



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Řídicí systém s HMI pro rychlonabíjecí stanici

Bakalářská práce

<i>Studijní program:</i>	B2612 – Elektrotechnika a informatika
<i>Studijní obor:</i>	2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
<i>Autor práce:</i>	Tomáš Tomsa
<i>Vedoucí práce:</i>	Ing. Pavel Jandura, Ph.D.
<i>Konzultant:</i>	Václav Klouda

Control system with HMI for fast charging station

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Informatic and Control Systems

Author: **Tomáš Tomsa**
Supervisor: Ing. Pavel Jandura, Ph.D.
Consultant: Václav Klouda

Zadání bakalářské práce

Řídicí systém s HMI pro rychlonabíjecí stanici

Jméno a příjmení: **Tomáš Tomsa**
Osobní číslo: M18000050
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Zadávající katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2020/2021**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši topologií pro realizaci moderních rychlonabíjecích stanic a jejich řídicích systému.
2. Pro vybranou topologii stanice zvolte vhodný kontrolér a HMI systém.
3. Do zvoleného kontroléru a HMI naprogramujete řídicí algoritmus stanice obsahující minimálně jeden standard obousměrné komunikace s vozem, řízení výkonových modulů stanice a komunikaci s uživatelem přes HMI.
4. Na experimentálním pracovišti ověřte funkčnost řídicího systému stanice.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby dokumentace
30–40
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] EICKELMANN, Jens, 2017. Driving Force Electromobility: Business development and growth strategies in the field of electromobility. Germany: Phoenix Contact E-mobility.
- [2] ISO 15118-2:2014, Road vehicles — Vehicle-to-Grid Communication Interface — Part 2: Network and application protocol requirements.
- [3] IN SPEC 70121:2014-12:Electromobility – Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging in the Combined Charging System, First Edition 2014-12, DIN.

Vedoucí práce:

Ing. Pavel Jandura, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce:

9. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

17. května 2021

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Milan Kolář, Csc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 9. října 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše. Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s §47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Pavlovi Jandurovi, Ph.D. za odborné vedení a za jeho přínosné rady k mé práci, za čas a umožnění osobních konzultací. Zároveň bych velmi rád poděkoval mému konzultantovi Václavu Kloudovi ze společnosti Siemens za jeho ochotu, velmi odborné rady, které byly přínosem k mé práci.

Dále bych rád poděkoval společnosti Siemens za poskytnutí zázemí a materiálu pro vytvoření funkčního vzorku.

Abstrakt

Cílem této práce bylo vytvořit funkční vzorek experimentální rychlonabíjecí stanice, která využívá vybraný standard pro komunikaci s vozidlem a je ovládaná přes vizualizační obrazovku. Součástí zadání bylo vybrat pro tuto aplikaci optimální řídicí jednotku a HMI z aktuálně dostupných řešení na trhu.

V rešeršní části je rozepsána topologie procesu nabíjení, standardizované zásuvné nabíjecí systémy a možnosti nabíjení elektromobilu. Rozebrány jsou i koncepty používané společnostmi Siemens a Phoenix Contact.

Dále je zhodnocen přístup jednotlivých firem a zdůvodnění výběru dané řídicí jednotky. Celkový návrh stanice je poté rozdělen do tří částí, jež jsou rozděleny na návrh komponentů a zapojení, návrh vizualizace a návrh programu. V závěru je zobrazeno experimentální testování stanice a jsou zhodnoceny mé výsledky práce.

Klíčová slova:

Nabíjecí stanice, řídicí systém, HMI, komunikační sběrnice, standard CCS 2.0

Abstract

The aim of this work was to create a functional sample of an experimental fast charging station, that uses a selected standard for communication with the vehicle and is controlled via a visualization screen. Part of the assignment was to select the optimal control unit and HMI from currently available solutions on the market.

The research section describes the topology of the charging process, standardized plug-in charging systems and charging options for an electric car. The concepts used by Siemens and Phoenix Contact are also discussed.

Furthermore, the approach of both companies and the justification for the choice of the control unit is evaluated. The review of the overall design of the station is divided into three parts, which are the design of components and connections, the design of visualization and the design of the program. In conclusion, the experimental testing of the station is shown, and my work results are evaluated.

Key words:

Charging station, control system, HMI, communication bus, standard CCS 2.0

Obsah

Úvod.....	13
1 Rešerše topologií pro realizaci moderních rychlonabíjecích stanic	14
1.1 Možnosti nabíjení elektromobilu.....	14
1.1.1 Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením	14
1.1.2 Nabíjení elektrických vozidel pomocí bezdrátového přenosu energie (WPT)	14
1.2 Topologie procesu nabíjení dle DIN 70121	14
1.2.1 Identifikace zákazníka a platba.....	15
1.2.2 Požadavky stanice a vozidla	15
1.2.3 Proces nabíjení.....	15
1.3 Standardizované AC a DC zásuvné konektorové systémy.....	16
1.3.1 Nabíjecí systém DC CHAdeMO	16
1.3.2 Nabíjecí systém DC CCS typ 2	17
1.3.3 Nabíjecí systém AC Typ 2 (Mennekes)	17
1.4 Centralizace systému.....	17
1.4.1 Decentrální systém	18
1.4.2 Centralizovaný systém.....	18
1.5 Identifikace zákazníka a proces nabíjení	18
1.6 Příklad řešení kompaktního systému.....	18
1.7 Příklad řešení distribuovaného systému	19
1.7.1 Hardwarové řešení.....	19
1.7.2 Vizualizace	20
1.7.3 Parametry.....	20
1.8 Příklady grafického rozhraní	21
2 Návrh vlastní rychlonabíjecí stanice	23
2.1 Zhodnocení řešení Phoenix Contact.....	23
2.2 Zhodnocení řešení Siemens.....	23
2.3 Volba systému	24

3	Koncept nabíjecí stanice	25
3.1	Použité komponenty	25
3.1.1	Řídicí jednotka.....	25
3.1.2	Periferie	25
3.1.3	Nabíjecí modul	26
3.1.4	Vizualizační panel	27
3.1.5	Měřicí přístroj izolačního odporu a napětí.....	27
3.1.6	Nabíjecí kabel.....	27
3.1.7	Ostatní komponenty.....	27
3.1.8	Blokové schéma zapojení	28
3.2	Vizualizace	29
3.2.1	Identifikace uživatele.....	30
3.2.2	Proces nabíjení.....	31
3.2.3	Servisní menu	33
3.2.4	Diagnostické okno	35
3.3	Programové řešení řídicího systému stanice	37
3.3.1	Programové přiřazení hardware.....	37
3.3.2	Autentifikace a správa uživatelů.....	37
3.3.3	Komunikace s RFID čtečkou.....	37
3.3.4	Komunikace s UR50060.....	38
3.3.5	Komunikace s Bender isoEV425 + AGH420.....	38
3.3.6	Komunikace s vozidlem	39
4	Testování nabíjecí stanice	42
5	Závěr	44
	Použitá literatura:	45
	Příloha 1 – Průběhy naměřených hodnot během nabíjení.....	47
	Příloha 2 – Tabulka jednotlivých komponentů a jejich ceny	49

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Nabíjecí blokové schéma podle normy DIN SPEC 70121 [2].....	15
Obrázek 2 – Standardizované konektory ve světě [4]	16
Obrázek 3 – Rozdíl centrálního systému (vlevo) a decentralního systému (vpravo)	17
Obrázek 4 – Kontrolér Phoenix Contact EV-PLCC-AC1-DC1 [9].....	19
Obrázek 5 – Výkonová charakteristika měniče DCP Master 120 kW [11].....	21
Obrázek 6 – Vizualizace společnosti ABB [12].....	21
Obrázek 7 – Vizualizace společnosti Siemens [10].....	22
Obrázek 8 – Siemens PLC 1513-1 PN [13].....	25
Obrázek 9 – Nabíjecí modul UR50060 s výkonem 30kW [14].....	26
Obrázek 10 - Výkonová charakteristika měniče UR50060 [15]	26
Obrázek 11 – Měřicí přístroj isoEV425 a AGH420 [16]	27
Obrázek 12 – Základní schéma zapojení pro DC nabíjení	28
Obrázek 13 – Blokové schéma vizualizace	29
Obrázek 14 – Template pro všechny HMI	30
Obrázek 15 – Identifikační obrazovka.....	31
Obrázek 16 – Obrazovka při procesu nabíjení	32
Obrázek 17 – Graf procesu nabíjecího výkonu v kW	32
Obrázek 18 – Obrazovka servisního menu.....	33
Obrázek 19 – Obrazovka pro změnu parametrů.....	34
Obrázek 20 – Obrazovka správy uživatelů.....	34
Obrázek 21 – Obrazovka produktových informací	35
Obrázek 22 – Obrazovka diagnostického okna.....	36
Obrázek 23 – Složení jednoho paketu	38
Obrázek 24 – Volání funkčního bloku komunikační karty v jazyce FBD	39
Obrázek 25 – Složení identifikačního kódu EVSE	40
Obrázek 26 – Schéma programového postupu.....	40
Obrázek 27 – Nabíjení dvou vozidel Škoda Citigo iV (vlevo) a Volkswagen ID.3 (vpravo).....	42

Obrázek 28 – Nabíjení vozu Hyundai Kona a jeho přístrojová deska během nabíjecího procesu	42
Obrázek 29 – Funkční vzorek nabíjecí stanice	43

Seznam použitých zkratk:

AC	Alternating Current, střídavý proud
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, tabulka znaků pro výměnu informací
CCS	Combined Charging System, standardizovaný konektor pro stejnosměrné nabíjení
CHAdeMO	Charge de Move, standardizovaný konektor pro stejnosměrné nabíjení
CP	Control Pilot, pin sloužící pro komunikaci s elektrickým vozidlem
CRC	Cyclic Redundancy Check, cyklický redundantní součet pro komunikaci
CV	Constant Voltage, konstantní napětí
DC	Direct Current, stejnosměrný proud
DCFC	Direct Current Fast Charge, rychlonabíjecí stejnosměrná stanice
DIN	Deutsches Institut für Normung, Německý ústav pro průmyslovou normalizaci
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment, nabíjecí vybavení elektrického vozidla
FBD	Function Block Diagram, programovací jazyk funkčních bloků
GSM	Groupe Spécial Mobile, telekomunikační standard po mobilní síti
HMI	Human Machine Interface, vizualizační rozhraní mezi člověkem a strojem
HW	Hardware, fyzické vybavení
PLC	Program Logic Automat, programovatelný logický automat
MAC	Media Access Control, identifikátor síťového zařízení
OCPP	Open Charge Point Protocol, protokol pro komunikaci mezi nabíjecími stanicemi a vozidlem
PP	Proximity Pilot, pin sloužící pro detekci připojení auta ke stanici
RFID	Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci
SCL	Structured Control Language, programovací jazyk se strukturovaným textem
SW	Software, program vykonávající určitou činnost
TIA	Totally Integrated Automation, totálně integrovaná automatizace
TYPE 2	Obecné označení standardu střídavého nabíjení pro nabíjecí stanice
UID	Unique ID, unikátní ID
WPT	Wireless Power Transfer, bezdrátové nabíjení

Úvod

V posledních letech zažívá elektromobilita obrovský rozmach, který bude velmi pravděpodobně dále pokračovat. Mezi hlavní důvod patří směřování k čisté bezemisní energii, a tedy i k vozidlům, která nepoužívají fosilní paliva. V poslední době však přicházejí omezení pro fosilní vozidla, jako zákaz vjezdu diesellových aut do určitých měst, či zákaz jejich prodeje od určitého data, což má způsobit rychlejší posun k elektrickým autům, nebo i autům vodíkovým.

Jednou z klíčových součástí elektromobility je nabíjecí infrastruktura, která zvládne, co nejrychleji a bezpečně nabít auto jednoduchým způsobem. Dnes existuje mnoho společností, které se zabývají nabíjecími stanicemi. Avšak každá má jiný systém a jinak funguje.

Tímto tématem částečně navazuji na svůj bakalářský projekt, kde jsem teoreticky rozebíral službu Plug&Charge a teoreticky navrhl ideální systém placení za používání stanice. Důvodem výběru této bakalářské práce je, že se o toto téma zajímám již řadu let. Přečetl jsem mnoho odborných článků, či navštívil elektromobilové veletrhy. Také práci na bakalářském projektu mi dalo spoustu zkušeností, které se hodí i do této práce.

Cílem práce je výběr vhodných komponentů podle aktuálně dostupných řešení na trhu, pro vytvoření funkčního vzorku rychlonabíjecí stanice, pro účely Technické univerzity v Liberci. Dalším bodem je vzhledem k ostatním společnostem vytvořit takový systém, který je uživatelsky přívětivý, jednoduchý a navádí uživatele v procesu nabíjení skrze vizualizační panel.

Abych dosáhl stanovených cílů, tak je třeba seznámit se s normami pro komunikaci mezi stanicí a elektromobilem a zároveň je třeba zhodnotit důležité parametry pro vybrání vhodného systému, který řídí celý proces a podružné komponenty. Poté je třeba experimentální stanici otestovat na pracovišti s elektrickým vozidlem a zhodnotit výsledky z procesu inicializace vozidla a nabíjení.

1 Rešerše topologií pro realizaci moderních rychlonabíjecích stanic

1.1 Možnosti nabíjení elektromobilu

Nabíjet elektromobil lze dnes mnoha způsoby a v průmyslu je snaha, aby vozidlo mělo plnou kapacitu baterie co nejrychleji. To lze docílit pomocí tzv. rychlonabíjecích stanic, jejichž maximální výkon je postupně zvyšován. Liší se podle způsobu nabíjení, technologií i zásuvky a je to dáno tím, že na jiných kontinentech se používá jiný standard pro konektory a různé způsoby dobíjení se vyznačují jinými výhodami a nevýhodami.

1.1.1 Nabíjení elektrických vozidel vodivým připojením

Nabíjení střídavým proudem

Jedná se o nejjednodušší nabíjecí stanici, jelikož samotná stanice nepotřebuje usměrňovač pro velké proudy. Ten se nachází ve vozidle, kde převádí střídavý proud na stejnosměrný proud, protože elektromobil využívá stejnosměrné napájení. Z tohoto důvodu jsou AC stanice levnější variantou než DC stanice a zároveň napájení střídavým proudem je mnohem více používané, jelikož je lze napájet z domácí sítě pomocí nabíječky pro 230 V nebo 400 V. Jejich nevýhodou je potřebný usměrňovač v autě, ten je totiž s vyšším výkonem větší, náročnější a dražší, proto se pro rychlonabíjení používají převážně DC stanice.

