 mA [82].

Na rozdíl od výstupních budičů nacházejících se v tlakových čidlech, čidlech hladiny vody apod. není potřeba do proudové smyčky vkládat sérový zdroj napětí např. 24 V. Příklad takového obvodu je možné vidět na obrázku 4.7 [81, 82]. Verze použitého obvodu v druhém prototypu nahrazuje funkci senzoru včetně zdroje napětí.

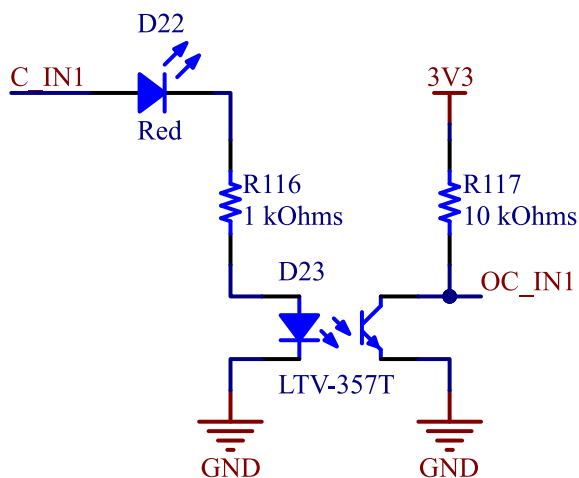
## Digitální vstup

Digitální vstupy a výstupy zaujímají pouze dvě stavové hodnoty na lince. Prvním stavem je hodnota logické jedničky neboli high a druhou je hodnota logické nuly neboli low. Druhý prototyp je vybaven celkem čtyřmi digitálními vstupy a čtyřmi výstupy. Jejich široké použití je vhodné pro spínání nebo vyčítání z různých zařízení.

Provedení digitálního vstupu bylo vytvořeno s cílem jednoduchosti a minimálního počtu komponentů. Každý z digitálních vstupů je přiveden na červenou indikační



Obr. 4.7: Zapojení proudové smyčky s čidlem [81]



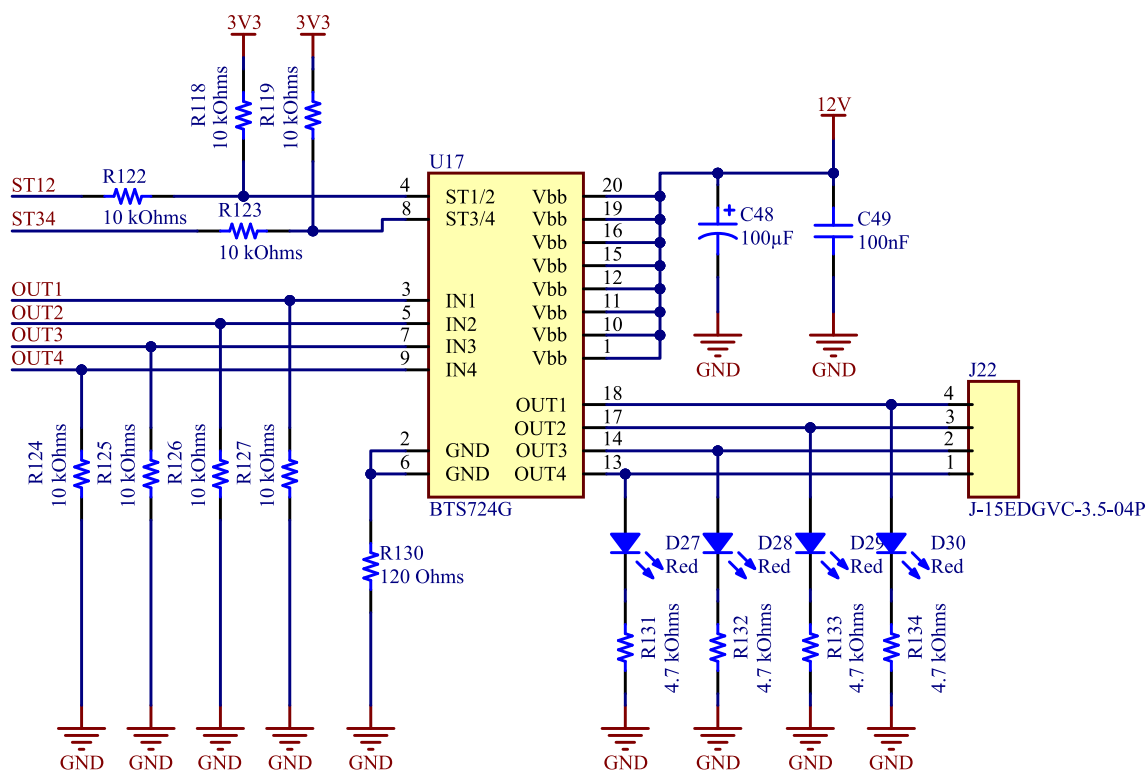
Obr. 4.8: Zapojení digitálního vstupu v Altium

LED diodu. K ní je v sérii vřazen rezistor s hodnotu  $1\text{ k}\Omega$ . Za tímto rezistorem je poté vstupní část optoizolátoru LTV-357T-D. Optoizolátor obrací logiku vstupního digitálního vstupu. Pokud se tedy objeví na vstupu napětí představující logickou jedničku, výstup optoizolátoru na pin mikrokontroléru přivede logickou nulu. Červená LED dioda zapojená na vstupní straně obvodu viditelně indikuje stav vstupu. Na mikrokontroléru STM32 jsou jako vstupní piny použity piny PD8-PD11. Tyto informace jsou přehledně zaznačeny i v tabulce mapy pinů 4.2.

Výše popsané schéma je zobrazeno na obrázku 4.8. Na tom je zobrazen jeden ze čtyř digitálních vstupů. Výhodou použití optoizolátoru je ochrana vstupních pinů čipu STM32. Vstup z konektoru je označen na obrázku jako C\_IN1 a výstup, jenž je přiveden pak přímo na pin mikrokontroléru, je označen OC\_IN1.

### Digitální výstup

U digitálních výstupů je využíván čip BTS724G. Jedná se o čip, který je možné ovládat přímo pomocí mikrokontroléru. Sepnutí jeho kontaktů představuje odpor



Obr. 4.9: Zapojení digitálních výstupů v Altium

ve velikosti 90 mΩ. Proudová limitace je dle technické dokumentace 12 A. Použití tohoto čipu je vhodné pro všechny typy zátěží (rezistivní, induktivní i kapacitní). Další je použití pro zátěže s velkým náběžným proudem a jako náhrada za elektromechanické relé a diskrétní obvody. Konstrukce pouzdra čipu poskytuje oddělené země pro logickou část mikrokontroléru a země pro zátěž. Touto konstrukcí se eliminují zemní smyčky.

Výstupní piny z mikrokontroléru STM32 pod označením PC6, PC7, PD12-PD15 jsou zobrazeny jak v tabulce 4.1 a 4.2, tak i na obrázku 4.9. Pro napájení čipu byla zvolena nejvyšší možná hodnota napětí v druhém prototypu tj. 12 V. Jelikož je počítáno s většími proudy výstupů, je u napájecích pinů Vbb přidán 100 µF kondenzátor. Všechny výstupní piny z mikrokontroléru STM32 jsou vybaveny pull-down rezistory. Zapojení země čipu přes rezistor bylo provedeno dle technické dokumentace [84]. Piny ST1/2 a ST3/4 plní funkci diagnostické zpětné vazby. V případě poruchy na jednotlivých kanálech budou jejich hodnoty v logické nule. Samotné výstupy mají paralelně připojenou LED diodu s rezistorem hodnoty 4,7 kΩ. Proud LED diodou je tak omezen na přibližnou hodnotu 2,5 mA.

## 4.2 Rozvržení schéma v Altium

Celý projekt této desky v programu Altium Designer je rozdělen na 10 schématických listů a jeden soubor obsahující desku tištěného spoje. V tabulce 4.4 jsou zobrazeny názvy jednotlivých schématických listů s informací jakou část obvodu/periferii obsahují.

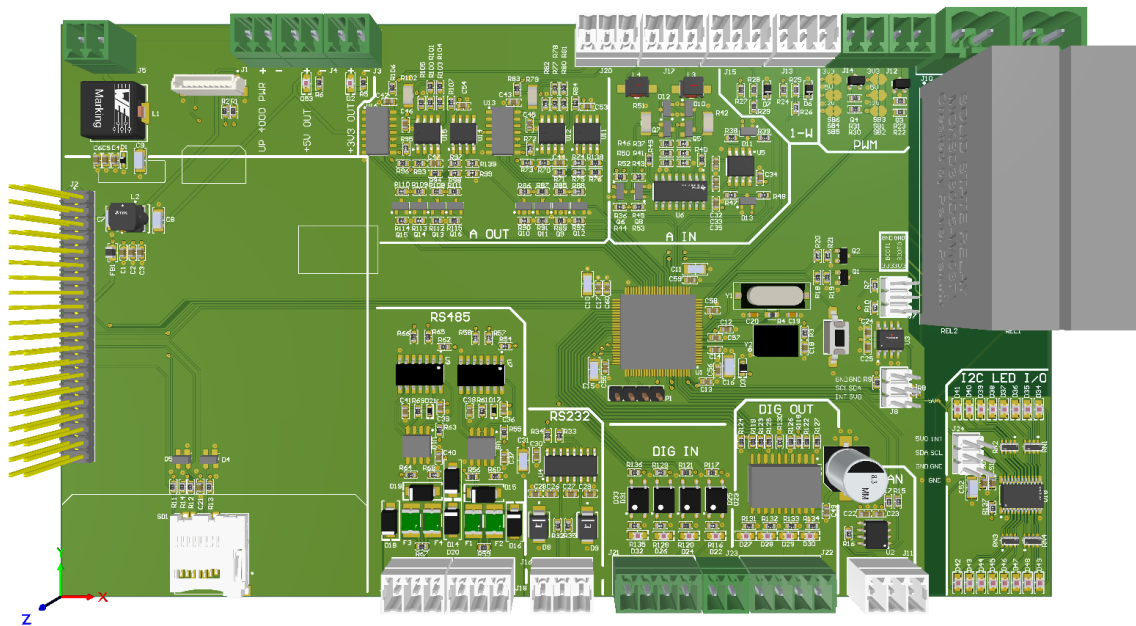
Tab. 4.4: Seznam souborů z projektu v Altium

