



Bakalářská práce

PLC Tecomat a sběrnice EnOcean

Studijní program:

B0714A270001 Mechatronika

Autor práce:

Ondřej Soukup

Vedoucí práce:

Ing. Miloš Hernych

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

PLC Tecomat a sběrnice EnOcean

<i>Jméno a příjmení:</i>	Ondřej Soukup
<i>Osobní číslo:</i>	M20000137
<i>Studijní program:</i>	B0714A270001 Mechatronika
<i>Zadávací katedra:</i>	Ústav mechatroniky a technické informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s PLC Tecomat, jeho sběrnici CIB a s technologií a prvky, založenými na bezdrátovém standardu EnOcean.
2. Vytvořte a zdokumentujte knihovnu funkcí a funkčních bloků, integrující prvky s rozhraním EnOcean do ekosystému PLC Tecomat.
3. Ověřte funkčnost na Vám dostupných prvcích pro chytrou domácnost (vypínače, světla, žaluzie ap.).
4. Vytvořte aplikaci, na které bude možné demonstrovat funkce knihovny.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- [1] KARL, Holger a Andreas WILLIG. Protocols and architectures for wireless sensor Networks. Chichester: John Wiley, 2007. ISBN 9780470519233.
- [2] GRATTON, Dean Anthony, 2016. Introducing the EnOcean Ecosystem: No wires. No batteries. No limits. [online]. 1. EnOcean Alliance [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2016/11/Whitepaper_Introducing_the_EnOcean_Ecosystem.pdf
- [3] Interní dokumentace ke komunikačním protokolům a HW firmy TECO, a.s.

Vedoucí práce: Ing. Miloš Hernych
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 12. října 2022
Předpokládaný termín odevzdání: 15. května 2023

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Josef Černoorský, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. října 2022

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.

PLC TECOMAT A SBĚRNICE ENOCEAN

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením knihovny, která začleňuje EnOcean prvky do ekosystému PLC Tecomat od společnosti Teco a.s. Práce teoreticky popisuje obě technologie a jejich následné propojení. Praktická část popisuje tvorbu knihovny a vytvořené vzorové programy s jejím využitím. Výsledek práce bude součástí programovacího prostředí Mosaic od společnosti Teco a.s.

Klíčová slova: PLC Tecomat, Teco a.s., EnOcean, prostředí Mosaic, protokol Modbus

TECOMAT PLC AND ENOCEAN BUS

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the creation of a library that integrates EnOcean devices into the Tecomat PLC ecosystem from Teco a.s. The thesis theoretically describes both technologies and their subsequent interconnection. The practical part describes the creation of the library and the sample programs created using it. The result of the work will be part of the Mosaic programming environment from Teco a.s.

Keywords: Tecomat PLC, Teco a.s., EnOcean, software Mosaic, Modbus protocol

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Miloši Her-nychovi za vstřícný přístup a poskytnuté rady. Dále bych rád poděkoval firmě Teco a.s. za možnost realizovat svou baka-lářskou práci. Speciální poděkování patří Ing. Luboši Urbanovi za odborné rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval přátelům a rodině za podporu při psaní této práce.

OBSAH

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Úvod	10
1 Automatizace budov	11
1.1 Systémová elektroinstalace	11
1.2 Bezdrátové technologie	12
2 PLC Tecomat a EnOcean	14
2.1 PLC Tecomat	14
2.1.1 Mosaic	14
2.1.2 Norma IEC 61 131-3	15
2.1.3 CIB sběrnice	16
2.2 EnOcean	17
2.2.1 EnOcean Radio Protocol	17
2.2.2 Energy Harvesting	19
2.2.3 Konkurence EnOcean	19
2.3 Propojení PLC Tecomat a EnOcean	20
2.3.1 Převodník ENOCEAN-GWY-MOD	20
2.3.2 Nastavení Mosaic	21
2.3.3 Modbus	21
2.3.4 Knihovna ModbusRTU	23
3 Tvorba knihovny a vzorové programy	26
3.1 Tvorba knihovny	26
3.2 Vzorový program s využitím knihovny EnOcean	30
3.2.1 Použité EnOcean prvky	30
3.2.2 Vzorový program	31
3.3 Vzorová dokumentace bloku A5_02_xx_EnOcean	32
Závěr	34
Použitá literatura	36