Nabíjení stejnosměrným proudem

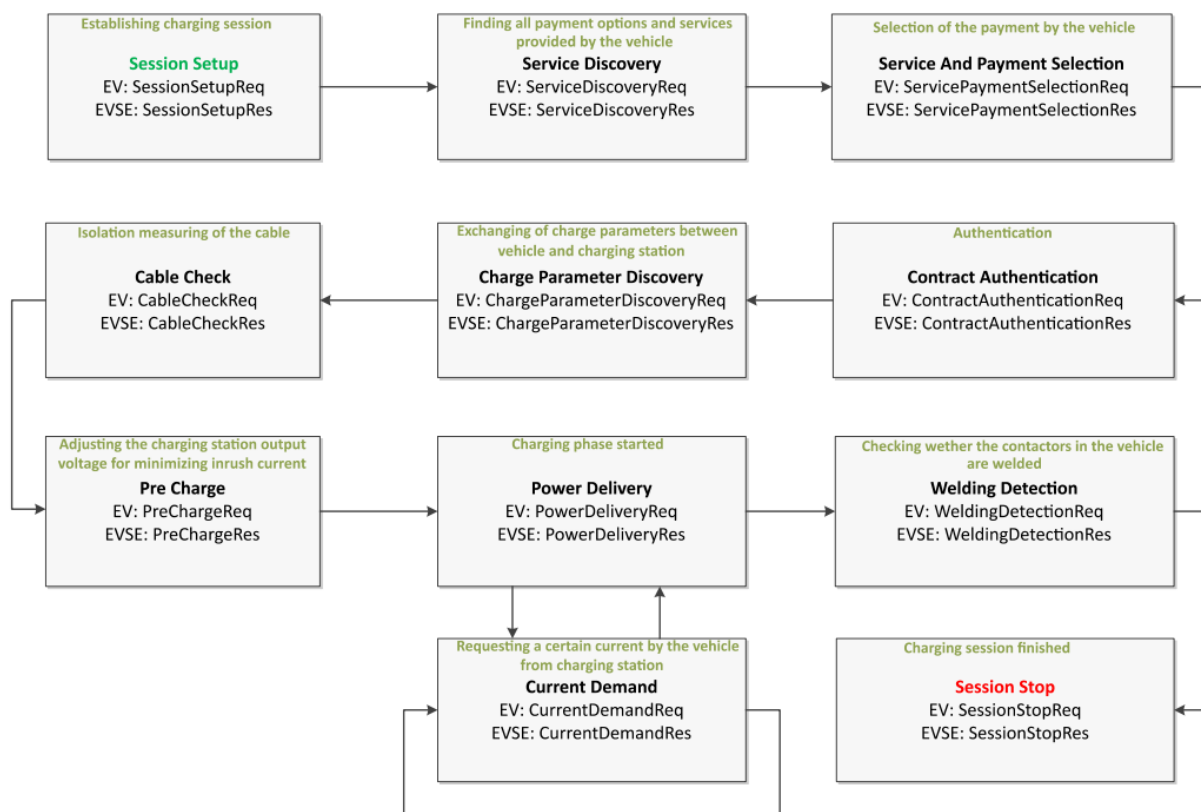
Tato varianta je zpravidla používána pro rychlonabíjecí stanice. Usměrňovač se nachází ve stanici, a proto je zde jednodušší uchladit ztrátový výkon nabíječky než v autě. Ovšem tato technologie je mnohem náročnější než AC řešení, tedy cena stanice je mnohem vyšší a zároveň je řešení mnohem složitější z hlediska hardware a software. Elektromobil nelze jednoduše napájet z domácí sítě, ale je potřeba mít v domácnosti tzv. DC WallBox, který přemění střídavé napájení na stejnosměrné, což je dražší metoda, která však umožní rychlejší nabíjení v domácnosti.

1.1.2 Nabíjení elektrických vozidel pomocí bezdrátového přenosu energie (WPT)

Jedná se o málo rozšířený způsob nabíjení, jelikož je hůře aplikovatelný a teprve vznikají první standardizace. Tato metoda nabíjí vozidlo bezdrátově s výkonem 3,3, 7, 11 nebo 22 kW a je možné ho nabíjet i během jízdy, díky tomu by se mohla snížit kapacita baterie. Tato technologie však může mít i neblahé účinky kvůli silnému magnetickému poli a zároveň pracuje na frekvenci okolo 100 kHz, což aktuálně může rušit mnoho jiných zařízení [1].

1.2 Topologie procesu nabíjení dle DIN 70121

Celý proces od začátku až do konce nabíjení je standardizován, což znamená, že se program musí řídit určitými požadavky, které jsou dány pro stejnosměrné nabíjení v normě DIN SPEC 70121. Některé procesy během nabíjení se však mohou přidat, či odebrat. Nabíjení na některých stanicích může být totiž zdarma, čímž se může vypustit identifikace zákazníka a jeho následná platba.



Obrázek 1 – Nabíjecí blokové schéma podle normy DIN SPEC 70121 [2]

1.2.1 Identifikace zákazníka a platba

Po připojení konektoru do auta se začíná nastavovat relace, tedy vozidlo odešle zprávu stanici, ve které se nachází ID kontroléru nabíjeného vozidla a jeho MAC adresa. Po následném potvrzení stanicí se vyhledává způsob placení, kde je možnost zaplatit přímo ve stanici, nebo pomocí externí platby, což může být například pomocí RFID čtečky. Norma DIN SPEC 70121 neposkytuje žádné další služby kromě externí platby, ale přesto vozidlo odešle požadavek na platbu po dokončení fáze zjišťování služeb a stanice mu poté odpoví o proběhnutí platby.

1.2.2 Požadavky stanice a vozidla

Po proběhnutí platby elektromobil odešle zprávu do nabíjecí stanice. Tato zpráva obsahuje základní informace pro nabíjení, mezi něž patří aktuální stav vozidla a maximální nabíjecí napětí, proud a výkon. Stanice pošle vozidlu informace o svém aktuálním stavu a její maximální dostupné napětí, proud a výkon.

1.2.3 Proces nabíjení

Vzhledem k tomu, že by kabel mohl být poškozen, provádí se jeho kontrola tzv. „Cable check“. Tuto kontrolu provádí stanice a výsledek se odešle do vozidla. V další části „Pre Charge“ se výstupní napětí DC měniče přizpůsobuje, co nejlépe vstupnímu napětí vozidla. Aby nedošlo k vysokým zapínacím proudům, je nutné pro tuto činnost použít rezistor. Toto probíhá tak dlouho, dokud se nesrovná napětí měniče s napětím baterie

vozidla, nebo nedojde vypršení časového limitu. Srovnáním napětí se stanice dostane do další fáze nabíjení, což je „Power Delivery“ tedy dodávání elektrické energie do vozidla. Tím je sepnut DC kontaktor a odepnut Precharge kontaktor. Elektromobil během procesu posílá požadavky do stanice tzv. „Current Demand“, aby se vozidlo nabíjelo požadovaným proudem. Po vyžádání „Session Stop“ uživatelem nebo vozidlem je nabíjecí proces ukončen a DC kontakty v autě jsou rozepnuty poté, co je proud snížen měničem. Do stanice se posílají informace o aktuálním stavu vozidla a 100 % nabití či požadavky na cílové napětí a proud z DC měniče. Do vozidla se posílají informace o aktuálním stavu nabíječky, nebo o aktuálním výstupním napětí a proudu měniče. Po dokončení procesu nabíjení se na volitelný požadavek vozidla zkontrolují jeho DC kontakty, kvůli možnosti svaření kontaktů. Po této kontrole je relace nabíjení dokončena a auto o tom informuje nabíjecí stanice [2][3].

1.3 Standardizované AC a DC zásuvné konektorové systémy

Ve světě existuje vícero standardizací, které se liší podle zemí a podle druhu nabíjení, tedy střídavého nebo stejnosměrného. V Evropě je hlavním standardem pro nabíjení CCS typ 2 a v menším měřítku i CHAdeMO pro DC a Typ 2 (Mennekes) pro AC. Pro různé standardy je taky určen maximální výstupní výkon, který je omezen maximálním možným napětím i proudem.



Obrázek 2 – Standardizované konektory ve světě [4]

1.3.1 Nabíjecí systém DC CHAdeMO

Tento standard byl vyvinut v roce 2005 v Japonsku pro stejnosměrné nabíjení a aktuálně se převážně používá v Asii, přičemž nejvíce je používána v Číně se zastoupením ve 40 % vozidel, ale v menším množství se používá zároveň v Evropě, kde má zastoupení ve 25 % vozidel. Komunikace probíhá pomocí sběrnice CAN a tento standard slouží pouze pro DC nabíjení. Nejnovější generace CHAdeMO umožňuje obousměrné nabíjení,

což znamená nabíjení baterie vozidla nebo napájení z baterie zpět do sítě v případě nutnosti. Konektor je certifikován standardy IEC 61851-23, IEC 61851-24 a 62196-3 a v Evropské unii je konektor schválen pro napětí do 500 V. CHAdeMO protokol má možnost nabíjet od 6 kW až do 400 kW, ale aktuální nabíjecí stanice nedosahují výkonu většího než 100 kW, přesto se připravuje možnost nabíjet až 900 kW [1][5].

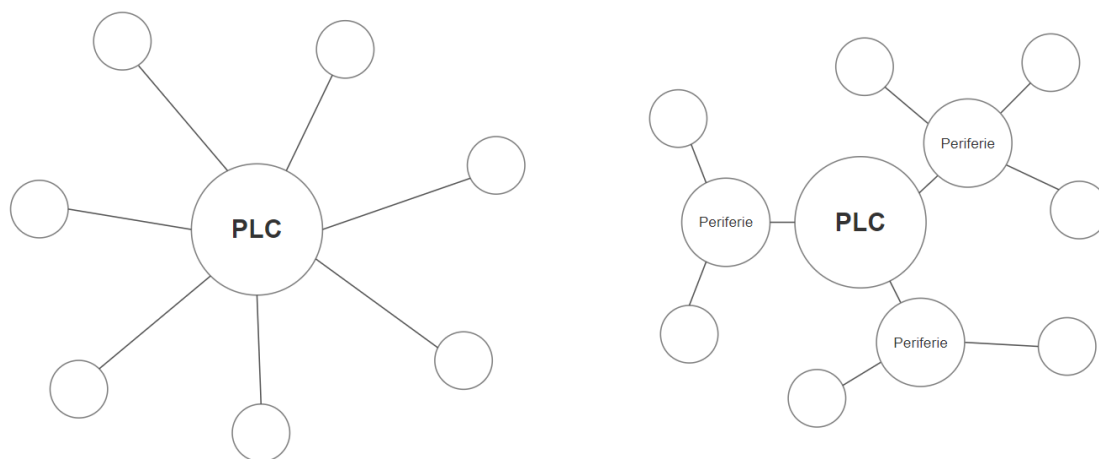
1.3.2 Nabíjecí systém DC CCS typ 2

Tento systém byl vyvinut v roce 2011 v Německu pro stejnosměrné nabíjení, kde cílem bylo vytvořit standard, který bude mít rozhraní pro AC i DC. Postupně se ve světě začíná čím dál více používat právě kvůli jednotnému rozhraní a inovativnosti oproti CHAdeMO. V Severní Americe se používá CCS typ 1, jehož komunikační rozhraní je identické, tedy můžeme nabíjet stejnosměrně s nabíječkou CCS typu 1 do CCS typu 2 a opačně s použitím redukce. Tento systém je certifikován standardy IEC 61851, IEC 62196-3, IEC 15118-2 či německého DIN SPEC 70121 [1]. Tento standard v budoucnu umožní obousměrné nabíjení, přičemž nyní lze nabíjet elektromobil od 5 kW až do 350 kW a je schválen pro napětí do 920 V [6].

1.3.3 Nabíjecí systém AC Typ 2 (Mennekes)

Tento systém byl vyvinut v roce 2011 v Německu společností Mennekes pro střídavé nabíjení, kde cílem bylo vytvořit evropské rozhraní pro AC kvůli tomu, že evropské přenosové sítě mají vyšší kapacitu a v téměř každé domácnosti je dostupné třífázové napětí. To umožňuje v domácnosti rychleji nabíjet elektromobil. Tento systém je standardizován podle norem IEC 62196-2, IEC 15118-2 a IEC 61851 [7]. Maximální možné napětí je dáno maximálně do 500 V a 70 A se standardním výstupním výkonem 3,7, 22, 43 kW podle možností nabíječky ve vozidle a maximálního výstupního výkonu ze stanice [1].

1.4 Centralizace systému



Obrázek 3 – Rozdíl centrálního systému (vlevo) a decentrálního systému (vpravo)

1.4.1 Decentrální systém

Řídicí jednotka komunikuje skrze vhodnou komunikační sběrnici na decentrální periferie, kde se periferie podílejí na distribuovaném řízení. Jeho funkce tedy závisí především na komunikaci mezi zařízeními, které mohou být vzdáleny i stovky metrů. Toto řešení je velmi flexibilní z hlediska výměny jednotlivých komponentů a samotná součástka potom není nákladná. Umožňuje řešit velmi komplexní výstavbu složitých systémů s možností rozšíření o další periferie a vzhledem k decentralizaci zařízení se ušetří na kabeláži a zároveň se zmenší riziko rušení.

1.4.2 Centralizovaný systém

Řídicí jednotka je v kompaktní jednotce, ve které se zároveň nachází i ostatní periferie jako vnější teplotní snímače, digitální i analogové vstupy i výstupy, či speciální periferie pro AC i DC, která umožňuje komunikovat s autem. Jeho funkcionalita je tedy jednodušší v tom, že je vše integrováno v jedné jednotce a je kompaktní, jednoduchý na údržbu, avšak je zde vyšší riziko poruchy a následná vyšší cena za výměnu [8].

1.5 Identifikace zákazníka a proces nabíjení

Autentifikaci zákazníka lze provést pomocí několika možností, přičemž první je kompletně zdarma a zákazník se nemusí přihlašovat. Nejběžnější metoda využívá protokol OCPP, kterým se komunikuje s backend systémem, což může být například aplikace pro přihlášení na telefonu či na webovém rozhraní. Pomocí přístupu „ANY RFID“ je umožněno komukoliv s RFID kartou se autentifikovat přiložením ke čtečce, jelikož účet za elektřinu platí například firma. Další z možností je RFID whitelist, který umožňuje nabíjet pouze čipům, které jsou povoleny ve stanici.