Číslo	Název	Obsah
1	gt_HAT40	konektory CN1, CN15, napájecí
2	gt_STM32_mcu	STM32, konektory I <sup>2</sup> C a BOOT
3	gt_SD_CAN_SSR	SD karta, CAN bus, SSR relé
4	gt_PWM_1W_EEPROM	PWM výstup, 1-Wire, EEPROM
5	gt_RS232	RS-232
6	gt_Analog_IN	Analogové vstupy
7	gt_RS485	RS-485
8	gt_Analog_OUT	Analogové výstupy
9	gt_DIGITAL_IO	Digitální vstupy a výstupy
10	ext_gt_LED	I <sup>2</sup> C obvod s LED diodami
DPS	gt_PCB	Deska tištěného spoje

## 4.3 DPS prototypu

Deska byla vytvořena jako čtyřvrstvá konstrukce dle dostupných specifikací z [85]. Zároveň byly nastaveny i pravidla minimálních vzdáleností, která je výrobce schopen dodržet a vykonat. Jednotlivé vrstvy pak byly TOP vrstva pro signálové spoje, vrstva GND, vrstva PWR pro vedení všech napájení na hladinách 3,3 V, 5 V & 12 V a poslední spodní vrstva BOTTOM byla použita také pro signálové spoje. Na obě signálové vrstvy byl aplikován polygon GND. Rozměr DPS prototypu je 187 x 108 mm.

Průběh tvorby desky tištěného spoje probíhal v rozdělení všech naimportovaných komponentů ze schémat do jednotlivých skupin dle jejich funkce. Vytvořilo se tak 13 skupin. Ke každé skupině se přistupovalo individuálně v rozmístění jejich komponentů. Z těchto již rozřazených a uspořádaných skupin se začal tvořit celek samotné desky. V mnoha případech bylo nutné uspořádání pozměnit z důvodu zjednodušení vedení jednotlivých spojů např. od čipu STM32 k jednotlivé skupině. Tímto krokem



Obr. 4.10: Vizualizace DPS v Altium

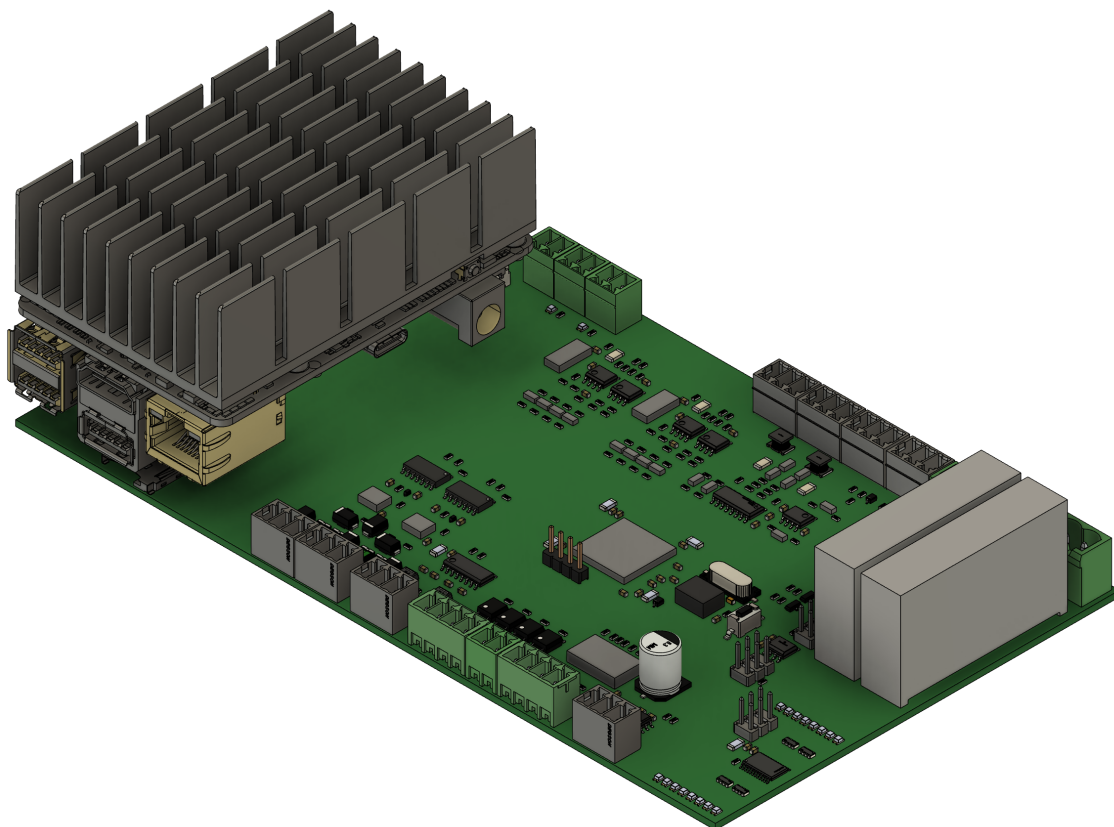
se eliminovala křížení spojů, která by se musela vyřešit s pomocí spodní bottom vrstvy.

### 4.3.1 Rozvržení desky

Vizualizace druhého prototypu je zobrazena na obrázku 4.10. Z tohoto obrázku jsou jasně viditelné jednotlivé skupiny od UP 4000 master mikrokontroléru až po skupinu PWM. Kvůli snadnějšímu přístupu pro testování a měření byly ponechány mezi skupinami a samotnými komponenty větší rozestupy.

V levé části desky se nachází konektor HAT pro připojení UP 4000. V dolní části vymezené pro tento mikrokontrolér je umístěno pouzdro s pasivními komponenty pro připojení SD karty. Nad mikrokontrolérem UP 4000 je sekce s filtry vstupního napájení a samotným konektorem pro vstup napájení 12 V. Trojice konektorů nacházejících se napravo od vstupního je v pořadí 12 V pro napájení UP 4000 a výstupní konektor 5 V a 3,3 V. Tyto dva výstupní konektory slouží k napájení možných externích obvodu při testování. Bílý 10 pinový konektor CN15 je v této části desky také umístěn.

Dále se nachází skupiny RS-485, RS-232, digitální vstupy a výstupy, CAN bus a LED na dolní části desky prototypu. LED skupina je spojena pouze napájením. Signálový spoj je nutné vytvořit pomocí příslušných drátových propojů. Střední část desky je využita pro slave mikrokontrolér STM32 s přidavnými obvody externích krystalových oscilátorů a resetovacím tlačítkem včetně BOOT konektoru.



Obr. 4.11: 3D vizualizace prototypu 1/3

Horní polovina desky prototypu obsahuje skupiny analogých výstupů a vstupů, 1-Wire, PWM a dvojici SSR relé. Jelikož tyto relé mohou pracovat i se střídavým napětím 230 V AC, byl na desce vytvořen frézovaný předěl pro dodržení minimální izolační vzdálenosti nízkonapěťové a vysokonapěťové části.

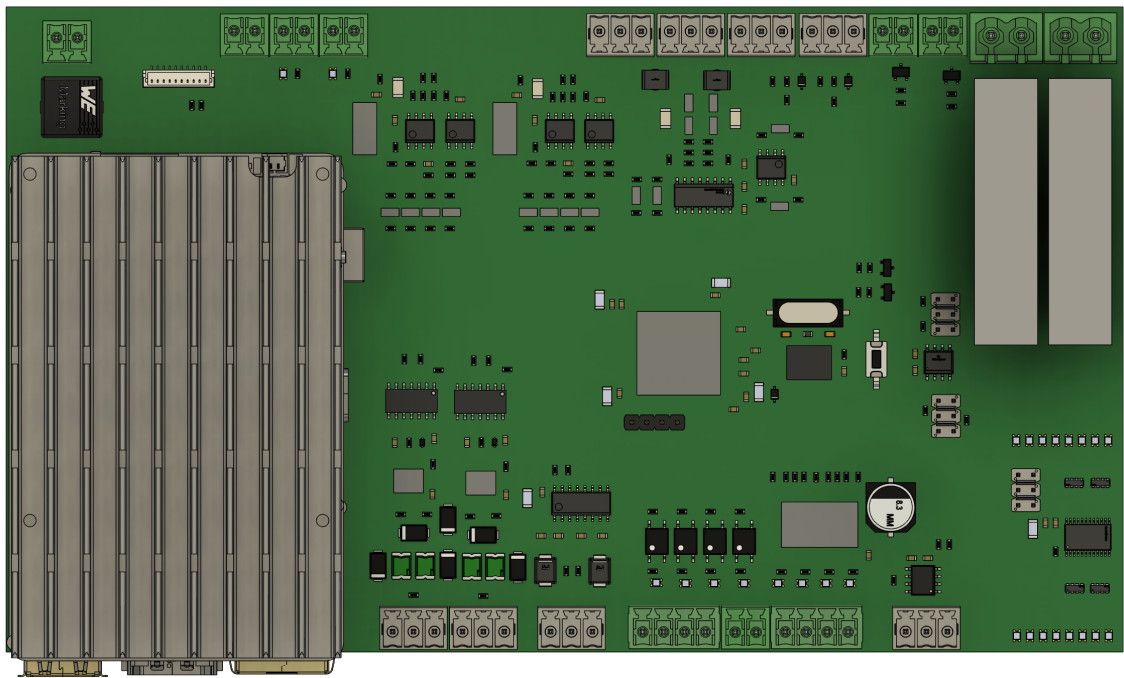
### 4.3.2 Prototyp s UP 4000

Pro lepší vizualizaci byl vytvořen 3D model představující kombinaci mikrokontroléru UP 4000 včetně chladiče a desky druhého prototypu. Série obrázků zobrazuje pohled v prostoru 4.11, shora 4.13 a zepředu 4.12. Napájení desky UP 4000 bude připojeno na její DC konektor z výstupního napájecího konektoru 12 V nacházejícího se na desce prototypu.