SEZNAM ZKRATEK

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASK	Amplitude-shift keying
CFC	Continuous Function Chart
CIB	Common Installation Bus
CRC	Cyclic Redundancy Check
EEP	EnOcean Equipment Profiles
ERP	EnOcean Radio Protocol
FBD	Function Block Diagram
FSK	Frequency-shift keying
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
ID	Identification
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IL	Instruction List
IP	Internet Protocol
LD	Ladder Diagram
LED	Light-emitting diode
LRC	Longitudinal Redundancy Check
MS	Master-Slave
OSI	Open Systems Interconnection
PLC	Programmable logic controller
POU	Program organization unit
RTU	Remote Terminal Unit
Rx	Receive
SFC	Sequential Function Chart
ST	Structured Text
TCP	Transmission Control Protocol
TP	Token Passing
Tx	Transmit
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Princip zapojení centralizovaného, hybridního a decentralizovaného řídicího systému [2]	12
2.1	Základní struktura POU [6]	16
2.2	Tři elementy EEP [5]	18
2.3	Záložka Rx Channels v programu EnOcean Tools	20
2.4	Záložka Tx Channels v programu EnOcean Tools	21
2.5	Komunikační rámec Modbus RTU [15]	22
2.6	Funkční blok ModbusRTUmas [7]	24
2.7	Modbus komunikace v jazyce CFC	25
3.1	Vzhled funkčního bloku A5_02_xx_EnOcean	27
3.2	Vlastní datový typ RxEnOcean	27
3.3	Funkce ModbusCmd volána ve funkčním bloku	28
3.4	Funkční blok D2_01_xx_EnOcean	29
3.5	Vzorový program v jazyce CFC	31
3.6	Vykonávaný vzorový program v jazyce CFC	31
3.7	Vizuální dokumentace bloku A5_02_xx_EnOcean	32
3.8	Vzorový program v jazyce ST pro funkční blok A5_02_xx_EnOcean a ukázka daného EnOcean prvku přidávaného v programu EnOcean Tools	33

SEZNAM TABULEK

2.1	OSI vrstvy ERP1 [10]	17
2.2	Typy EnOcean Telegramu [5]	18
2.3	Základní funkce protokolu Modbus [7]	22
3.1	Funkční bloky knihovny	26
3.2	Výstupy funkčních bloků	28

ÚVOD

Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci s firmou Teco a.s., která je předním výrobcem průmyslových řídicích systémů PLC. Firma vznikla v roce 1993, kdy se osamostatnila divize automatizační techniky ze závodu TESLA Kolín. Hlavním cílem práce bylo vytvořit knihovnu, která integruje EnOcean prvky do ekosystému PLC Tecomat. K zadání jsem se dostal během povinné praxe v zimním semestru třetího ročníku, kterou jsem absolvoval zde.

V první kapitole je představen pojem „Automatizace budov“, jaké dva typy elektroinstalací se zde používají a detailněji je popsána systémová elektroinstalace. Protože EnOcean je bezdrátový standard, je zde popsáno, co je bezdrátová technologie a jaké další bezdrátové technologie se dnes v automatizaci budov nejčastěji využívají.

Druhá kapitola představuje PLC Tecomat, jeho programovací prostředí Mosaic. Protože se v Mosaicu programuje podle normy IEC 61 131, je zde představena třetí část této normy, konkrétně jaké jsou programovací jazyky a co je to POU. Následuje podkapitola o bezdrátové technologii EnOcean. U této technologie mě nejvíce zaujalo získávání energie ve formě Energy Harvesting, která je zde také popsána. Poslední část třetí kapitoly se zabývá propojením těchto dvou systémů pomocí převodníku od firmy Firvena s.r.o., který jsem měl pro tyto účely k dispozici. Ten převádí EnOcean telegramy na zprávy podle Modbus protokolu, o kterém je zde také zmínka včetně knihovny ModbusRTU, která byla při programování použita.