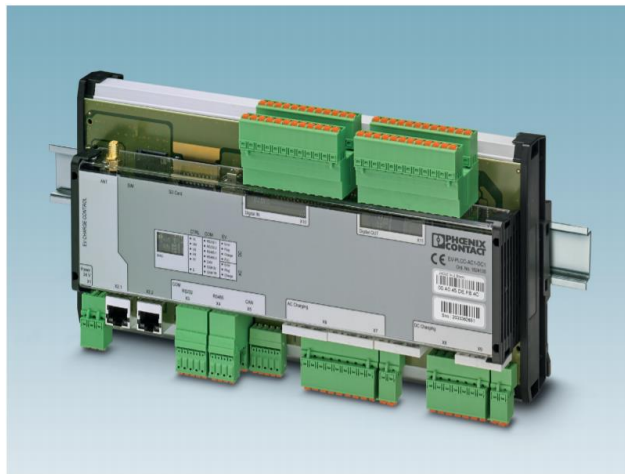
Jakmile se uživatel identifikuje u stanice a vybere si kterým typem konektoru chce nabíjet, tak připojí konektor do auta a začne se inicializovat spojení mezi vozidlem a nabíječkou. Po úspěšné inicializaci a vnitřních kontrolách se automobil začne nabíjet s maximálním výkonem do 80 % kapacity, poté se nabíjení baterie zpomalí, aby se tím prodloužila její životnost. Kabel se nedá během nabíjení odpojit, pokud se uživatel neodhlásí, nebo dokud neskončí nabíjecí proces, po kterém se zámek kabelu odpojí sám a může ho využít jiný uživatel.

1.6 Příklad řešení kompaktního systému

Phoenix Contact je jedním z největších průkopníků v oblasti elektromobility a nabíjecích stanic, který dodává velké množství komponent ke stanicím a vyvinula také svůj vlastní kontrolér pro nabíjecí stanici, avšak vlastní stanici nevytvořila, jelikož dodává řídicí systém s mnoha dalšími komponenty firmám zabývajících se elektromobilitou.

Tento kontrolér je navržen centralizovaně a nachází se v něm řídicí jednotka, analogové a digitální vstupy i výstupy, senzory teploty Pt1000 a také komunikační rozhraní RS-232, RS-485, CAN a Ethernet. Pro bezdrátové připojení se zde využívá GSM modul. Tento kontrolér můžeme využít, jak pro AC nabíjení

v souladu s normou IEC 61851-1, tak pro DC nabíjení v souladu s normou ISO 15118-2 i DIN SPEC 70121 a zároveň podporuje současně nabíjení pomocí AC Typ 2 (Mennekes), DC Chademo a DC CCS typ 2. K systému lze dále napřímo připojit vizualizační panel Phoenix Contact, které není třeba složité nastavovat. V programovacím prostředí jsou knihovny, kde se nachází funkční bloky, které slouží přímo pro komunikaci s vozidlem. Cena tohoto zařízení se pohybuje okolo 3500 € [9].



Obrázek 4 – Kontrolér Phoenix Contact EV-PLCC-AC1-DC1 [9]

1.7 Příklad řešení distribuovaného systému

Siemens je jedním z největších výrobců elektroniky a mezi jeho záběr patří i elektromobilita, avšak s rozdílným přístupem. Siemens na řízení stanice používá jejich standardní PLC, ke kterému periferně připojuje moduly.

Jedním z příkladů distribuovaného systému je řešení stanice Siemens CPC 50 kW. Tato stanice je konfigurovatelná podle požadavku zákazníka, kdy v plné konfiguraci je možné nabíjet elektromobil pomocí standardů CCS 2.0, CHAdeMO či Mennekes a nabíjet lze pomocí AC Typ 2 (Mennekes) a DC (CHAdeMO nebo CCS typ 2) současně, ale nabíjet paralelně DC (CHAdeMO) a DC (CCS typ 2) možné není. Stejnoseměrný maximální výstupní výkon je 50 kW, ale ten je možno omezit podle nastavení uživatele. Maximální střídavý výstupní výkon je 22 kW, ale může být i 43 kW, avšak takový výkon lze využít jen pro velmi limitovaný druh aut z důvodu nákladnější nabíječky. Cena takové stanice se pohybuje podle výběru konfigurace v rozmezí 20000–30000 €.

1.7.1 Hardwarové řešení

Celá sestava pracuje jako distribuovaný systém. Jeho řídicí jednotkou je hardwarové PLC CPU1515SP PC, která spolupracuje se softwarovým PLC CPU1505SP V2.1, jež slouží pro komunikaci pomocí OCPP protokolu s backend systémem. K hardwarovému PLC jsou pomocí sběrnice Profibus připojeny decentrální periferie jako digitální a analogové vstupy i výstupy. Na periférii se dále nachází karta TM ECC 2×PWM 12 V ST, která slouží pro komunikaci během AC nabíjení a modul SIPLUS ECC 3200 pro komunikaci během DC nabíjení. Pro stejnosměrné nabíjení se nejdříve převádí napětí střídavé na

stejněsměrné pomocí usměrňovače. Toto napětí pokračuje do DC/DC měniče SINAMICS DCP Master 120 kW, které může upravovat výstupní výkon podle napětí a proudu.

1.7.2 Vizualizace

Pro vizualizaci se používá panel HMI TP900 COMFORT s rozlišením 480×800 pixelů. Nejdříve se zobrazuje obrazovka, na které se vybírá typ nabíjecího kabelu a jazyková mutace, nebo po přihlášení lze vejít do servisního menu. V servisním menu lze nastavit uživatelské rozhraní, či nastavovat různé parametry jako maximální výstupní výkon, nebo zobrazit různé informace o teplotě, celkové spotřebě, počtu uživatelů, aj. Po identifikaci a připojení nabíječky do vozidla, se zobrazí základní informace o nabíjení (viz Obrázek 7), pokud by došlo k nějaké komplikaci, vyobrazí se vyskakovací okno. Po dokončení nabíjení se znovu zobrazí úvodní obrazovka [10].

1.7.3 Parametry

Vstupní parametry:

Vstupní napětí:	Třífázové napětí 400 V ± 10 %
Kmitočet:	47–63 Hz
Cos φ:	0,98
Účinnost při 50% zatížení:	>0,97
Účinnost:	94 %

Výstupní parametry:

Pro AC

Maximální výstupní výkon:	22 kVA nebo 43 kVA
Maximální výstupní proud pro 22 kVA:	32 A
Maximální výstupní proud pro 43 kVA:	63 A

Pro DC

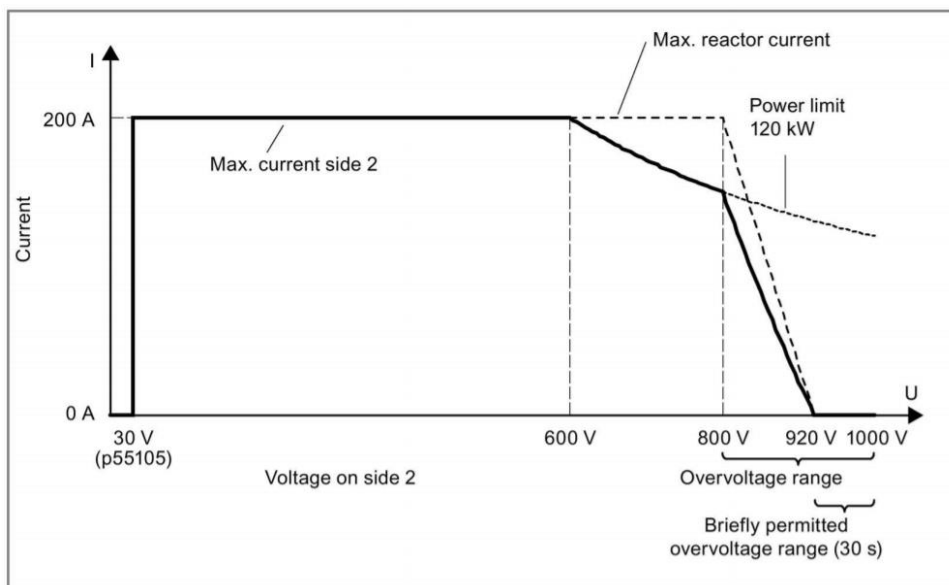
Maximální výstupní výkon:	50 kW
Rozsah výstupního napětí DC:	200-920 V
Rozsah výstupního proudu DC:	5-125 A

Parametry byly vyčteny z provozního manuálu stanice [10].

Výpočet výstupního DC proudu:

Jedná se o vzorový příklad pro elektromobil s 800 V technologií a maximálním výstupním výkonem stanice.

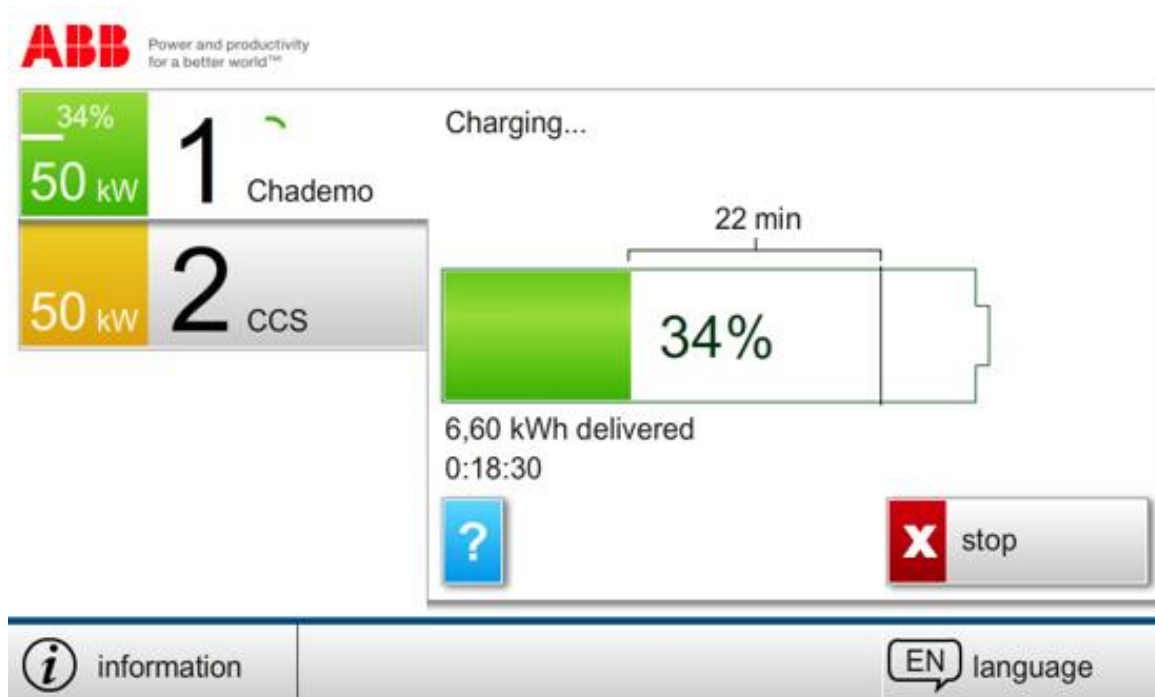
$$I = \frac{P}{U} = \frac{50000}{800} = 62,5 \text{ A}$$



Obrázek 5 – Výkonová charakteristika měniče DCP Master 120 kW [11]

1.8 Příklady grafického rozhraní

Mnoho společností vytváří vizualizace především pro výkonné rychlonabíjecí stanice, jelikož u menších nabíjecích stanic se to cenově nevyplatí. První vizualizace je od společnosti ABB (viz Obrázek 6) a další je od společnosti Siemens (viz Obrázek 7).



Obrázek 6 – Vizualizace společnosti ABB [12]



- ① stav nabíjení slovně
- ② stav nabíjení graficky
- ③ čas do dosažení 100 % nabití
- ④ čas ukončení
- ⑤ aktuální doba nabíjení (39 s)
- ⑥ nabitá energie [max. dostupná energie od provozovatele]
- ⑦ čas ukončení
- ⑧ čas do dosažení 80 % nabití
- ⑨ skutečné hodnoty: napětí, proud a výkon

Obrázek 7 – Vizualizace společnosti Siemens [10]

2 Návrh vlastní rychlonabíjecí stanice

Součástí této práce je navrhnout vhodné komponenty pro nabíjecí stanici. Jelikož na trhu není mnoho možností výběru řídicích jednotek, které by měly podporu komunikace s autem, zvolil jsem si vybrat mezi řešením společností Siemens a Phoenix Contact, které se zabývají přímo tímto segmentem a dominují na tomto trhu. Každá ze společností však nabízí úplně jiná řešení řídicí jednotky, jejichž specifika jsou posuzovány v následujícím textu.

2.1 Zhodnocení řešení Phoenix Contact

Phoenix Contact vytvořila řídicí jednotku přímo pro nabíjecí stanice s potřebnými komponenty pro celkovou funkcionalitu, s možností nabíjet pomocí dvou různých standardů DC nabíjení a jednou pomocí AC zásuvného konektorového systému.

Výhody:

- jednoduchost
- nižší cena
- kompaktnost

Nevýhody:

- v případě poruchy se musí vyměnit celá jednotka
- možnost řízení pouze jedné stanice
- menší flexibilita

2.2 Zhodnocení řešení Siemens

Siemens oproti tomu vytvořil AC a DC karty pro komunikaci s autem, které se dají připojit periferně k řadě PLC S7–1500, k nimž se poté musí připojit další potřebné moduly.

Výhody:

- řídit se může jedna či více stanic v závislosti na zvoleném PLC
- flexibilita ve volbě komponentů
- v případě poruchy se vymění pouze jeden komponent

Nevýhody:

- vyšší cena
- složitější hardwarové řešení
- méně kompaktní

2.3 Volba systému

Nejdříve jsem zhodnotil jednotlivá řešení, přičemž mi byla nabídnuta pomoc od zástupce společnosti Phoenix Contact panem Ing. Josefem Růžkem, jenž pracuje na pozici produktového inženýra a od zástupce společnosti Siemens Václavem Kloudou, který pracuje na pozici lektora programování řídicích jednotek.

Obě z možností mají své výhody a nevýhody, ale z mého pohledu má jedno řešení několik možností využití a tím je řídicí jednotka společnosti Siemens, ve které mohu vyvinout systém pro nabíjení jak jedné stanice, tak několika DCFC řízené jedním decentralizovaným PLC.