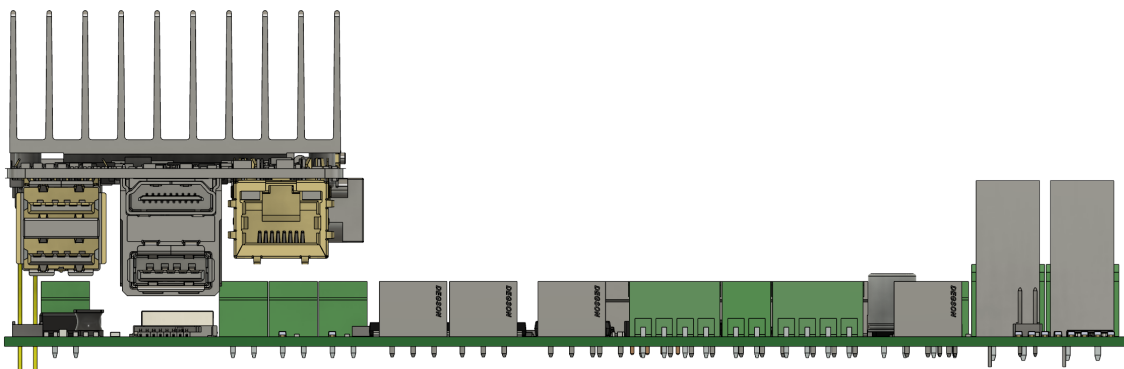
### 4.3.3 Kontrola DPS a její výroba

V programu Altium Designer bylo využito kontroly Design Rule Check. Jedná se o kontrolu, která dle obecných zadaných pravidel a pravidel vytvořených uživatelem pro specifické části DPS kontroluje jejich porušení. Tyto porušení pravidel jsou poté





Obr. 4.12: 3D vizualizace prototypu 2/3



Obr. 4.13: 3D vizualizace prototypu 3/3

rozepsány do 17 podkategorií ve výstupním dokumentu. Tento dokument se svými podkategoriemi je obsažen v příloze A. Jedná se o dokument html jenž je plně interaktivní a po kliknutí na jedno z porušení se na obrazovce zobrazí přesné místo s jasným vymezením např. vzájemných vzdáleností, které jsou překročeny. Díky tomuto nástroji přijde uživatel programu na chyby v DPS, které jsou například překryty jinou vrstvou nebo komponentem a nebylo by možné na ně tak jednoduchou analýzou pohledu přijít. Tímto způsobem se eliminují chyby a nepřesnosti v návrhu DPS.

V rámci dokumentu s kontrolou DRC zobrazené v příloze A je porušení pravidel v podkategorii Silk to Solder Mask. V překladu se jedná o potisk vytvořený sítotiskem a pájecích plošek potažmo pájecí masky v doslovném překladu. Tyto dvě chyby jsou způsobeny komponentem feritového jádra. Ten je použit ve vstupním filtru pro napájení. Jeho model s tělem 0805 byl pravděpodobně vytvořen pro použití na DPS s menšími minimálními vzdálenostmi mezi těmito dvěma vrstvami. Tyto dvě porušení pravidel nejsou pro desku nikterak zásadní a neovlivní její funkčnost.

## 4.4 Cena prototypu

Výroba desky byla zadána firmě specializující se výrobu a strojové osazování DPS. Samotná čtyřvrstvá deska tištěného spoje při objednávce 5 ks vycházela na 43,95 \$. Při rozpočítání tak jedna deska vyšla na 8,8 \$. Po přepočtu při kurzu 1 \$ = 22 Kč, její cena pak odpovídá 193,4 Kč.

Ekonomické osazení dvou DPS stálo 211,4 \$. V této ceně je zahrnut poplatek za nastavení, výrobu šablony, samotné komponenty, rozšířený poplatek za komponenty, ruční osazení komponentů THT a strojní osazení SMT komponentů. Cena jedné plně osazené DPS desky se všemi komponenty vycházela na 2325,6 Kč (105,7 \$).

Celková cena kompletního prototypu je rozepsána v tabulce 4.5. Všechny uvedené ceny jsou bez DPH. Do této ceny není započítáno potřebné poštovné.

## 4.5 Konkurenceschopnost prototypu

Pro přehledné zobrazení porovnání pěti výrobků od výrobců Unipi, iCOOL4 a Lo-xone byly vytvořeny dvě tabulky. V těchto tabulkách jsou uvedeny dohledatelné informace o jednotlivých výrobcích pro přehledné vzájemné porovnání. První tabulka zobrazuje porovnání Unipi Patron S167 LTE, Unipi Patron M207 a iCOOL4 CP-2005.11NSLN. Druhá tabulka pak obsahuje porovnání Unipi Neuron S103, LO-XONE Minisever a samotného prototypu 1.0.

Tab. 4.5: Cena jednotlivých částí prototypu

Položka	Cena v \$	Cena v Kč
DPS deska	8,8	193,4
Osazení komponenty	105,7	2325,6
UP 4000	219,0	4818,0
UP rozšiřující deska	24,9	547,8
Zdroj 12 V@5A	12,9	283,8
Doplňky	10	220
Součet:	381,3	8388,6

Při bližším ohledání obou tabulek se svou technologickou výbavou nejbližší přibližuje prototypu 1.0 výrobek Unipi Neuron S103. Technologicky vybavenější je prototyp 1.0 a to ve vícero kategoriích. Mezi tyto kategorie patří analogové vstupy, analogové výstupy, rozhraní RS-485, rozhraní RS-232, sběrnice 1-Wire, CAN bus, PWM výstup a SSR relé. Zároveň má prototyp 1.0 díky rozšiřující externí desce možnost 5G připojení.

LOXONE se svým miniserverem má menší počet portů a zaostává tak za prototypem 1.0. Některé rozhraní v základním modelu úplně postrádá a některé další informace nebyly dohledatelné na jeho webových stránkách. Co se týče zbylých tří výrobků od Unipi a iCOOL4, Unipi Patron S167 LTE se svými porty vstupů a výstupů velice blíží prototypu 1.0. Třetí a poslední zastupující výrobek firmy Unipi nabízí velký počet digitálních vstupů a releových výstupů. Ve zbylých vlastnostech pak kopíruje výrobek Patron S167 LTE, až na absenci LTE konektivity. Poslední zástupce od firmy iCOOL4 představuje slabší vnitřní výpočetní jednotku s dedikovanou pamětí a absencí některých rozhraní. Část funkcí je pak na této jednotce na vstupních a výstupních konektorech zdvojená.

## 4.6 Oživení prototypu

Oživení je proces, kterým je označována činnost zprovoznění elektronického zařízení. Před tím, než je přivedeno napájecí napětí do testovaného obvodu, je nutné ohledat DPS opticky. Při tomto kroku je důležité ohledání každého detailu a nesrovnalosti. Vhodné je použití speciálních zvětšovačů a mikroskopů určených pro laboratorní práci na elektronických obvodech. V případě zjištění jakýchkoliv nesrovnalostí a anomálií je nutné je odstranit. Jakmile osazená deska tištěného spoje prošla přes optické ohledání, je vhodné přejít na test pomocí multimetru v režimu kontinuity a měření odporu. Tímto nástrojem je tak ověřeno propojení komponentů, které

Tab. 4.6: Porovnání konkurence 1/2

Výrobce	Unipi	Unipi	iCOOL4
Vlastnost/Model	Patron S167 LTE	Patron M207	CP-2005.11NSLN
Digitální vstupy	4	20	6x AI/DI
Digitální výstupy	4	4	6
Reléové výstupy	-	14	viz DO
Analogové vstupy	1	1	viz DI
Analogové výstupy	1	1	2
Rozhraní RS-485	2	2	-
Rozhraní RS-232	-	1	-
Směrnice 1-Wire	1	1	-
Ethernet	100 Mbit	100 Mbit	100 Mbit
SD karta	-	-	ano
SSR relé	-	-	-
PWM výstup	-	-	-
CAN bus	-	-	1
RAM	1 GB	1 GB	16 MB
eMMC	8 GB	8 GB	128 MB
USB	2x USB 2.0	2x USB 2.0	1x USB Type-A 1x USB micro
LTE/5G	ano	-	ano
WiFi	-	-	ano

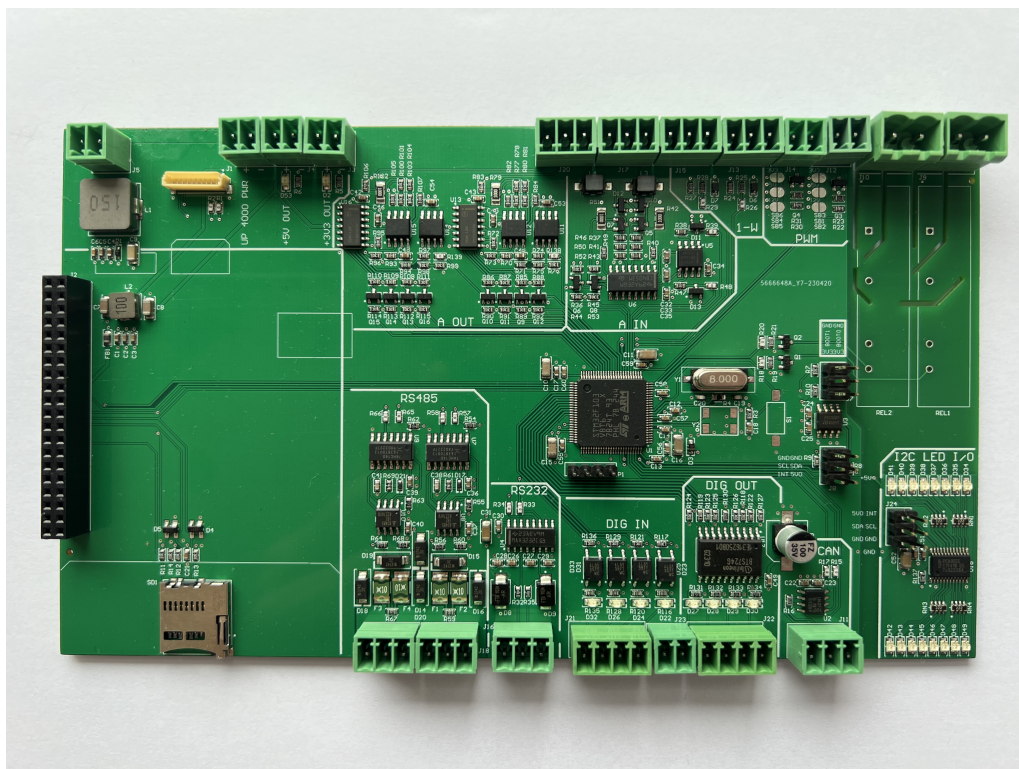
mají být vodivě propojeny. Při využití měření odporu je zkontrolována nespojitost komponentů pomocí zobrazené hodnoty v řádech  $M\Omega$  na display měřícího přístroje.

Pomocí laboratorního zdroje s nastaveným maximálním výstupním proudem na vhodně zvolené hodnotě je přivedeno napětí do testovaného obvodu. Pokud byly všechny předchozí kroky ohledání řádně provedeny, hodnota proudu, kterou obvod odebírá, nepřekročila nastavenou hodnotu. Tímto postupem se předešlo např. proudovým špičkám s možným zničením citlivějších komponentů. V případě, že se některé komponenty začaly zahřívat a začal z nich stoupat kouř, okamžitě je nutné vypnout přívodní napětí do obvodu. Následujícím krokem je ohledání problému a jeho odstranění.

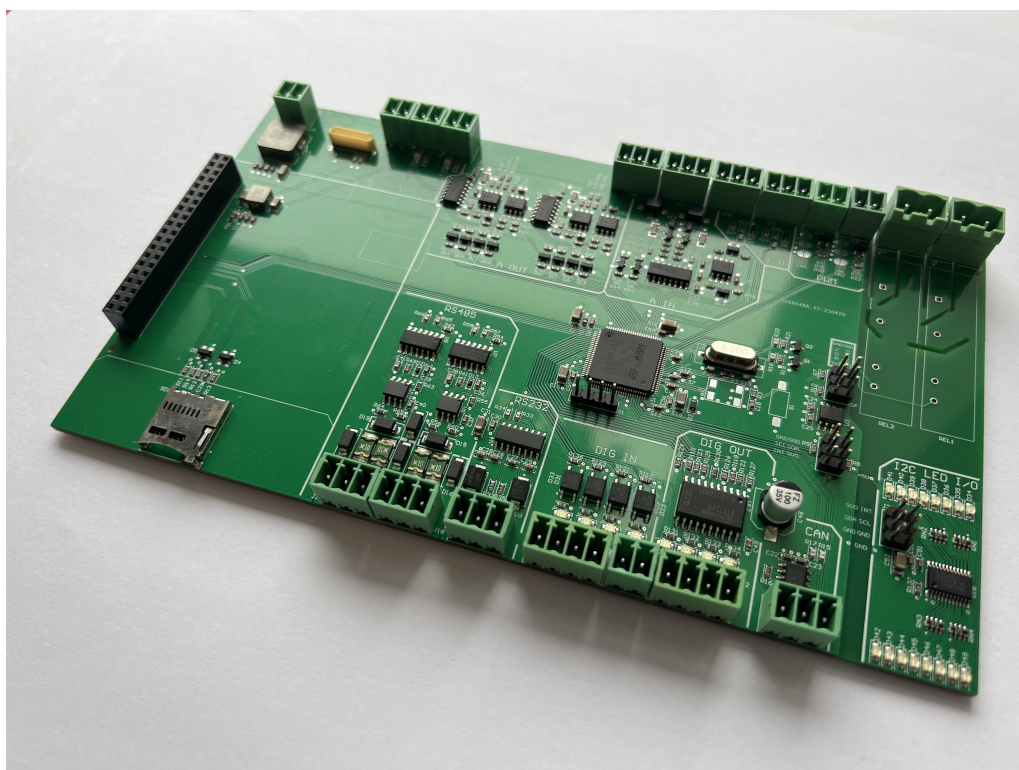
Strojově osazená druhá verze prototypu byla opticky ohledána a oživena bez dalších doplňujících komplikací. Na obrázcích 4.14 a 4.15 je zobrazen vyhotovený prototyp 1.0 popisovaný v této kapitole. Dále v textu je popsána jeho implementace do testovaného prototypu polygonu.

Tab. 4.7: Porovnání konkurence 2/2

Výrobce	Unipi	LOXONE	VUT
Vlastnost/Model	Neuron S103	Miniserver	prototyp 1.0
Digitální vstupy	4	8	4
Digitální výstupy	4	8	4
Reléové výstupy	-	viz DO	-
Analogové vstupy	1	4	2
Analogové výstupy	1	-	2
Rozhraní RS-485	1	-	2
Rozhraní RS-232	-	-	1
Směrnice 1-Wire	1	-	2
Ethernet	1 Gbit	100 Mbit	1 Gbit
SD karta	ano	ano	ano
SSR relé	-	-	2
PWM výstup	-	-	2
CAN bus	-	-	1
RAM	4 GB	neuvedeno	4 GB
eMMC	32 GB	neuvedeno	32 GB
USB	2x USB 2.0 2x USB 3.0	-	3x USB 3.2 Gen1 Type-A 1x USB 3.2 Gen1 Type-C
LTE/5G	-	-	ano
WiFi	ano	-	ano



Obr. 4.14: Ukázka prototypu 1.0 1/2



Obr. 4.15: Ukázka prototypu 1.0 2/2

## 5 Druhá verze polygonu

V této kapitole je popsán testovací polygon pro gateway. Ten je složen z jednotlivých bloků. Každý blok pak představuje určitý výrobek.

Toto zapojení bylo sestaveno tak, aby představovalo charakteristické modelové zapojení odpovídající chatám, chalupám či malým zahradním domům. Je složeno z části fotovoltaické elektrárny, části dobíjecí stanice pro elektromobil a části řízené zásuvky přes SSR relé. Zapojení fotovoltaické části odpovídá referenčnímu, které většina výrobců doporučuje na svých webových stránkách.

### 5.1 Fotovoltaická elektrárna

Část zapojení využívající sluneční energie je sestavena z fotovoltaických panelů, MPPT kontroléru, bateriového uložení a střídače. Pro lepší řízení vstupního zdroje energie byly fotovoltaické panely nahrazeny laboratorním zdrojem s patřičnými parametry. Tyto parametry, primárně výstupní stejnosměrné napětí, lze manuálně nastavovat a měnit. Jako MPPT kontrolér byla zvolena jednotka EPEVER MPPT 20A. Ta disponuje LCD displayem, vstupem pro připojení FV panelů, výstupem na baterii či střídač a řízení pomocí RS-485.

MPPT jednotka byla vybírána z několika možných kandidátů. Jelikož nebyl požadován velký výkon, byli vyřazeni kandidáti např. Growatt využívající se pro větší a výkonově náročnější aplikace. Jako jeden z možných nízkovýkonových kandidátů byla jednotka Victron Energy SmartSolar charge controller. Vyčítání dat a komunikace u této jednotky probíhá přes Victron Connect. Pro laboratorní pokusy nebyla nakonec vhodná. MPPT jednotka od EPeveer disponuje již zmíněným datovým portem pracujícím na RS-485. Dokumentace a označení registrů obsahující potřebné nastavení pro implementování do kontrolního softwaru jsou k dispozici z [88, 89]. Pomocí těchto registrů je schopen software žádat o zaslání hodnot jednotlivých položek jako např. charging mode, napětí zátěže, proud do zátěže nebo vnitřní teplota vybavení. Všechny tyto hodnoty jsou pak dále překládány pro další vyhodnocování v softwaru.