Zároveň v půli roku 2020 byla vydána nová komunikační karta pro komunikaci s elektromobilem od společnosti Siemens. Díky této kartě je možno vyvinout první české řešení založené na tomto komponentu, které může mít i širší potenciál využití, přičemž velkou výhodou pro mou práci jsou zkušenosti získané s vytvářením vizualizací a programováním komponentů společnosti Siemens, které jsem získal během práce v průmyslu za poslední dva roky.

Po zvolení systému jsme se dohodli s vedoucím práce na schůzce se zástupcem společnosti Siemens panem Václavem Kloudou a řešili jsme možnosti spolupráce na mé bakalářské práci. Byla mi nabídnuta možnost, pracovat v této firmě v týdnu i o víkendu a zároveň mi bylo nabídnuto technické zázemí v budově Siemensu, v Bradleci s tím, že mým konzultantem bude pan Václav Klouda.

3 Koncept nabíjecí stanice

3.1 Použité komponenty

V předchozí kapitole jsem navrhl řízení stanice pomocí Siemens komponent, ty se skládají především z řídicí jednotky, vizualizačního panelu HMI, přídatných periférií pro RS-485 a RS-232 komunikaci, komunikaci s autem či analogové a digitální vstupy a výstupy. Většina komponentů byla zvolena vzhledem k rešerši a doporučení vedoucím a konzultantem, ale některé z komponentů byly zvoleny podle dostupnosti.

3.1.1 Řídicí jednotka

Komunikační karta ET 200SP TM ECC PL ST PLC vyžaduje k optimální funkci PLC řady S7-1500. Proto jsem pro tuto práci zvolil Siemens PLC 1513-1 PN, které patří do této řady a zároveň bylo okamžitě k dispozici pro realizaci mé práce. Výhodou tohoto systému je, že se stanicí může komunikovat vzdáleně pomocí sběrnice Profinet a vzhledem k vyššímu výkonu je možné řídit více stanic pouze jedním PLC.



Obrázek 8 – Siemens PLC 1513-1 PN [13]

3.1.2 Periferie

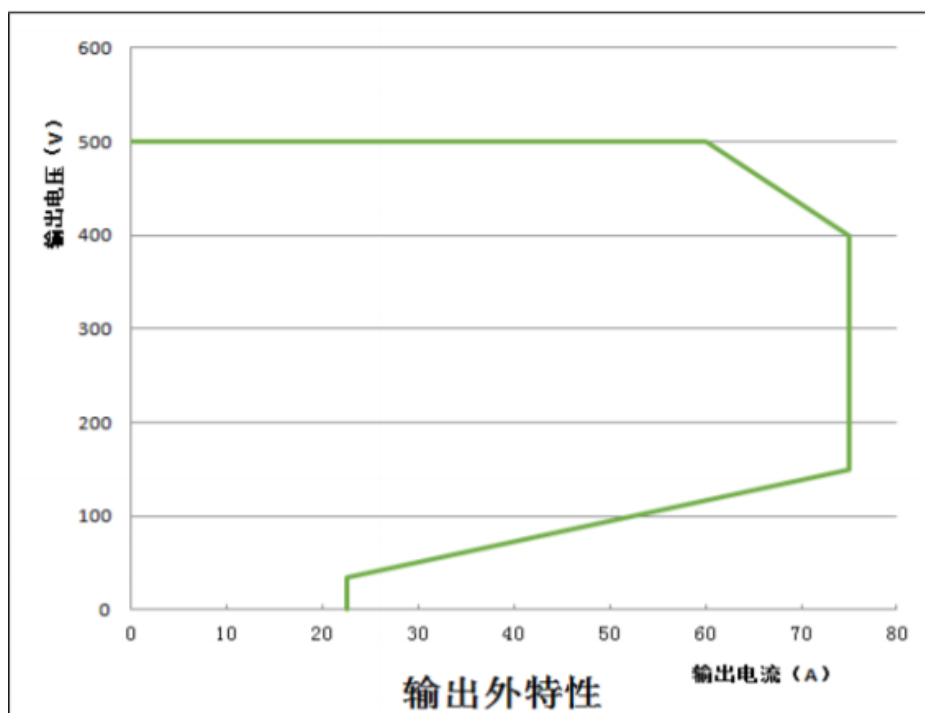
Celá periferie je napájena pomocí průmyslového DC zdroje s výstupním napětím 24 V a maximálním výstupním proudem 5 A. Pro komunikaci s nabíjecím modulem UR50060 a měřicím přístrojem isoEV425 a AGH420 jsem si zvolil periferie komunikující po RS-485 komunikaci a pro čtečku RFID karet je potřeba RS-232 komunikační karta. Jelikož se měří teploty v konektoru kabelu CCS typu 2, je potřeba i analogová vstupní karta a kvůli výkonovým kontaktům a sdělovacím relé je potřeba vstupní i výstupní digitální karta. Klíčovou periferií mého konceptu stanice je karta ET 200SP TM ECC PL ST PLC zajišťující komunikaci s vozidlem dle standardu CCS 2.0.

3.1.3 Nabíjecí modul

Pro nabíjení jsem si zvolil spínaný zdroj UR50060 od čínské společnosti UUGreenPower, jež je vytvořen přímo pro rychlonabíjecí stanice s maximálním možným výkonem až do 30 kW. Je zde možnost komunikovat pomocí CAN nebo Modbus komunikace. Modul je vzhledem k jeho vysokému výstupnímu výkonu velmi kompaktní s rozměry 300 × 84 × 437,5 mm a zároveň je relativně cenově dostupný. Jeho výstupní napětí je nastavitelné od 150 V do 500 V s maximálním možným výstupním proudem 80 A. Mezi dalšími vlastnostmi jsou nízká spotřeba v nečinnosti, vysoká účinnost a plná vnitřní diagnostika.



Obrázek 9 – Nabíjecí modul UR50060 s výkonem 30kW [14]



Obrázek 10 - Výkonová charakteristika měniče UR50060 [15]

3.1.4 Vizualizační panel

Vzhledem k přehlednosti jsem zvolil pro zobrazení SIMATIC HMI TP1200 Comfort panel s větším a dotykovým displejem s rozlišením 1280x800 pixelů. Je napájen 24 V a komunikace s PLC probíhá pomocí sběrnice Profinet.

3.1.5 Měřicí přístroj izolačního odporu a napětí

Přímo pro nabíjecí stanice vytvořila společnost Bender měřicí přístroje isoEV425 a AGH420, které zároveň měří izolační odpor a napětí, jež se zobrazuje přímo na displeji přístroje, nebo je možno zde získávat informace pomocí BMS protokolu, Modbus RTU či IsoData stringu. Přístroj dokáže měřit hodnoty napětí v rozmezí 0–1000 V a je napájen pomocí 24 V.



Obrázek 11 – Měřicí přístroj isoEV425 a AGH420 [16]

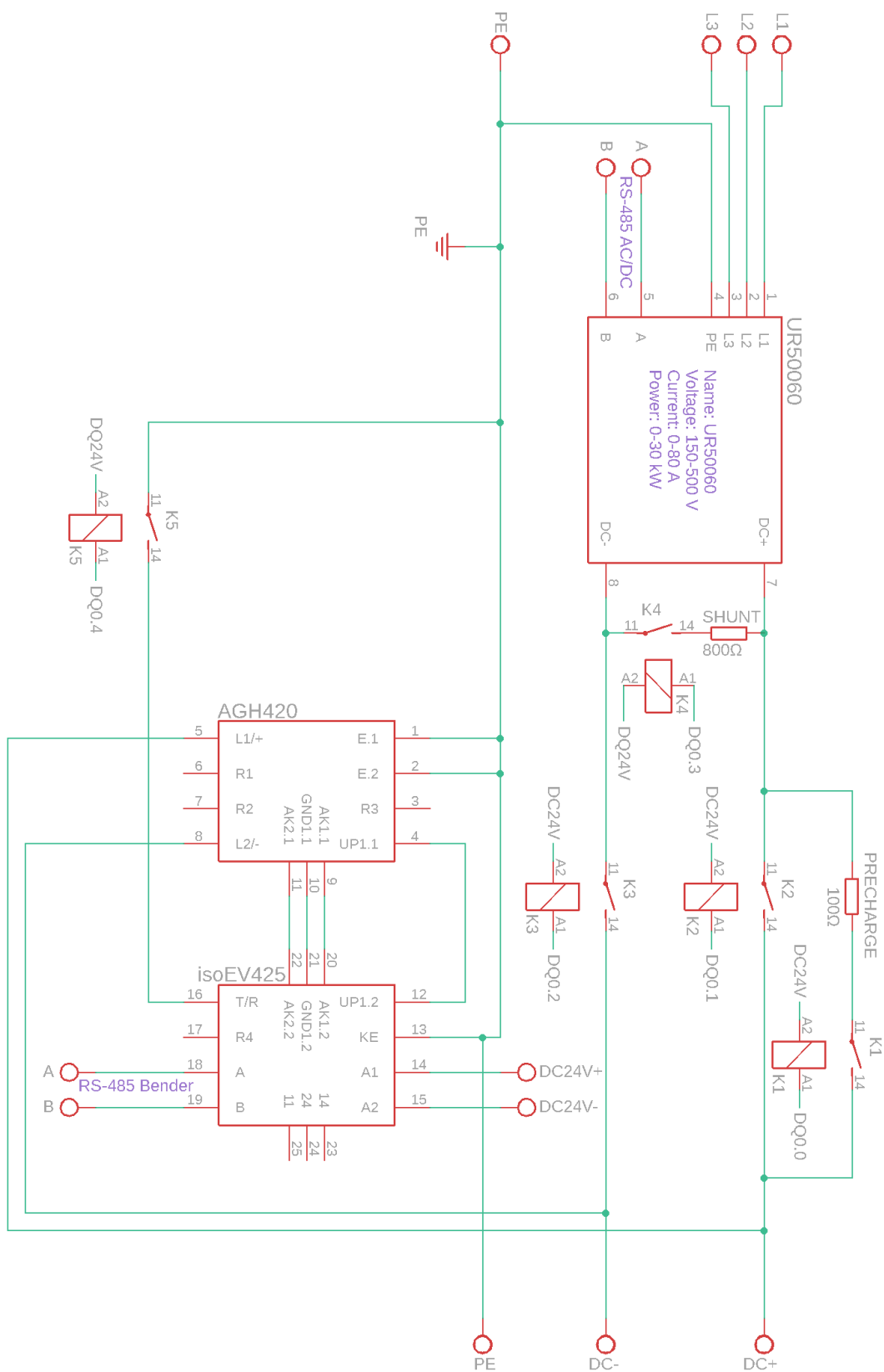
3.1.6 Nabíjecí kabel

Pro nabíjení je použit nabíjecí kabel od společnosti Phoenix Contact, který může nabíjet až výkonem 150 kW s maximálním možným napětím 1000 V a proudem 150 A bez potřeby chlazení. V kabelu se dále nachází dvě teplotní čidla PT1000 pro měření teploty, aby nedošlo k přehřátí.

3.1.7 Ostatní komponenty

Pro základní zapojení je potřeba dvou rezistorů, přičemž jeden se používá jako precharge rezistor, aby nedocházelo k vysokým zapínacím proudům a discharge rezistor je použit jako zátěž k rychlému poklesu napětí na nabíjecím modulu. Jelikož se používají jen v určitých částech procesu nabíjení, tak jsou ovládány pomocí relé a kontaktoru. Celkem jsou v obvodu použity 3 kontaktory a 2 relé. Dále je ve stanici použito teplotní čidlo Pt100, který měří pouze okolní teplotu. Kvůli bezpečnosti je na stanici umístěno tlačítko nouzového zastavení a jednofázový i trojfázový jistič na vstupu, jehož maximální propustný proud je 35 A, což omezuje výkonově stanici na $17,5 \text{ kW} \pm 10 \%$. Dalšími komponenty jsou laboratorní stojan, hliníkové desky, lišty, kabeláž, držák kabelu CCS typu 2, svorkovnice aj.

3.1.8 Blokové schéma zapojení



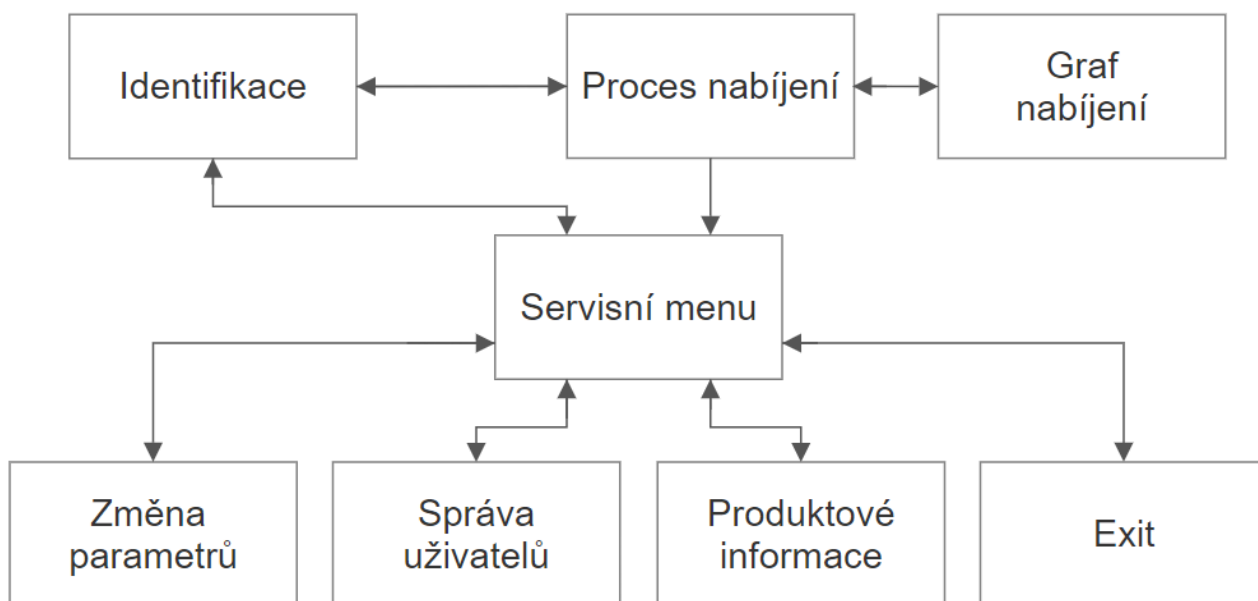
Obrázek 12 – Základní schéma zapojení pro DC nabíjení

3.2 Vizualizace

Návrh HMI je jedním z klíčových bodů zadání této práce, přičemž vizualizace se také vytváří v programu TIA Portal ve vizualizačním prostředí WinCC Advanced. V požadavcích od vedoucího práce bylo koncipovat HMI tak, aby DCFC byla schopna uživateli poskytovat podrobné provozní a diagnostické informace a sloužit tak jako technologický demonstrátor. Velké části uživatelů stačí znát informace o tom, zda se auto nabíjí, a proto se i spousta obecných technických parametrů vynechává.