Článek typu LiFePO<sub>4</sub> představuje simulaci skutečných fotovoltaických uložení. Tyto typické komerčně dostupné větší bateriové uložení jsou postaveny také na této LiFePO<sub>4</sub> technologii. Interní zapojení jednotlivých článků je pak ve větších bateriích uzpůsobeno tak, aby měli větší nominální napětí. Typické pracovní systémové napětí uložení je 48 V. Tomuto napětí odpovídá nominální napětí 51,2 V pro napětí jednotlivých článků maximálně 3,2 V. Minimální napětí, označované také odpojovací, je 44,8 V, jelikož je podmíněno minimálním pracovním napětím jednotlivých článků na hodnotě 2,8 V. Odpojovací nabíjecí napětí je 59,2 V, kdy v takovém případě je pak

na článkách baterie napětí maximálně 3,7 V. Nominální kapacita uložist se pohybuje od 100 Ah (odpovídající 4,8 kWh), až po 200 Ah (odpovídající 10,2 kWh). Počet nabíjecích cyklů je odhadován na více než pět tisíc cyklů při optimálním chlazení a provozní teplotě nepřevyšující rozsah 15 – 35°C. V případě nutnosti větší kapacity bateriového uložistě pro např. ostrovní provoz je spojeno více takových jednotek dohromady.

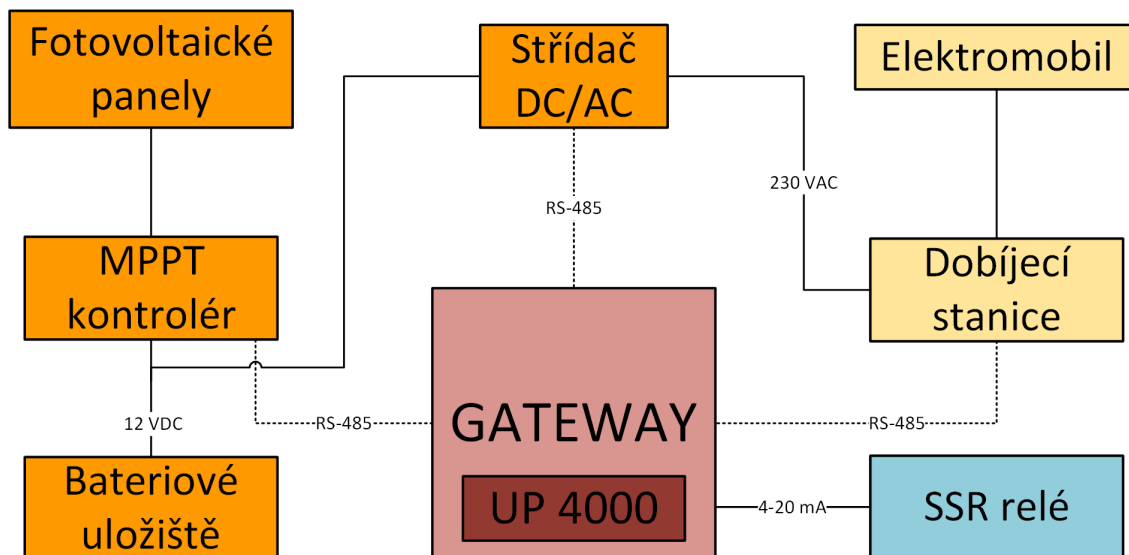
Výše popsany MPPT kontrolér pracuje s bateriovým LiFePO<sub>4</sub> článkem na hladině 12 V. Kapacita použité baterie je 18 Ah. Bateriové uložistě jsou vybaveny typicky jednotkou označenou jako systém bateriového managementu – BMS. Tento systém je využíván pro správu a řízení jednotlivých akumulátorů. Je nedílnou součástí a zajišťuje bezpečné a efektivní fungování. Jeho použitím je zajištěno udržení vysoké účinnosti a spolehlivosti chodu celého systému. Životnost baterií je tak maximalizována a degradace článků je potlačena na co nejnižší hodnotu. Mezi jeho hlavní funkce patří monitorování napětí, proudu, teploty a dalších parametrů akumulátoru. Dále zajišťuje balancování nabití tak, aby jednotlivé články v akumulátoru byly rovnoměrně nabitě, a to včetně selektivní správy každého z článků včetně jeho vybíjení a odpojení od zbytku systému. Zajištění hraničních ochran akumulátoru při nízkém a odpojovacím napětí nebo zamezení přehřátí a požáru spadá také do funkčnosti BMS. V rámci solárního systému pak komunikují ostatní součásti s BMS pro zajištění lepší koordinace a optimalizace celkového chodu FVE.

Do druhé verze prototypu polygonu byla zvolena baterie umožňující připojení jednotky BMS. Tato jednotka nicméně v této verzi není implementována. Pro prvotní testování a pokusy nebylo potřeba implementace tohoto doplňkového systému. Pro laboratorní účely budou veškeré parametry bedlivě sledovány a měřeny i přes absenci BMS. Pokud se podrobnými laboratorními testy ukáže, že je BMS vyžadována v solárním systému, baterie bude systémem dovybavena.

Výstupní napětí kontroléru je přivedeno, dle blokového schématu na obrázku 5.1, do střídače stejnosměrného napětí na střídavé. Tento střídač disponuje výkonem 1000 W. Pro laboratorní testování je dimenzovaný výkon více než dostatečný. Vybíjecí proud MPPT kontroléru 20 A vytváří dle dokumentace jmenovitý nabíjecí výkon 260 W na hladině 12 V a 520 W na hladině 24 V. Výstupní střídavé napětí ze střídače na hladině 230 V je přivedeno na zásuvku. Komunikace se střídačem probíhá, stejně jako tomu je u MPPT kontroléru, po rozhraní RS-485.

Seznam všech použitých výrobků v polygonu odpovídající jednotlivým blokům ze schématu je zobrazen v tabulce 5.1.





Obr. 5.1: Zapojení druhé verze polygonu

## 5.2 Gateway

Druhá verze prototypu je použita pro základní řízení MPPT kontroléru, střídače napětí, dobíjecí stanice a SSR relé. První tři jmenované obsluhuje po sběrnici RS-485, poslední SSR relé je pak ovládáno pomocí analogové proudové smyčky. Napájena je zdrojem napětí 12 V. Pro ostrovní provoz je možné použít napěťové hladiny 12 V přímo z MPPT kontroléru. Tímto zapojením se eliminuje nutnost dvojité konverze potřebného napětí.

## 5.3 Dobíjecí stanice

Simulační jednotka dobíjecí stanice byla implementována do polygonu s cílem vyčítání komunikačních příkazů a zpráv. Do systému s gateway tak přichází informace o připojení či odpojení k nabíječce a o započítí a ukončení samotného nabíjení fiktivního elektromobilu. Jednotlivé stavy jsou definovány pomocí třípolohového prepínače. Jeho přepnutím se nastaví interní hodnoty simulační jednotky a ta dále funguje jako při připojení nabíjecího konektoru k elektromobilu.

## 5.4 Analogově řízená zásuvka

Pro testování analogového výstupního rozhraní gateway bylo použito SSR relé, které je řízeno pomocí proudu v rozsahu 4 – 20 mA. Tato část obvodu pak představuje analogové řízení zátěže ze skupiny tepelných čerpadel, oběhových čerpadel a kotlů.

Tab. 5.1: Jednotlivé prvky polygonu

Schématický blok	Výrobek
Gateway	VUT prototyp 1.0
Fotovoltaické panely	Lab. zdroj 100 V
MPPT kontrolér	EPEVER MPPT 12/24 V, 20 A, vstup 100 V (XTRA2210N)
Bateriové uložení	ELERIX LiFePO <sub>4</sub> , 12 V, 18 Ah
Střídač DC/AC	EPEVER IPower Plus 1000 W, 12 V
SSR relé	ASR-10CA
Dobíjecí stanice	Simulační jednotka

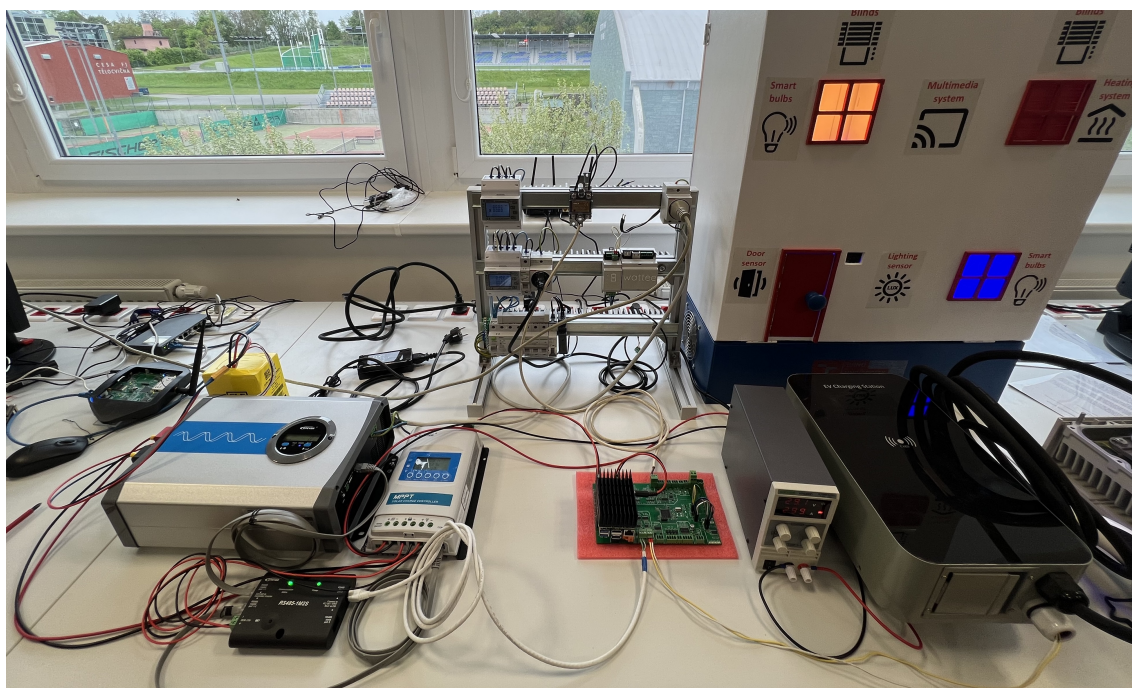
## 5.5 Využití

Jedná o laboratorní přípravek vhodný k rozmanitým aplikacím. Mezi tyto aplikace patří výzkumná implementace softwarových balíčků pro testování funkčnosti a integrity systému. Takto aplikovaná výzkumná činnost je vhodná pro zkoušení nových nápadů a hledání a odstraňování přetrvávajících problémů. V případě, že je nutné porovnávat naměřené systémové hodnoty s reálnými hodnotami v systému, je možné použití stolního multimetru. Vyčítání parametrů z registrů má tak okamžitou kontrolu v podobě zobrazených hodnot na display multimetru.

Nejenom softwarové testování a hledání problému je možné v rámci vývojové činnosti, ale také testování nových produktů, které by vždy nahradily jeden z bloků systému. Dostupných produktů je na trhu velké množství, a tak testování nových produktů v rámci jejich komunikačních protokolů a dalších parametrů je příhodné. Výsledné nalezení kompatibility nebo nekompatibility se systémem je přínosnou informací pro další výzkum a sběr hodnotných dat.

Tento polygon lze využívat i v rámci akademické výuky jako model ukázky ostrovního provozu. Studentům je tak umožněno nahlédnout na propojení solárního systému, prozkoumání funkce jednotlivých komponentů a možnost zobrazení dat ze systému. V rámci studia si tak prakticky rozšíří své vědomosti o fotovoltaických systémech obnovitelných zdrojů. Jelikož je polygon ve své podstatě zjednodušen na základní referenční zapojení, lze z něho vytvořit samostatnou laboratorní úlohu. Tato úloha se poté může vyučovat v jednom z předmětů zabírajícím se obnovitelnými zdroji.

Prezentování pro technické nadšence je také možné s tímto prototypem na veletrzích techniky, přehlídek vysokých škol, dnech otevřených dveří nebo noci vědců. Pro tyto akce je nutné zajištění bezpečnosti a zamezení kontaktu osob s vysokým střídavým napětím nacházejícím se v tomto prototypu. V rámci prezentování by



Obr. 5.2: Ukázka sestrojeného polygonu

se také dalo hovořit o grafických ukázkách závislostí změny vstupních parametrů např. laboratorního zdroje, který představuje solární fotovoltaické panely, na funkci systému a samotné systémové reagování na tyto změny. Bylo by tak širší veřejnosti, která by se účastnila těchto akcí, představeno fungování technologií v solárních systémech. Osvěta lidí by přispěla i k prohloubení všeobecného technického vzdělání a gramotnosti.

## Závěr

V rámci této diplomové práce byly popsány a rozebrány dostupná komerční řešení. Mezi ně byly blíže popsány produktová portfolia od firem Loxone, iCOOL4, unipi technology, Teco a dalších včetně např. IKEA Home smart. Poté byly rozebrány, na základě zjištěných poznatků a obecných požadavků, možné jednotlivé připojitelné části do systému. Ty byly rozděleny do skupin prvků spotřeby, výroby, zdrojů dat a řídicí gateway. Tyto čtyři obecné skupiny pak vytvořily jeden společný celek. Tímto celkem byl testovaný prototyp polygonu.

Součástí prvního prototypu bylo vypracování pravidel návrhu a blokových schémat polygonu a gateway. Každá z kapitol byla poté rozčleněna na několik podkapitol věnující se vždy části svého daného okruhu problematiky. Řídicím mikrokontrolérem byla zvolena deska UP 4000. Byly blíže rozebrány její možnosti volby rozhraní, sběrnic a konektorů. Závěrem návrhu prvního prototypu bylo zjištění nutnosti vypracovat druhou verzi prototypu adresující nalezené nedostatky.

Vypracováním druhé verze gateway v kapitole 4 bylo vytvořeno schéma zařízení včetně desky tištěného spoje. Návrh a realizace proběhla s pomocí programu Altium Designer. V tomto vypracování byly vyřešeny adresované nedostatky vzniklé v první verzi prototypu. Mikrokontrolér STM32 byl použit jako SPI slave pro řízení desky gateway a pro odesílání a příjem dat od UP 4000. Součástí této kapitoly bylo i shodnocení celkové ceny prototypu a jejím technickým porovnáním a konkurenceschopností s dostupnými komerčními výrobky.

Poslední kapitola pojednávala o druhé verzi prototypu polygonu. Jeho části jsou fotovoltaická elektrárna, gateway, dobíjecí stanice a analogově řízená zásuvka pomocí SSR relé. Na konci práce bylo diskutováno využití polygonu pro různé aplikace od vývojové po výukovou činnost.

# Literatura

- [1] *Gateway: (telecommunications)*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway\\_\(telecommunications\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Gateway_(telecommunications))>.
- [2] *Gateway: (brána)*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Gateway>>.
- [3] *UP Core series: mikrokontrolér* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://up-shop.org/up4000series.html>>.
- [4] *Loxone: O nás* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/cscz/o-nas/mise/>>.
- [5] *ICOOL4: O nás* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.icool4.cz/o-nas/>>.
- [6] *Unipi technology: Automatizace bez překážek* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.unipi.technology/cs/>>.
- [7] *TECO: Advanced Automation* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.tecomat.com/>>.
- [8] *Phoenix Contact: PLCnext Technology* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.phoenixcontact.com/en-us/industries/plcnext-technology>>.
- [9] *WiAutomation* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://cz.wiautomation.com/>>.
- [10] *Apple HomeKit: Accessories* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.apple.com/cz/shop/accessories/all/homekit>>.
- [11] *Google Home* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.apple.com/cz/shop/accessories/all/homekit>>.
- [12] *Amazon: Alexa Smart Home* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.amazon.com/alexa-smart-home/b?ie=UTF8&node=21442899011>>.
- [13] *Miniserver: centrální jednotka systému* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://shop.loxone.com/cscz/miniserver.html>>.

- [14] *Loxone config: program na konfiguraci a správu* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/cscz/produkty/loxone-config/>>.
- [15] *Cena inteligentní domácnosti: kalkulace ceny* [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <<https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/inteligentni-domacnost-cena/>>.
- [16] *ICOOL4: Použití v hotelech* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.icool4.cz/pouziti/hotely/>>.
- [17] *ICOOL4: Použití v kancelářích* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.icool4.cz/pouziti/kancelare/><<https://www.icool4.cz/pouziti/kancelare/>>.
- [18] *ICOOL4: Foxtrot 2 základní modul* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://eshop.icool4.cz/foxtrot-2-zakladni-moduly?s=price-a&perPage=19>>.
- [19] *ICOOL4: Ovládací aplikace systému* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.icool4.cz/ovladaci-aplikace/>>.
- [20] *Unipi technology: O firmě a jejich historii* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.unipi.technology/cs/kontakty>>.
- [21] *Unipi technology: Firemní aktuality - Redesign hardwaru* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <[https://www.unipi.technology/cs/klicove-vlastnosti/redesign-ridicich-jednotek-a-dalsiho-hardwaru-jako-reseni-nedostupnych-komponent-471?utm\\_source=linkedin&utm\\_medium=post&utm\\_id=redesign](https://www.unipi.technology/cs/klicove-vlastnosti/redesign-ridicich-jednotek-a-dalsiho-hardwaru-jako-reseni-nedostupnych-komponent-471?utm_source=linkedin&utm_medium=post&utm_id=redesign)>.
- [22] *Unipi technology: Řídící jednotka Neuron* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://kb.unipi.technology/cs:hw:02-neuron>>.
- [23] *Unipi technology: Řídící jednotka Patron* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://kb.unipi.technology/cs:hw:007-patron>>.
- [24] *Unipi technology: Porovnání Neuron a Patron řídicí jednotky* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.unipi.technology/cs/hardwareva-dokumentace/porovnaní-produktovych-rad-unipi-patron-a-unipi-neuron-379>>.
- [25] *IKEA: Chytrá domácnost a její ovládací prvky* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.ikea.com/cz/cs/cat/chytre-systemy-a-ovladaci-prvky-53259/>>.