Požadavky vedoucího práce:

- Uživatelsky přívětivá vizualizace s rychlým procesem identifikace
- Přihlášení pomocí RFID karty nebo čtyřmístného hesla
- Přidat technické parametry týkající se nabíjení
- Vytvořit graf průběhu nabíjení
- Servisní menu s možností změny parametrů
- Správa uživatelů



Obrázek 13 – Blokové schéma vizualizace

3.2.1 Identifikace uživatele

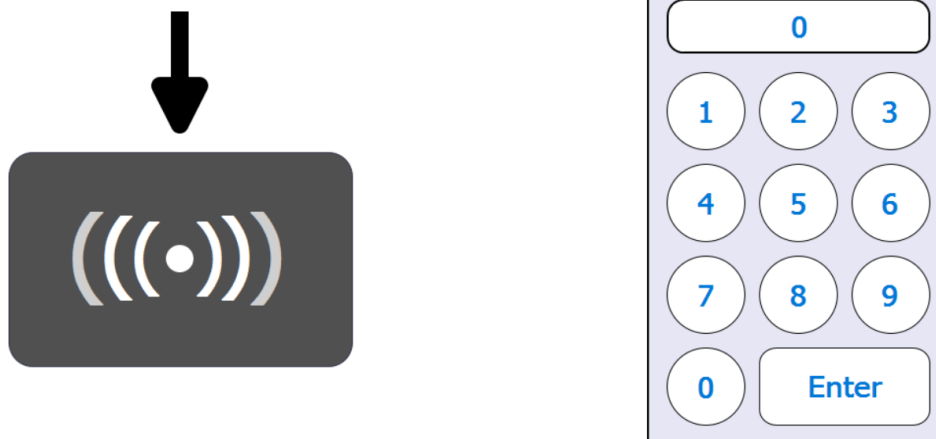
Každá z obrazovek používá šablonu (viz Obrázek 14), která slouží pro zobrazování informací, navádění uživatele, možností vstoupit do servisního menu či měnit jazyk. V jazykové volbě je možnost volit český nebo anglický jazyk. Uprostřed menu se zobrazuje datum a čas spolu s místem pro loga provozovatele stanic. Pouze autorizovaná osoba může vstoupit do servisního menu při potřebě změnit parametry, nebo zobrazit potřebné informace. Textové pole navádí uživatele nebo správce, a to i v případě chybných úkonů.

První obrazovka slouží pro identifikaci uživatele a zároveň jako úvodní menu (viz Obrázek 15), kde se uživateli nabízí možnosti přihlášení pomocí RFID karty, pokud je přidána v systému, tak povolí držitelé karty nabíjet vozidlo. Pokud se však uživatel přihlásí pomocí čtyřmístného hesla, tak se tím autorizuje jako speciální servisní účet.



Obrázek 14 – Template pro všechny HMI

Přiložte identifikační kartu k RFID čtečce




Experimentální rychlonabíjecí stanice CCS 30 kW

Obrázek 15 – Identifikační obrazovka

3.2.2 Proces nabíjení

Po autorizaci se otevře obrazovka průběhu nabíjení (viz Obrázek 16), v němž se zobrazuje proces inicializace komunikace jak vizuálně, tak pomocí textu. V případě, že znak CCS je zšedivělý, tak vozidlo není připojeno. V případě připojení konektoru do vozidla grafický symbol bliká, což signalizuje jeho inicializaci. Jakmile znak svítí zeleně, značí se tím, že se vozidlo nabíjí, což je vidět i v zobrazovaných technických parametrech, které ukazují informace o době nabíjení, zbývající doby do nabití, nabitě kapacitě, aktuálním napětí, proudu a výstupním výkonu. Dále je možno si pomocí tlačítka “Graf” zobrazit průběh nabíjení (viz Obrázek 17), jenž vznikl pro experimentální účely a ukazuje aktuální hodnotu nabíjení v kW od začátku procesu nabíjení až po jeho dokončení, nebo pomocí tlačítka “odpojit” lze zrušit proces nabíjení.

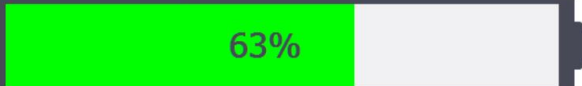
Graf nabíjení



Odpojit

Parametry nabíjení

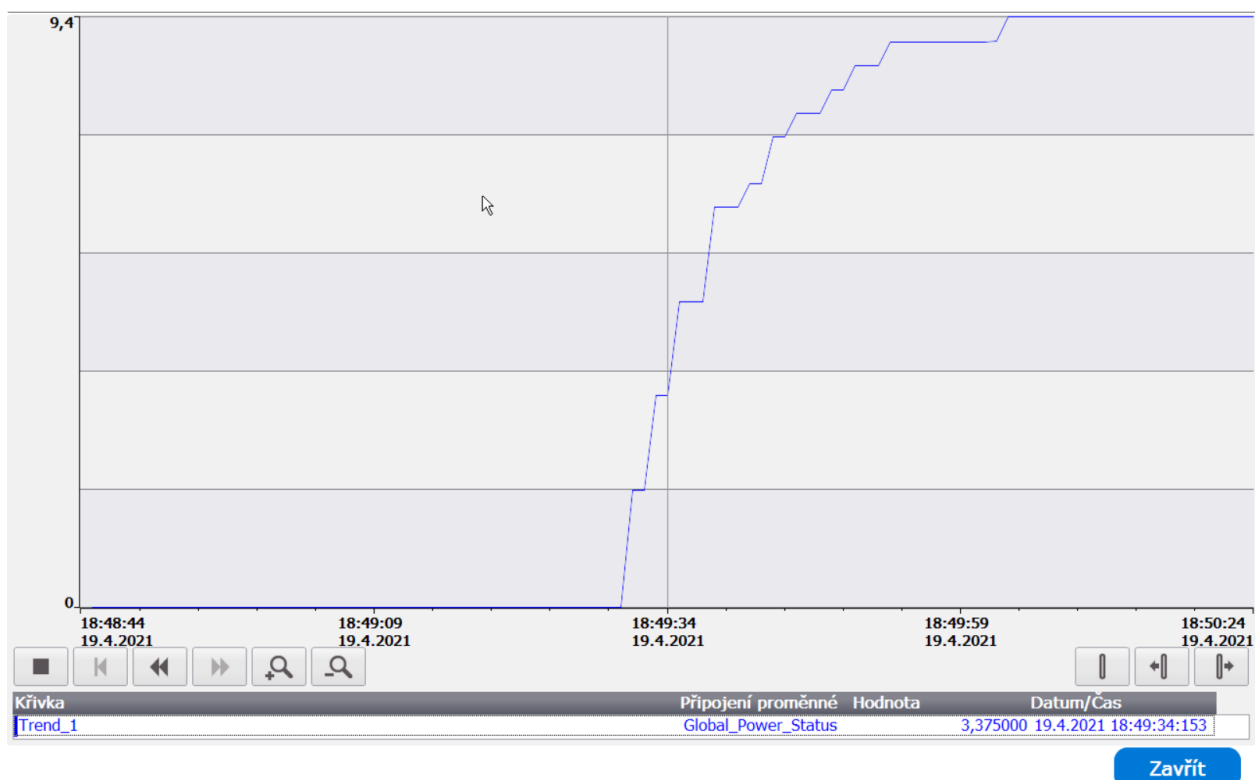
Napětí:	376 V
Proud:	25 A
Nabíjecí výkon:	9,4 kW
Doba nabíjení:	0:01:47
Zbývá do nabití:	2:49:00
Nabitá kapacita:	0,243 kWh



63%

Experimentální rychlonabíjecí stanice CCS 30 kW

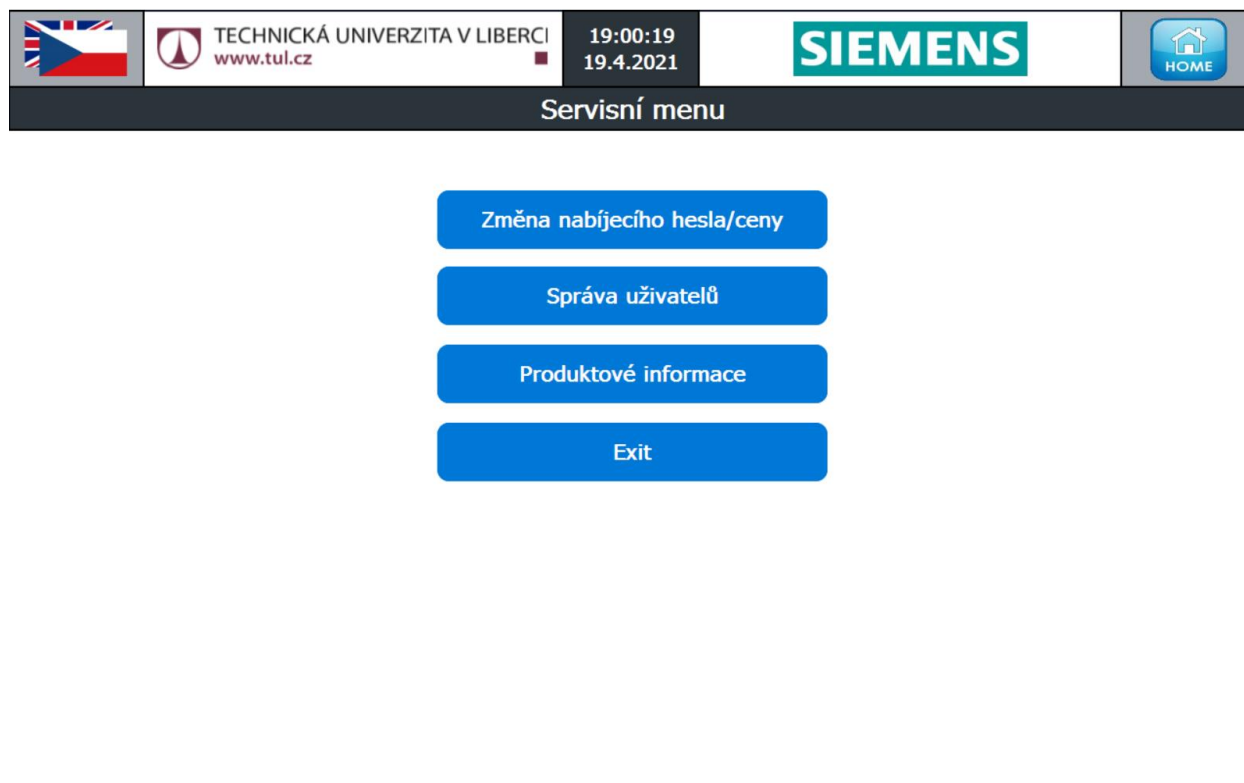
Obrázek 16 – Obrazovka při procesu nabíjení



Obrázek 17 – Graf procesu nabíjecího výkonu v kW

3.2.3 Servisní menu

Toto je hlavní servisní menu, ve kterém se lze dostat do požadovaného podmenu a zároveň se tu nachází exitové tlačítko do systému HMI. Pouze autorizovaná osoba se může dostat do servisního menu a podmenu.



Obrázek 18 – Obrazovka servisního menu

Servisní podmenu

V prvním podmenu (viz Obrázek 19) je možno měnit různé parametry stanice, kde hlavními parametry jsou omezení nabíjecího výkonu stanice do maximálního výkonu DC zdroje, což je 30 kW. Dalšími parametry jsou limitace napětí a proudu, které lze měnit podle jejich minimálních a maximálních mezí. Dále je zde možno měnit pomocí dvojí kontroly čtyřmístný pin pro nabíjení, nebo tu lze měnit cenu za nabití 1 kWh. Podmenu správy uživatelů (viz Obrázek 20) je vyobrazeno ve formě listů po 15 uživatelích, přičemž vizualizace nabízí zobrazit nanejvýš 90 uživatelů a jednoho speciálního, který se přihlašuje pomocí čtyřmístného pinu. Pro správné vložení zákazníka je potřeba zapsat jeho jméno i příjmení a ke čtečce přiložit RFID kartu. Po vložení těchto informací je možno uživatele přidat a zobrazí se v listu, ve kterém je i možnost odebrání. V podmenu produktových informací (viz Obrázek 21) se zobrazují základní a technické informace o stanici mezi něž patří informace o maximálním možném napětí, proudu a výkonu stanice. Dále z kabelu CCS typu 2 se zobrazují dvě teploty DC+ a DC- a nakonec teplota uvnitř stanice. V obecných informacích lze nalézt informace o spuštění a poslední úpravě programu, heslu pro nabíjení, ceně za kWh, maximálním počtu uživatelů, nabíjecích cyklů, které stanice provedla a celkovém vydaném výkonu stanice.