- [26] *IKEA: Dirigera gateway* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <<https://www.ikea.com/cz/cs/p/dirigera-rozbovac-pro-chytre-vyrobky-bila-chytre-10503406/>>.
- [27] *EVE smart home: HomeKit over Thread* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://evesmarthome.cz/>>.
- [28] *FIEDLER elektronika pro ekologii: ELM - převodníky pro odečty elektroměrů* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://www.fiedler.company/en/node/1227>>.
- [29] *Inteligentní budovy: přehled technologií* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<http://www.inteligentni-budovy.cz/>>.
- [30] *UNI-TOP: Co je to tepelné čerpadlo - princip* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<http://www.uni-top.cz/tepelnerpadlo.html>>.
- [31] *IHS: Proč je stále více a více tepelných čerpadel s plynulou regulací výkonu kompresoru?* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://www.ivt-heatingssystemy.cz/proc-je-stale-vice-a-vice-tepelnych-čerpadel-riznych-frekvencnim-menicem/>>.
- [32] *UNI-TOP: Tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<http://www.uni-top.cz/čerpadla.html>>.
- [33] *Tepelné čerpadlo: Chladivo*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A9\\_%C4%8Derpadlo#Chladivo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%A9_%C4%8Derpadlo#Chladivo)>.
- [34] *EKOVOY: Oběhové čerpadlo* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<http://www.ekovy.cz/obehove-čerpadlo.htm>>.
- [35] *MasterTherm: Chlazení domu tepelným čerpadlem je šetrnější než klimatizace* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://mastertherm.cz/chlazen-i-domu-tepelnym-čerpadlem-je-setrnejsi-nez-klimatizace/>>.
- [36] *Tzbinfo: Co je to fotovoltaická elektrárna?* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/22067-stresni-fotovoltaika-jak-funguje-a-co-od-ni-ocekavat>>.
- [37] *Elektrický generátor*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD\\_gener%C3%A1tor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_gener%C3%A1tor)>.

- [38] *Větrná turbína*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <[https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C4%9Btrn%C3%A1_turb%C3%ADna)>.
- [39] *Vehicle to grid*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>>.
- [40] *Clean Energy Reviews: Bidirectional Chargers Explained - V2G Vs V2H Vs V2L* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: <<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-charging-v2g-v2h-v2l>>.
- [41] *Deska Nvidia Jetson Nano Developer Kit* [online]. [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>>.
- [42] *GUIDE TO 1-WIRE COMMUNICATION: Tutorials by ANALOG DEVICE and MAXIM INTEGRATED* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1796.html>>.
- [43] *Transmitting data and power over a one-wire bus*; AWTRY, Dan; SEMICONDUCTOR, Dallas. *Sensors-The Journal of Applied Sensing Technology*, 1997, 14.2: 48-51. Dostupné z: <[http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro\\_C/dallas/1wirebus.pdf](http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro_C/dallas/1wirebus.pdf)>.
- [44] *1-Wire*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/1-Wire>>.
- [45] *USB HSIC* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <[https://www.synopsys.com/dw/dwtb.php?a=hsic\\_usb2\\_device](https://www.synopsys.com/dw/dwtb.php?a=hsic_usb2_device)>.
- [46] *Slovník pojmů: MODBUS/TCP* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <<https://www.netio-products.com/cs/slovník/modbustcp>>.
- [47] *Modbus*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Modbus>>.
- [48] *TE technology - Next Generation Form Factor M.2: Document Delivery* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <<https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=1-1773702-1NGFFQRG-EN&DocType=DS&DocLang=EN>>.



- [49] Li Ran, Wu Junfeng, Wang Haiying and Li Gechen, "*Design method of CAN BUS network communication structure for electric vehicle*," International Forum on Strategic Technology 2010, 2010, pp. 326-329, doi: 10.1109/IFOST.2010.5668017. Dostupné z: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5668017>>.
- [50] Renjun Li, Chu Liu and Feng Luo, "*A design for automotive CAN bus monitoring system*," 2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008, pp. 1-5, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677544. Dostupné z: <[https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4677544?casa\\_token=MfNPzCE2wjkAAAAA:NFrCT8xYW39pYhazgH7q9KQewvy5nV16j-agVfzsNnb0jIDBHpe9MtefcgdIp0HJABQNi0s](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4677544?casa_token=MfNPzCE2wjkAAAAA:NFrCT8xYW39pYhazgH7q9KQewvy5nV16j-agVfzsNnb0jIDBHpe9MtefcgdIp0HJABQNi0s)>.
- [51] STANĚK, Jan, ŘEHÁK, Jan, ed. RS 485 & 422: *Popis rozhraní a přenosových protokolů* [online]. In: . 15. Ledna 1998 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <<https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>>.
- [52] *RS-485*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>>.
- [53] *RS-232*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <<https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>>.
- [54] AXELSON, Jan. *Designing RS-485 circuits*. Circuit Cellar, 1999, 107: 20-24. Dostupné z: <<https://www.wfms.org/hcs/hcs-docs/library/print/hcs-pdf/107-Axelsson.pdf>>.
- [55] MARAIS, Hein. *RS-485/RS-422 circuit implementation guide*. AN-960 Analog Devices, 2008. Page 4. Dostupné z: <<https://atnel.pl/download/poradnik-i/rs485/AN-960.pdf>>.
- [56] *M2 Edge Connector Keying* [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M2\\_Edge\\_Connector\\_Keying.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M2_Edge_Connector_Keying.svg)>.
- [57] *SDIO on UP Core* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://forum.up-community.org/discussion/2897/sdio-on-up-core>>.
- [58] *UPC-CRST01: High Speed Carrier Board for UP Core Series* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://www.aaeon.com/en/p/carrier-board-for-up-core-upc-crst01>>.

- [59] *Delock - The M.2 interface* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <[https://www.delock.de/infothek/M.2/M.2\\_e.html](https://www.delock.de/infothek/M.2/M.2_e.html)>.
- [60] *Congatec Application Note: The M.2 X connector pinout* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <[https://www.congatec.com/fileadmin/user\\_upload/Documents/Application\\_Notes/AN43\\_M.2\\_Pinout\\_Descriptions\\_and\\_Reference\\_Designs.pdf](https://www.congatec.com/fileadmin/user_upload/Documents/Application_Notes/AN43_M.2_Pinout_Descriptions_and_Reference_Designs.pdf)>.
- [61] *NXP - AN13049 Application Note: Wi-Fi/Bluetooth/802.15.4 M.2 Key E Pinout Definition* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://www.nxp.com.cn/docs/en/application-note/AN13049.pdf>>.
- [62] *Proudová smyčka 4-20 mA - obecný popis* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://automatizace.hw.cz/proudova-smycka-4-20-ma-obecny-popis>>.
- [63] *Datasheet - PCF8591* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://cz.mouser.com/datasheet/2/302/PCF8591-1127459.pdf>>.
- [64] *E.ON - Soukromá dobíječka: Dobíjení pro domácnosti i firemní fleety* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://www.eon-drive.cz/soukroma-dobijecka/>>.
- [65] *ŠKODA OCTAVIA iV: plug-in s hybridním pohonem.* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <[https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-octavia-tiskova-mapa/nova-skoda-octavia-je-prostornejši-ma-emotivnejši-vzhled-a-nabízi-vice-možnosti-konektivity/attachment/octavia\\_094/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-octavia-tiskova-mapa/nova-skoda-octavia-je-prostornejši-ma-emotivnejši-vzhled-a-nabízi-vice-možnosti-konektivity/attachment/octavia_094/)>.
- [66] *IVT AERO: tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/ivt-aero>>.
- [67] *Chytré měření EG.D: chytré elektroměry* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: <<https://www.egd.cz/chytre-mereni>>.
- [68] *Smart home: diagram* [online]. [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <[https://techterms.com/definition/smart\\_home](https://techterms.com/definition/smart_home)>.
- [69] Zagrajek, Krzysztof and Paska, Józef and Sosnowski, Lukasz and Gobosz, Konrad and Wróblewski, Konrad. (2021). *Framework for the Introduction of Vehicle-to-Grid Technology into the Polish Electricity Market*. *Energies*. 14. 3673. 10.3390/en14123673. <[https://www.researchgate.net/publication/352552938\\_Framework\\_for\\_the\\_Introduction\\_of\\_Vehicle-to-Grid\\_Technology\\_into\\_the\\_Polish\\_Electricity\\_Market](https://www.researchgate.net/publication/352552938_Framework_for_the_Introduction_of_Vehicle-to-Grid_Technology_into_the_Polish_Electricity_Market)>.

- [70] *Zákon č. 250/2021 Sb.: Zákon o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení a o změně souvisejících zákonů* [online]. [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-250>>.
- [71] *Skripta Bezpečná elektrotechnika: (XELE, MELB)* [online]. Brno, Březen 2015 [cit. 2022-12-04]. Dostupné z: <[https://www.vut.cz/www\\_base/priloha\\_fs.php?dpid=195047&skupina=dokument\\_priloha](https://www.vut.cz/www_base/priloha_fs.php?dpid=195047&skupina=dokument_priloha)>. . Skripta. Vysoké učení technické v Brně. Garant předmětu Ing. Radim Kadlec, Ph.D.
- [72] *TME - RS485 CLICK 3.3V MIKROE* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <[https://www.tme.eu/cz/details/mikroe-989/rozsirujici-desky/mikroe/rs485-click-3-3v/?brutto=1&dcy=CZK&gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqA9cFD0LDt8PwE7ix4njMCMIrYH3snPBNYPu\\_ekupbT1vd57nuJuMxoCauAQAvd\\_BwE](https://www.tme.eu/cz/details/mikroe-989/rozsirujici-desky/mikroe/rs485-click-3-3v/?brutto=1&dcy=CZK&gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqA9cFD0LDt8PwE7ix4njMCMIrYH3snPBNYPu_ekupbT1vd57nuJuMxoCauAQAvd_BwE)>
- [73] *MIKROE: RS485 Board* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <<https://www.mikroe.com/rs485-board>>.
- [74] *Hadex: Převodník TTL na RS485, modul s MAX485* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <[https://www.hadex.cz/m438a-prevodnik-ttl-na-rs485-modul-s-max485/?gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqAypbINAVGwokvy5uTelqj5yCCh5p7gjVw1qKc7pKpPyjAbFQsoGqphoCufsqAvD\\_BwE](https://www.hadex.cz/m438a-prevodnik-ttl-na-rs485-modul-s-max485/?gclid=CjwKCAjwitShBhA6EiwAq3RqAypbINAVGwokvy5uTelqj5yCCh5p7gjVw1qKc7pKpPyjAbFQsoGqphoCufsqAvD_BwE)>.
- [75] *Adafruit MicroSD SPI or SDIO Card Breakout Board* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-microsd-spi-sdio/downloads>>.
- [76] *ST AN5595: multimedia card via SPI interface* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <[https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an5595-spc58xexspc58xgx-multimedia-card-via-spi-interface-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an5595-spc58xexspc58xgx-multimedia-card-via-spi-interface-stmicroelectronics.pdf)>.
- [77] *STM32 Wiki: Blue Pill* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <[https://stm32duinoforum.com/forum/wiki\\_subdomain/index\\_title\\_Blue\\_Pill.html](https://stm32duinoforum.com/forum/wiki_subdomain/index_title_Blue_Pill.html)>.
- [78] *ST: STM32F103VB chip* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <<https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103vb.html>>.
- [79] *Texas Instruments: MAX3232CDR* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <[https://www.ti.com/product/MAX3232/part-details/MAX3232CDR?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=ocb-tistore-promo-asc\\_opn\\_en-cpc-storeic-google-wwe&utm\\_content=Device&ds\\_k=MAX3232CDR&DC](https://www.ti.com/product/MAX3232/part-details/MAX3232CDR?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=ocb-tistore-promo-asc_opn_en-cpc-storeic-google-wwe&utm_content=Device&ds_k=MAX3232CDR&DC)>

M=yes&gclid=CjwKCAjw8-0hBhB5EiwADyoY1e2w5VHJyQyPRe51iV2d31YoB0V0gyRaKY3571m\_MBVHu5RT6ZZJvBoCYEwQAvD\_BwE&gclsrc=aw.ds>.

- [80] *Lab Projects BD: MAX232 circuit design guideline* [online]. 18/02/2021 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <<https://labprojectsbd.com/2021/02/18/max232-guideline/>>.
- [81] *Murata: 4-20mA Current Loop Primer* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <<https://www.murata.com/-/media/webrenewal/products/power/appnote/dms-an20.pdf>>.
- [82] *Texas Instruments: Loop-powered 4- to 20-mA transmitter circuit* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <[https://www.ti.com/lit/an/slaa866/slaa866.pdf?ts=1678283402831&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slaa866/slaa866.pdf?ts=1678283402831&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)>.
- [83] *ESP: 4-20mA Current Loop Basics* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <<https://sound-au.com/appnotes/an011.htm>>.
- [84] *Infineon: Smart High-Side Power Switch BTS724G Datasheet* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <[https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BTS724G-DS-v01\\_00-EN.pdf?fileId=5546d4625a888733015aa3a2f1030ff1](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BTS724G-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d4625a888733015aa3a2f1030ff1)>.
- [85] *JLCPCB: StackUP* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <<https://m.jlpcb.com/capabilitiesDetail?index=1>>.
- [86] *Arduino module: CAN BUS* [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <<https://www.az-delivery.de/en/products/mcp2515-can-bus-modul>>.
- [87] *RS: STM32F103VBT6* [online]. [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <<https://uk.rs-online.com/web/p/microcontrollers/0402245>>.
- [88] *TEKK. Tracer-RS485-Modbus-Blynk-V* [online]. In: . [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <[https://github.com/tekk/Tracer-RS485-Modbus-Blynk-V2/blob/master/doc/1733\\_modbus\\_protocol.pdf](https://github.com/tekk/Tracer-RS485-Modbus-Blynk-V2/blob/master/doc/1733_modbus_protocol.pdf)>.
- [89] *MRROBOT62. Github solar\_epever* [online]. In: . [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <[https://github.com/mrRobot62/solar\\_epever](https://github.com/mrRobot62/solar_epever)>.

## Seznam symbolů a zkratek

<b>4G</b>	Sítě čtvrté generace
<b>5G</b>	Sítě páté generace
<b>AC</b>	Střídavý proud
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>BMS</b>	Battery Management System
<b>CAN bus</b>	Controller Area Network sběrnice
<b>CEO</b>	Výkonný ředitel obchodní společnosti
<b>CMOS</b>	Complementary Metal Oxide Semiconductor
<b>CRC</b>	Cyklický redundantní součet
<b>ČSN</b>	Česká národní norma
<b>DC</b>	Stejnoseměrný proud
<b>DIN</b>	Německá národní norma
<b>DMX</b>	Povelový protokol pro digitální přenos řídicích informací
<b>DPS</b>	Deska plošných spojů
<b>DPST</b>	Double Pole Single Throw
<b>EMC</b>	Elektromagnetická kompatibilita
<b>FPGA</b>	Field Programmable Gate Array
<b>FVE</b>	Fotovoltaická elektrárna
<b>GPIO</b>	Univerzální vstupní/výstupní pin
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GPS</b>	Globální polohový systém
<b>GSM</b>	Groupe Spécial Mobile
<b>HDMI</b>	Nekomprimovaný obrazový a zvukový signál v digitálním formátu
<b>I2C</b>	Multi-masterová počítačová sériová sběrnice

<b>I2S</b>	Sériová sběrnice zaměřená na audio zařízení
<b>iOS</b>	Mobilní operační systém pro telefony iPhone společnosti Apple
<b>IP</b>	Číslo identifikující síťové rozhraní
<b>IPv4</b>	Internetový protokol verze 4
<b>IPv6</b>	Internetový protokol verze 6
<b>LAN</b>	Lokální síť
<b>LED</b>	Elektroluminiscenční dioda
<b>LTE</b>	Technologie určená pro vysokorychlostní Internet v mobilních sítích
<b>NFC</b>	Bezdrátová technologie pro rychlou a zabezpečenou výměnu dat
<b>NGFF</b>	Next Generation Form Factor
<b>N-MOS</b>	N-type Metal Oxide Semiconductor
<b>PCIe</b>	Standard systémové sběrnice
<b>PELV</b>	Ochranné velmi nízké napětí
<b>PLC</b>	Programovatelný logický automat
<b>PWM</b>	Pulzně šířková modulace
<b>RAM</b>	Polovodičové paměti s přímým přístupem
<b>RJ-45</b>	Typ registrovaného konektoru
<b>RS-232</b>	Sériová linka pro komunikaci
<b>RS-422</b>	Sériová linka pro komunikaci
<b>RS-485</b>	Sériová linka pro komunikaci
<b>RTS</b>	Ready To Send
<b>RX</b>	Přijímač
<b>SCADA</b>	Dispečerské řízení a sběr dat
<b>SCL</b>	Serial Clock
<b>SDA</b>	Serial Data

<b>SPI</b>	Sériové periferní rozhraní
<b>SPOT</b>	Typ trhu
<b>SSL</b>	Secure Sockets Layer
<b>SSR</b>	Solid State Relay
<b>TUV</b>	Teplá užitková voda
<b>TVS</b>	Transient Voltage Suppression
<b>TX</b>	Vysílač
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
<b>USB</b>	Univerzální sériová sběrnice
<b>V2G</b>	Vehicle to grid
<b>V2H</b>	Vehicle to home
<b>V2L</b>	Vehicle to load
<b>WiFi</b>	Skupina bezdrátových síťových protokolů
<b>WP</b>	Write Protect
<b>WWAN</b>	Forma bezdrátové sítě

# Seznam příloh

A Obsah elektronické přílohy

89



## A Obsah elektronické přílohy

Soubor s názvem Palurik\_priloha.zip je zabalená elektronická příloha. V kořenovém adresáři se nachází složka se souborem simulace v programu LTspice a složka s celým projektem DPS v programu Altium Designer. Projekt DPS obsahuje všech 10 souborů listů se schémata. Tyto schémata a jejich obsah je blíže popsán v 4.4. Dále je obsažen soubor návrhu desky tištěného spoje, podkladů gerber pro jeho výrobu včetně souborů pro zadání SMT osazení. Kontrolní dokument DRC je přiložen ve složce Project Outputs for Gateway\_PP a to jak ve formátu pdf tak i v interaktivním formátu html.

```
/ ..... Kořenový adresář
├── Simulace LTspice ..... Složka souboru simulace
│   └── universal analog output circuit.asc
├── DPS prototyp 1.0 ..... Složka souborů projektu v Altium
│   ├── Job1.OutJob
│   ├── Gateway_PP.PrjPcb
│   ├── Gateway_PP.PrjPcbStructure
│   ├── gt_Analog_IN.SchDoc
│   ├── gt_Analog_OUT.SchDoc
│   ├── gt_DIGITAL_IO.SchDoc
│   ├── gt_HAT40.SchDoc
│   ├── gt_PWM_1W_EEPROM.SchDoc
│   ├── gt_RS232.SchDoc
│   ├── gt_RS485.SchDoc
│   ├── gt_SD_CAN_SSR.SchDoc
│   ├── gt_STM32_mcu.SchDoc
│   ├── ext_gt_LED.SchDoc
│   ├── gt_PCB.PcbDoc
│   └── Project Outputs for Gateway_PP ..... Složka souborů pro výrobu DPS
│       ├── BOM ..... Složka se souborem pro zadání SMT osazení
│       │   └── xBOM_Gateway_PP.xlsx
│       ├── DRC ..... Složka se souborem ověření DPS
│       │   ├── gt_PCB.html
│       │   └── gt_PCB.pdf
│       ├── Pick Place ..... Složka se souborem pro zadání SMT osazení
│       │   └── xPickPlace_gt_PP.xlsx
│       └── gateway_gerber.zip ..... Soubory pro zadání výroby DPS
```