Změna nabíjecího hesla

Nové heslo:

Potvrzení hesla:

[Potvrdit](#)

Změna ceny za kWh

Aktuální cena: 2,50 Kč

Nová cena:

Potvrzení ceny:

[Potvrdit](#)

Změna parametrů stanice

Maximální výkon:

Maximální proud:

Maximální napětí:

[Potvrdit](#)





Obrázek 19 – Obrazovka pro změnu parametrů

Přidejte nebo odeberte uživatele

ID	Jméno	Příjmení	RFID	Spotřeba v kWh	Spotřeba v CZK	Editace	Přidání uživatele
1	Tomas	Tomsa	92EBF3E50000	0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	Jméno: <input type="text"/> Příjmení: <input type="text"/> Přiložte RFID čip ke čtečce RFID karta: <div style="text-align: center;">Potvrdit</div> TUL uživatel Spotřeba v kWh: 0,00 kWh Spotřeba v CZK: 0,00 CZK
2				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
3				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
4				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
5				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
6				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
7				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
8				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
9				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
10				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
11				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
12				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
13				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
14				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	
15				0,00 kWh	0,00 Kč	Odstranit	

[Nahoru](#)
[Dolu](#)

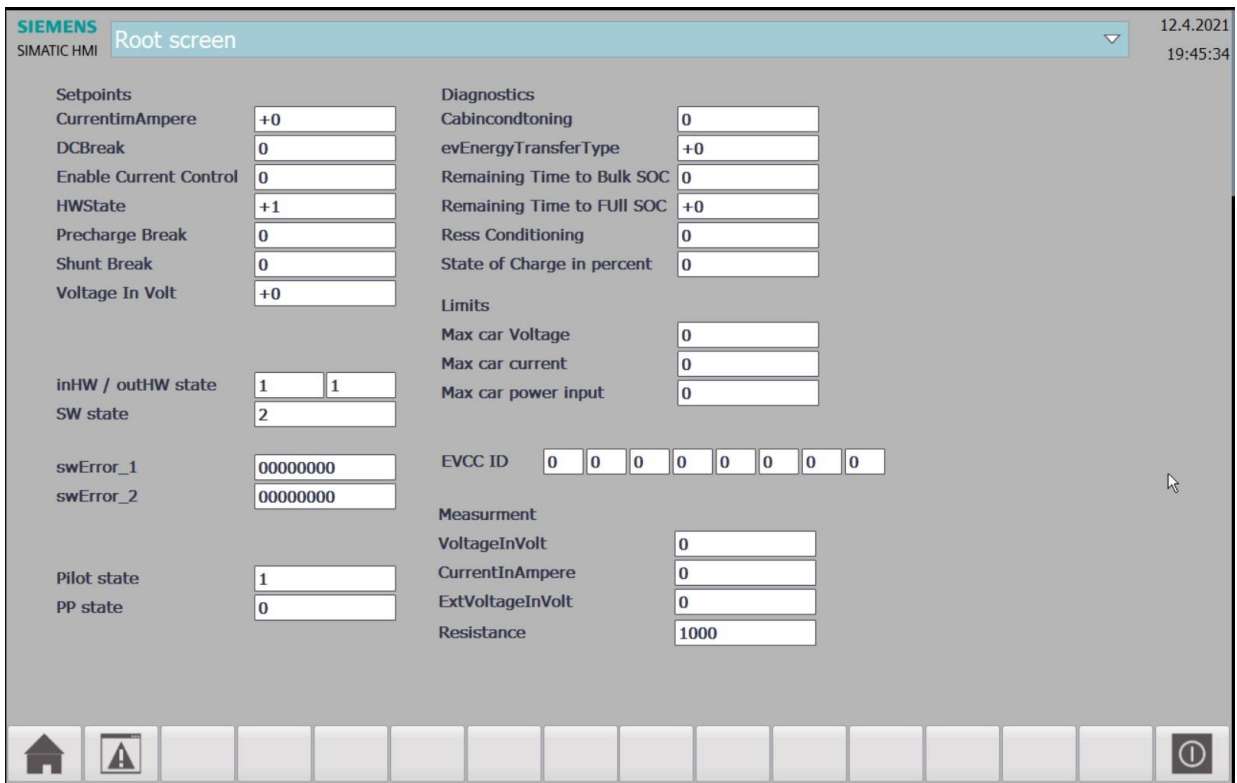
Obrázek 20 – Obrazovka správy uživatelů

	 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI www.tul.cz	19:04:26 19.4.2021																																				
Informace o nabíjecí stanici																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parametry stanice</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Maximální výkon:</td> <td>0 - 30 kW</td> </tr> <tr> <td>Limity napětí:</td> <td>150 - 500 V</td> </tr> <tr> <td>Limity proudu:</td> <td>0 - 80 A</td> </tr> <tr> <td>Podporovaný standard:</td> <td>CCS</td> </tr> <tr> <th colspan="2">Měřené teploty ve stanici:</th> </tr> <tr> <td>Teplota DC+:</td> <td>+10,86 °C</td> </tr> <tr> <td>Teplota DC-:</td> <td>+11,04 °C</td> </tr> <tr> <td>Teplota stanice:</td> <td>+19,40 °C</td> </tr> </tbody> </table>		Parametry stanice		Maximální výkon:	0 - 30 kW	Limity napětí:	150 - 500 V	Limity proudu:	0 - 80 A	Podporovaný standard:	CCS	Měřené teploty ve stanici:		Teplota DC+:	+10,86 °C	Teplota DC-:	+11,04 °C	Teplota stanice:	+19,40 °C	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Obecné informace</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Spuštěno dne:</td> <td>07.04.2021</td> </tr> <tr> <td>Poslední aktualizace:</td> <td>19.04.2021 18:35:48</td> </tr> <tr> <td>Aktuální cena kWh:</td> <td>2,50 Kč</td> </tr> <tr> <td>Aktuální heslo pro nabíje</td> <td>1234</td> </tr> <tr> <td>Celkem cyklů:</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Celkem nabito kWh:</td> <td>+122,32 kWh</td> </tr> <tr> <td>Maximální počet uživatelů:</td> <td>90</td> </tr> </tbody> </table>			Obecné informace		Spuštěno dne:	07.04.2021	Poslední aktualizace:	19.04.2021 18:35:48	Aktuální cena kWh:	2,50 Kč	Aktuální heslo pro nabíje	1234	Celkem cyklů:	15	Celkem nabito kWh:	+122,32 kWh	Maximální počet uživatelů:	90
Parametry stanice																																						
Maximální výkon:	0 - 30 kW																																					
Limity napětí:	150 - 500 V																																					
Limity proudu:	0 - 80 A																																					
Podporovaný standard:	CCS																																					
Měřené teploty ve stanici:																																						
Teplota DC+:	+10,86 °C																																					
Teplota DC-:	+11,04 °C																																					
Teplota stanice:	+19,40 °C																																					
Obecné informace																																						
Spuštěno dne:	07.04.2021																																					
Poslední aktualizace:	19.04.2021 18:35:48																																					
Aktuální cena kWh:	2,50 Kč																																					
Aktuální heslo pro nabíje	1234																																					
Celkem cyklů:	15																																					
Celkem nabito kWh:	+122,32 kWh																																					
Maximální počet uživatelů:	90																																					

Obrázek 21 – Obrazovka produktových informací

3.2.4 Diagnostické okno

Podle doporučení konzultanta jsem si vytvořil diagnostické okno (viz Obrázek 22), ve kterém se nachází především důležité výstupní parametry z elektromobilu a některé vstupní parametry odesílané stanicí do vozidla. Tyto údaje lze využít při procesu inicializace elektromobilu do procesu nabíjení, jako informace pro zjištění chyb, či k optimalizaci. V oblasti „Setpoints“ elektromobil posílá údaje s požadavky pro stanici na její řízení včetně požadavku na HW stav stanice. V další části je vidět aktuální HW i SW stav stanice a při nějaké komplikaci se zobrazí porucha 1 nebo 2, kterou lze vyhledat v manuálu komunikační karty. Pilot state a PP state zobrazují stav připojení vozidla ke stanici. V oblasti „Diagnostics“ od vozidla získávám informace o tom, zda je zapnuta klimatizace, procentuální stav baterie, čas do nabití elektromobilu, či podporovaný typ nabíjení. V sekci „Limits“ dostávám od vozidla informace o maximálním možném napětí, proudu a výkonu, které je možno dodávat do elektromobilu. Informace EVCC ID je identifikační číslo, které má každé vozidlo. V poslední části, což je měření napětí, proudu a odporu se mi zobrazují hodnoty měření ze stanice.



Obrázek 22 – Obrazovka diagnostického okna

3.3 Programové řešení řídicího systému stanice

Řídicí jednotka od společnosti Siemens je programována v prostředí Siemens TIA Portal. Pro práci jsem používal TIA Portal V16, jelikož na verzi firmware 1.0 komunikační karty ET 200SP TM ECC PL ST nelze pracovat se starším prostředím TIA Portal V15.1 a nižší. Tento program nabízí vícero možností programovacích jazyků a v některých případech je vhodné využít kombinace programovacích jazyků, což jsem zvolil i pro svou práci. Všechny volací bloky nebo bloky s binární a jednoduchou logikou použité v práci jsem si zvolil programovat pomocí jazyku FBD a pro cyklické programování jsem si zvolil jazyk SCL, který je využit v menší míře. Ten mi například slouží pro výpočet CRC Modbus komunikace nebo pro správu uživatelů.

3.3.1 Programové přiřazení hardware

Nejdříve je třeba vytvořit nový projekt a zvolit správnou hardwarovou konfiguraci, do které se vloží příslušné PLC a HMI. Poté následuje vložení ostatních periférií do konfigurace zařízení, tedy komunikačních karet RS–485, RS–232 a ET 200SP TM ECC PL ST. Dalšími potřebnými moduly jsou analogové vstupy pro teplotní čidla a digitální vstupy a výstupy pro sdělovací relé a výkonové kontakty. V kartách je ještě nutné přiřadit příslušné parametry pro kompletní funkčnost jako zvolení teplotního čidla, který se pro měření používá.

3.3.2 Autentifikace a správa uživatelů

Podle zadání je vytvořeno přihlášení dvěma způsoby, pomocí RFID a čtyřmístného pinu. Pro přihlášení pomocí RFID je vytvořena funkce pro čtečku karet, která komunikuje po RS–232. Po přečtení karty program zjistí, zda je karta zaregistrovaná. Další možností je vložení čtyřmístného pinu do klávesnice. V případě shody karty nebo pinu stanice vstoupí do procesu nabíjení, ve kterém je potřeba připojit nabíjecí kabel do elektromobilu do dvou minut od autorizace, jelikož po uplynutí této doby dojde k chybě ze strany vozidla, která bude znamenat potřebu opětovného přihlášení.

Ke každému z uživatelů je přiřazen účet, v jehož struktuře jsou informace o jménu, příjmení, identifikačním čísle RFID karty, spotřebované energii v kWh a zároveň o ceně přepočtené do CZK. Do stanice je možno přidat maximálně 90 zákazníků, přičemž je dále programově možné zvětšit jejich počet. Pokud je uživatel přihlášen pomocí čtyřmístného pinu, tak se všechna spotřeba zapisuje na speciální servisní účet.

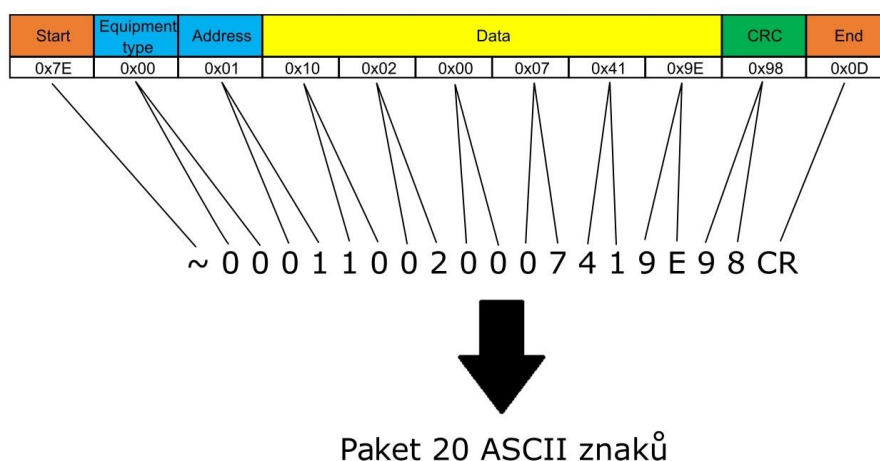
3.3.3 Komunikace s RFID čtečkou

Pro identifikaci je použita čtečka SIMATIC RF1070R, která využívá komunikaci RS–232 a v programu je pro ni přímo vytvořený funkční blok, který je volán funkcí pro čtení UID z karty uživatele, ten se poté převádí z hexadecimálních znaků do ASCII znaků. Při každém spuštění PLC je potřeba inicializovat RFID čtečku, aby mohla přijímat data a zároveň je i vysílat. Čtečka zároveň byla otestována pro více druhů čipu, přičemž všechny karty přečetla.

3.3.4 Komunikace s UR50060

S tímto modulem je možno komunikovat pomocí CAN nebo Modbus protokolu, který jsem si nakonec vybral. Pro tuto komunikaci je vytvořena funkce, která si volá funkci pro zápis dat a kódování zprávy a funkci pro příjem dat a dekodování zprávy. Při požadavku na zapnutí zdroje začne program posílat cyklicky pět paketů, které zapnou zdroj a udržují ho v provozu, jelikož jakmile se přestane komunikovat se zdrojem, samostatně se vypne. Další pakety nastavují výstupní napětí a proud a posílají požadavek pro poslání změřeného napětí a proudu. Tyto změřené informace jsou podstatné pro nabíjecí fáze.

Pro fungování měniče je třeba složit správný paket informací s nastavením liché parity a přenosové rychlosti 9,6 kbps. Zpráva se skládá ze 20 ASCII znaků poslaných jako datový typ pole. Celý řetězec má permanentně nastavený počáteční a koncový znak, zařízení a adresu. V datovém řetězci se nachází informace o druhu zápisu, druhu informace a hodnota.



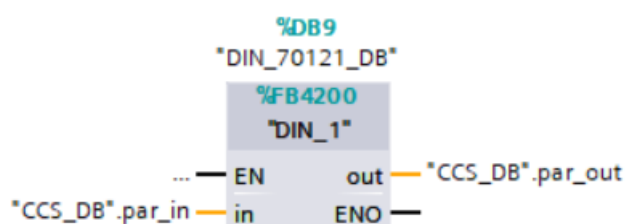
Obrázek 23 – Složení jednoho paketu

3.3.5 Komunikace s Bender isoEV425 + AGH420

Oba komponenty slouží jako měřicí přístroj pro měření výstupního napětí a izolačního odporu, které je možno zobrazit na displeji zařízení. Zároveň jsou zde tři možnosti komunikace pro získání dat a těmi jsou BMS protokol, Modbus RTU či ISOData data string. Pro moji práci je vhodný Modbus RTU nebo ISOData data string, ale vzhledem k tomu že nepotřebuji posílat informace do zařízení, využil jsem možnosti ISOData data stringu, jenž posílá paket ASCII znaků každou sekundu po komunikaci RS-485, pro které je potřeba nastavení přenosové rychlosti 115 kbps a sudé parity. V tomto řetězci se nachází všechny měřené informace, alarmová hlášení a stav sepnutí alarmových kontaktů K1 a K2. Potřebné informace jsou složeny z ASCII znaků do relevantních proměnných UInt a Word. Zařízení je možno resetovat z PLC, nebo provést testování podle délky sepnutí relé.

3.3.6 Komunikace s vozidlem

Celý proces nabíjení musí být standardizovaný, z toho důvodu společnost Siemens vytvořila knihovnu se systémovým funkčním blokem, který je založen na standardu DIN SPEC 70121 a řeší komunikaci s automobilem. Celá komunikace probíhá přes komunikační kartu ET 200SP TM ECC PL ST a pin „Control Pilot“, který je připojen do kabelu CCS typu 2. Zapojení PP pinu není pro funkčnost stanice nijak potřeba. Všechna data poté prochází přes jeden datový blok, ve kterém se nachází dvě struktury „in“ a „out“, tedy vstupní a výstupní proměnné. Programově je tento proces nabíjení rozdělen na hardware stav (0–3) a programový stav (0–11). Tyto stavy znázorňují, v jaké části nabíjecího procesu se nachází stanice, případně zda je stanice ve stavu poruchy. Přičemž výchozí stav stanice se nachází v SWState = 2 a HWState = 1. Pokud se nějaký ze stavů nachází v záporné hodnotě, tak došlo k poruše.

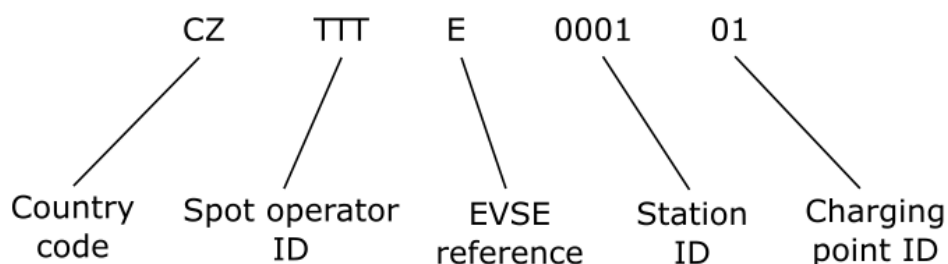


Obrázek 24 – Volání funkčního bloku komunikační karty v jazyce FBD

HWStatus znázorňuje stav stanice, kde se nejdříve zjišťuje, zda je stanice zapnuta, případně zda jsou moduly pro řízení kontaktů a měnič zapnuty nebo vypnuty. SWStatus poté značí, v jaké části procesu se stanice nachází od začátku po konec nabíjení a zároveň je závislá na HWStatusu. Aby se mohlo projít procesem nabíjení, je potřeba, aby tyto stavy vycházely shodně podle manuálu.

Nastavení parametrů

Aby karta nezasílala chybové hlášky, je potřeba nejdříve nastavit podstatné parametry, kterými jsou například minimální a maximální možné napětí, proud a výkon DC měniče, jelikož podle těchto parametrů si elektromobil určuje požadované napětí a proud ze stanice. Dalším z parametrů je identifikační kód nabíjecí stanice, jehož struktura se skládá podle normy DIN SPEC 70121.

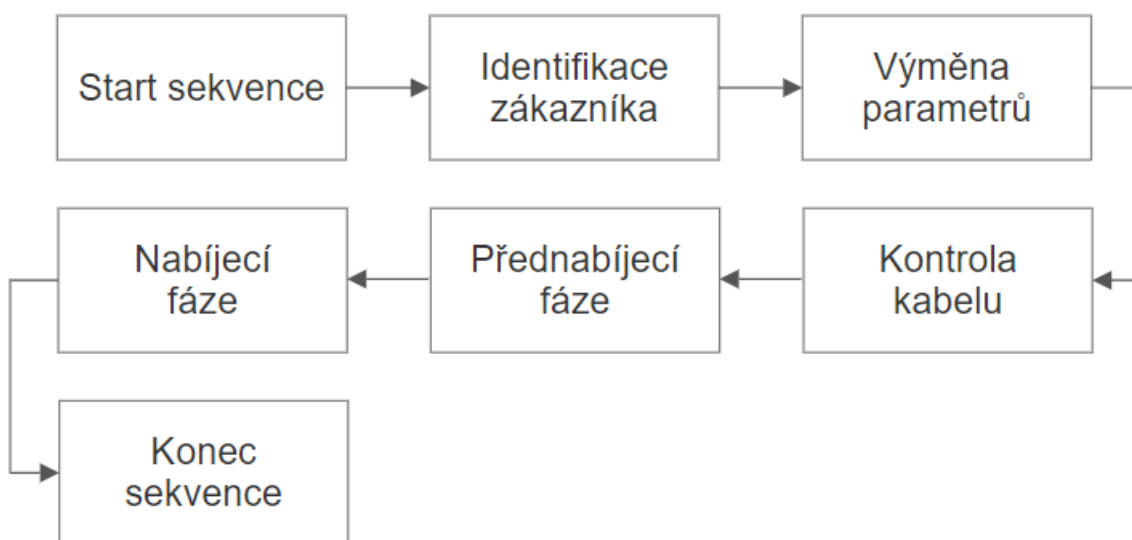


Obrázek 25 – Složení identifikačního kódu EVSE

Dalšími z důležitých parametrů je nastavení vhodného času pro přepnutí hardwarového stavu a kontaktů. V případě že měnič nebo parametry ve stanici se neshodují s parametry v autě, je potřeba nastavit maximální délku této neshody, jinak dojde k vyhodnocení poruchy.

Programovací část

Tato část se řídí především podle normy DIN SPEC 70121, podle které je na naprogramovaný funkční blok knihovny a zároveň je zjednodušena o určité části, které se nachází v kapitole 1.2.



Obrázek 26 – Schéma programového postupu

Jakmile jsou všechny potřebné parametry nastaveny a nabíjecí kabel je zapojen do elektromobilu, začne proces nabíjení. Nejdříve se zkontrolují nastavené parametry a poté program čeká ve fázi autorizace na identifikaci uživatele. Po tomto potvrzení program přechází do fáze výměny parametrů mezi stanicí a vozidlem, kde se především posílají maximální výkonové požadavky jak stanice, tak vozidla. Po poslání těchto informací se zároveň vyšle požadavek na zapnutí nabíjecího modulu. Všechny informace se musí zapsat relevantně, jinak není možné přejít do další fáze a komunikační karta to po 40 s vyhodnotí jako poruchu.

Po správném přenosu program vejde do kontrolní fáze kabelu, kde se nejdříve isometrem kontroluje, zda je izolační odpor větší než $1\text{ M}\Omega$. Pokud tomu tak není, program nemůže pokračovat dál vzhledem k tomu, že může být poškozený kabel. V případě shody se pokračuje tím, že se sepne precharge kontaktor a nastaví se napětí požadované vozidlem na zdroji a měří se shoda nastaveného napětí a poté se měří procházející proud po dobu 10 s. Pokud během tohoto času v kabelu proud prochází, je pravděpodobné, že v kabelu došlo ke zkratu a nemůže být použit k nabíjení a nabíjecí proces se ukončí s poruchou. Jakmile proces kontroly kabelu proběhne v pořádku, sepne se relé discharge rezistoru, které sníží napětí nabíjecího modulu velmi rychle a díky tomu tím nedojde k chybě vypršením časového limitu a zároveň se proces urychlí.

V dalším kroku se program dostane do precharge fáze, ve které je stále sepnutý precharge kontaktor a vozidlo pošle požadavek na nastavení výstupního napětí z nabíjecího modulu. V tomto momentu stanice nastavuje výstupní napětí na zdroji. Jakmile se nastavené napětí shoduje se změřeným napětím, je možno přejít do nabíjecí fáze, ve které se sepne DC+ kontaktor a odepne precharge kontaktor. Kontaktoři v autě jsou již sepnuty a z toho důvodu elektromobil posílá požadavky na proud, podle nichž je tento proud nastaven i na nabíjecím modulu. Všechny z parametrů jsou nastaveny podle maximálních možností elektromobilu a nabíjecí stanice. Zároveň záleží na kolik procent je nabita baterie, protože pokud je nabita na více než 80 %, tak se výstupní výkon nabíjecí stanice snižuje, díky přechodu procesu nabíjení do tzv. CV fáze, kdy je dosaženo maximálního povoleného napětí baterie.

Jakmile dojde k nabití baterie na 100% kapacity, tak začne DCFC automaticky ukončovat nabíjení. Další možností je vypnutí stanice pomocí tlačítka „odpojit“, jež se nachází na vizualizačním panelu HMI. Obě z možností vyvolají další fázi, v níž se pošle informace o požadavku na vypnutí. Stanice začne snižovat požadovaný proud a jakmile neprochází žádný proud, tak je na stanici nastaveno minimální napětí nabíjecího modulu a sepne se relé pro zátěžový rezistor. Tím dojde k rychlému snížení výstupního napětí nabíjecího modulu a jakmile zdroj dosáhne požadovaného napětí je proces nabíjení ukončen a kontaktoři jsou odepnuty. V tu chvíli je možno odpojit konektor od elektromobilu a program je ve výchozím stavu, kdy je možno nabíjet další vozidlo.

4 Testování nabíjecí stanice

Poslední částí mého zadání bylo otestovat na experimentálním pracovišti nabíjecí stanici. Ještě předtím, než jsem začal nabíjet, jsem pracoval s vozidlem Volkswagen Golf, ze kterého jsem četl výstupní parametry. Poté došlo k výměně firemního vozidla Siemens a pracoval jsem na novém vozidle Hyundai Kona s kterým jsem také nejdříve pouze komunikoval, a nakonec ho i nabíjel, což značí zelená kontrolka baterie u nabíjecího konektoru Kony. Abych dokázal schopnost nabíjet i jiné vozy, tak jsem zároveň otestoval nabíjení na elektromobilech Volkswagen ID.3 a také univerzitního Škoda Citigo iV.



Obrázek 27 – Nabíjení dvou vozidel Škoda Citigo iV (vlevo) a Volkswagen ID.3 (vpravo)

Doba do nabití vozidla a výkon nabíjení je možno vidět jak na panelu HMI, tak i na přístrojové desce vozidla, přičemž vozidlo je nabíjeno podle požadavku vozidla na 400 V s proudovým omezením na 20 A, čímž vychází výsledný nabíjecí výkon 8 kW. Zároveň průběh celého nabíjení je zaznamenán v příloze 1.



Obrázek 28 – Nabíjení vozu Hyundai Kona a jeho přístrojová deska během nabíjecího procesu



Obrázek 29 – Funkční vzorek nabíjecí stanice

5 Závěr

V rešerši jsem prozkoumal a porovnal aktuální možnosti nabíjení a poté jsem se zaměřil na zpracování topologie nabíjecího procesu podle normy DIN SPEC 70121 podle které je i navrhována komunikační karta. Dále jsem se zaměřil na standardizované konektory, možnosti identifikace a způsoby konceptů nabíjecích stanic, které jsem porovnal.

Provedl jsem návrh komponentů pro základní funkčnost rychlonabíjecí stanice a vytvořil jsem blokové schéma zapojení podle normy DIN SPEC 70121. Po provedení rešerše vizualizací různých výrobců, jsem vytvořil vlastní návrh konceptu vizualizace pro HMI. V maximálním úsilí jsem se snažil o uživatelskou přívětivost vizualizace jak pro uživatele, tak pro správce. Podle zadání vedoucího jsem vytvořil veškeré aspekty programu potřebné pro funkčnost stanice, ale nestihl jsem jeden z požadavků, čímž bylo vytvořit platební systém ve stanici, který je v rozpracovaném stavu. Ve stanici je třeba optimalizovat proces inicializace nabíjení a proces odpojování stanice od vozidla a dále doplnit proces odhlašování, aby nemohl kdokoliv zrušit proces nabíjení.

Komunikační karta ET 200SP TM ECC PL ST PLC vyšla v půli roku 2020 a momentálně Siemens nemá jediné nasazení této karty v nabíjecích stanicích v České republice, proto díky vzniku a zprovoznění tohoto funkčního vzorku standu rychlonabíjecí stanice se mi podařilo realizovat vůbec první implementaci této karty, která se má v budoucnu používat pro všechny DC nabíjecí stanice této společnosti.

Tento funkční vzorek standu DCFC byl ve společnosti Siemens navržen mezi nejlepší inovace 2. čtvrtletí roku 2021 a zároveň po demonstrování prototypu na experimentálním pracovišti mi byla nabídnuta pozice v Siemensu. TUL plánuje pokračovat v dalším vývoji standu DCFC a zařadit jej jako rekvizitu do výuky předmětů se zaměřením na emobilitu, výkonovou elektroniku a průmyslové řídicí systémy.

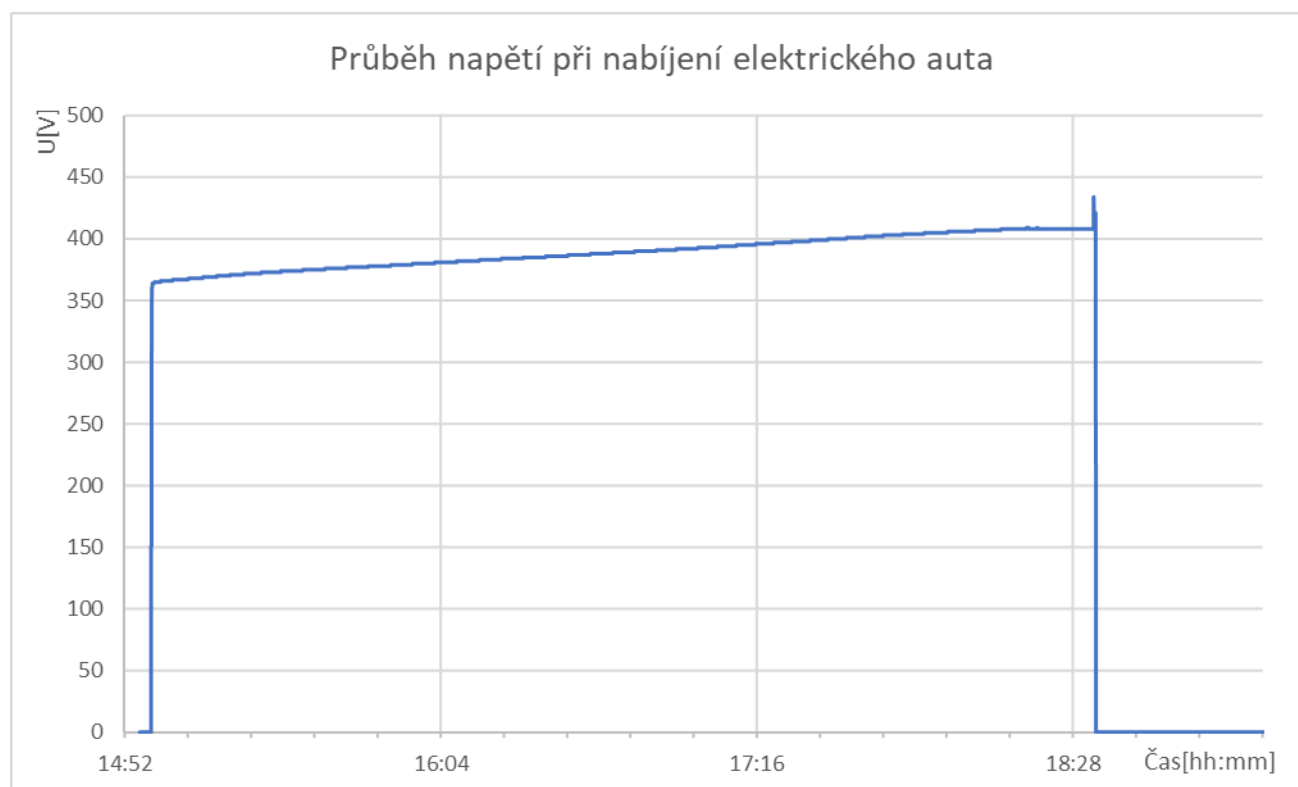
Odhadovaná cena použitých komponent se nyní pohybuje okolo 248 304 Kč (viz Příloha 2). Momentálně je DCFC omezena na výstupu na 17,5 kW, kde v další úpravě se předpokládá dosažení plného výkonu modulu 30 kW. Právě ve zvýšení nabíjecího výkonu pomocí více nabíjecích modulů a zároveň možnost nabíjet ze dvou nabíjecích zásuvných konektorových systémů bych se chtěl věnovat v diplomové práci, kde bych se zároveň snažil optimalizovat proces nabíjení.

Použitá literatura:

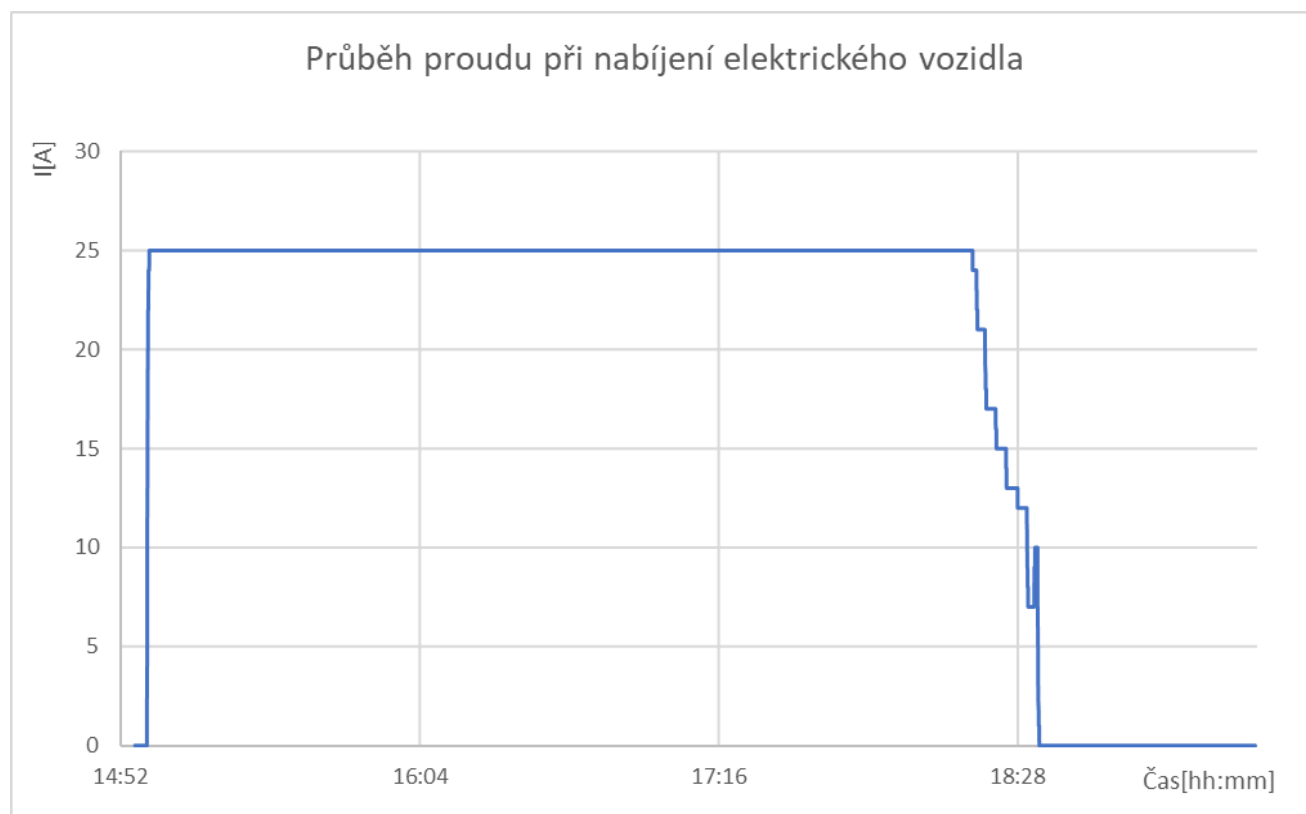
1. EICKELMANN, Jens. *Driving Force Electromobility: Business development and growth strategies in the field of electromobility*. Germany: Phoenix Contact E-mobility, 2017.
2. *SIMATIC ET 200SP: Technology module TM ECC PL ST*. NÜRNBERG: Siemens, 2020, 93 s. A5E43919893B-AA. Dostupné také z: <https://support.industry.siemens.com>
3. *DIN SPEC 70121 Electromobility-Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging in the combined charging system*. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2014.
4. The Different EV Charging Connector Types. *The Different EV Charging Connector Types* [online]. Berlin: Enel X, 2019, 20 Apr 2019 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://evcharging.enelx.com/eu/about/news/blog/552-ev-charging-connector-types>
5. CHAdeMO [online]. Tokyo: CHAdeMO Association, c2013-2020 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://chademo.com/>
6. KAUFUNG, Andre. *DC CCS Power Classes* [online]. 6th ed. Berlin: CHarIN, 2018, 10 s. Dostupné také z: https://www.charinev.org/fileadmin/Downloads/Papers_and_Regulations/CharIN_DC_CCS_Power_Classes.pdf
7. BAKKER, Sjoerd, Pieter LEGUIJT a Harro van LENTE. Niche accumulation and standardization the case of electric vehicle recharging plugs. *Journal of Cleaner Production* [online]. Elsevier, 30 Jan 2015n. 1., (94), str. 155-164 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.elsevier.com>
8. KOZIOREK, Jiří, Jiří KOCIÁN, Libor CHROMČÁK a Tomáš LÁRYŠ. *Distribované systémy řízení*. Ostrava, 2011, 264 s. 1st ed. ISBN 978-80-248-2599-1. Dostupné také z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/DSR/Distribuovane%20systemy.pdf>. Učební text. Vysoká škola báňská, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
9. *Installing and operating the EV-PLCC-AC1-DC1 controller: User manual* [online]. 4. dopl. vyd. Blomberg: Phoenix Contact, 2020, 75 s. [cit. 2021-02-23]. 1624130. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/>
10. *Nabíjecí stanice CPC50: Provozní návod*. Erlangen: Siemens, 2020, 234 s. [cit. 2021-02-18]. A5E46279406A.
11. SINAMICS DCP: DC/DC Power Converter [online]. Erlangen: Siemens, 2019 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com>
12. Ev charging station faqs [online]. Auckland: Vector [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.vector.co.nz/personal/ev-charging/ev-charging-station-faqs>
13. SIMATIC S7-1500, CPU 1513-1 PN [online]. Munich: Siemens [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7513-1AL02-0AB0>
14. *30KW DC Charging Rectifier* [online]. Changsha: Sunda New Energy Technology [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.sundaev.com/charging-pile/ev-charging-module/30kw-dc-charging-rectifier.html>

15. *Rectifier Module User Manual: UR50060* [online]. Shenzhen: UUGreenPower Electrical, 2018, 23 s. [cit. 2021-5-8].
16. ISOMETER® isoEV425 with AGH420 [online]. Gruenberg: Bender, 2019 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: https://www.bender.de/en/products/insulation-monitoring/isometer_isoEV425-with-agh420

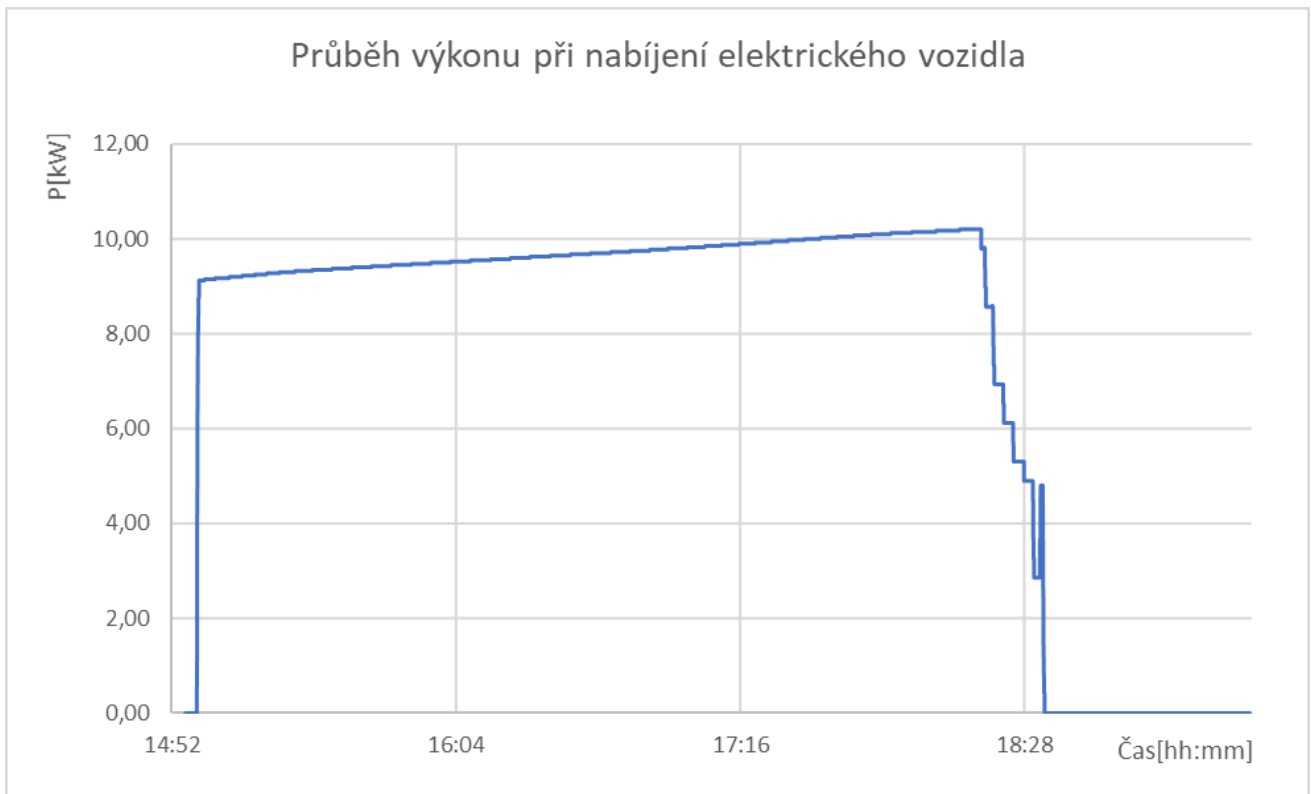
Příloha 1 – Průběhy naměřených hodnot během nabíjení



Graf 1 – Průběh napětí při nabíjení elektrického vozidla



Graf 2 – Průběh proudu při nabíjení elektrického vozidla



Graf 3 – Průběh výkonu při nabíjení elektrického vozidla

Příloha 2 – Tabulka jednotlivých komponentů a jejich ceny

Název	Společnost	Sériové číslo	Ks	Cena (Kč)
Nabíjecí modul 30kW 500V/80A	UUGreenPower	UR50060	1	30000,0*
isoEV425-D4-4 + AGH420	Bender	B71036401	1	11632,5
SIMATIC HMI TP1200 Comfort	Siemens	6AV2124-0MC01-0AX0	1	62453,6
SIMATIC ET 200SP TM ECC PL ST	Siemens	6FE1242-6TM20-0BB1	1	14217,5
SIMATIC ET200 SP, CM P	Siemens	6ES7137-6AA00-0BA0	3	21752,8
SIMATIC ET200 SP, IM15	Siemens	6ES7155-6AA01-0BN0	1	6979,5
SIMATIC S7 MEM	Siemens	6ES7954-8LC03-0AA0	1	1344,2
CPU 1513-1 PN	Siemens	6ES7 513-1AL02-0AB0	1	38619,9
SIMATIC ET200 SP, DQ	Siemens	6ES7132-6BF01-0AA0	1	1457,9
SIMATIC ET200 SP, DI	Siemens	6ES7131-6BF01-0AA0	1	1109,0
SIMATIC ET200 SP, AI	Siemens	6ES7134-6JD00-0CA1	1	5118,3
BaseUnit Gray	Siemens	6ES7193-6BP00-0BA0	3	1054,7
BaseUnit White	Siemens	6ES7193-6BP00-0DA0	3	1861,2
Zdroj DC 24V/5A	Siemens	6EP1333-2BA20	1	2714,3
RFID čtečka	Siemens	6GT2831-6BA50	1	10857,0
Výkonový odpínač	Siemens	5SG7133-8BA35	1	2610,9
Jistič s jedním pólem	Siemens	5SY4104-7	1	297,6*
Teplotní čidlo PT100	Siemens	7MC1910-4JA	1	1500,0*
Laboratorní stojan	Rittal	DK 7400.000	1	7698,3
Nabíjecí kabel CCS typ 2 150A	Phoenix Contact	EV-T2M4CC-DC150A-6	1	11632,5
DC kontaktor 24V 1200V/50A	GIGAVAC	P115CDA	1	1 707,6
DC kontaktor 24V 1000V/500A	TDK	B88269X2350C 11	2	7351,7
Precharge rezistor 100R, 50W	ARCOL	HS100E6	1	205,4*
Rezistor 800R, 135W	Tesla		1	450,0*
Relé 24V 500V/8A	Finder	46.52.9.024.0040	2	385,4
Ostatní materiál				5000,0*
Celková přibližná cena za stand:				248304,1 Kč*

Tabulka 1 – Tabulka hodnot jednotlivých komponentů s výslednou orientační celkovou cenou ke dni 23. 04. 2021.

(* – Orientační cena)