V poslední kapitole je popsána tvorba EnOcean knihovny pro PLC Tecomat. Kapitola představuje jednotlivé funkční bloky. Je zde vzorový program v CFC jazyce, který ukazuje možné využití funkčních bloků.

1 AUTOMATIZACE BUDOV

Automatizace budov využívá moderních technologií za účelem zlepšení provozu budovy. Zabývá se HVAC (vytápění, ventilace, klimatizace) systémy, elektrickými systémy, systémy osvětlení, požárními nebo třeba bezpečnostními systémy. Všechny tyto systémy jsou monitorovány příslušnými senzory a následně dle potřeby řízeny. Pro monitorování systémů existuje dnes již celá řada různých typů senzorů. Mezi hlavní náklady na provoz budovy patří náklady na energii pro vytápění, klimatizaci a osvětlení. Jedním z hlavních cílů automatizace budov je tyto náklady snižovat. [1]

Pro automatizaci budov se využívá buď klasická elektroinstalace nebo systémová elektroinstalace. Záleží na výběru a použití přístrojů použitých pro automatizaci. U klasické elektroinstalace nedochází k žádnému posílání informací. Jednotlivé systémy jsou rozděleny do samostatných obvodů, dochází přímo ke spínání příslušného spotřebiče. [2]

1.1 SYSTÉMOVÁ ELEKTROINSTALACE

V dnešní době se čím dál více začíná v budovách vyskytovat systémová elektroinstalace. Jednotlivé funkce, kterými jsou ovládány rolety, žaluzie, osvětlení nebo třeba topení, jsou zahrnuté do jednoho společného systému. Komunikaci mezi zařízeními může zprostředkovávat centrální jednotka, nebo zařízení spolu mohou komunikovat napřímo. Z tohoto hlediska dělíme systémovou elektroinstalaci na:

- **centralizovaný systém**

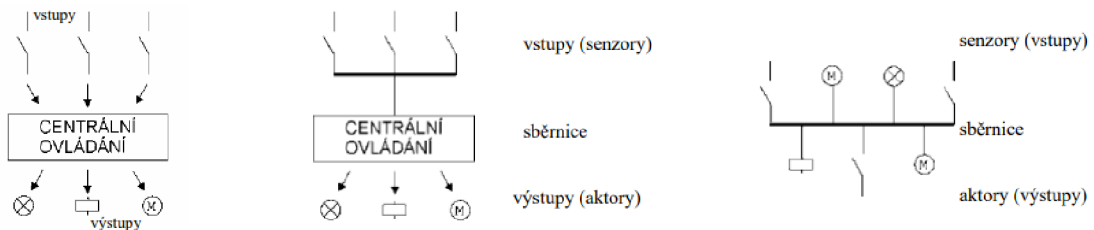
U centralizovaného systému se v elektroinstalaci vždy nachází centrální jednotka, která je propojena se všemi ostatními účastníky. Centrální jednotka stojí za veškerou komunikací mezi účastníky. Typickým příkladem řídicí jednotky může být PLC. Výhodou i nevýhodou tohoto systému je, že veškerá komunikace je závislá na jednom členu. [2]

- **decentralizovaný systém**

Oproti centralizovanému systému se zde nevyskytuje žádná centrální jednotka, tím je zajištěna větší spolehlivost. Každý člen systému musí mít vlastní inteligenci. Komunikace mezi jednotlivými členy probíhá pomocí různých komunikačních protokolů. [2]

- **hybridní systém**

Hybridní systém je kombinací centralizovaného a decentralizovaného systému. Zatímco senzory jsou zapojeny na sběrnici a slouží jako vstupy do centrální jednotky, aktory jsou výstupy centrální jednotky, se kterou jsou hvězdicově propojeny. [2]



Obrázek 1.1: Princip zapojení centralizovaného, hybridního a decentralizovaného řídicího systému [2]

1.2 BEZDRÁTOVÉ TECHNOLOGIE

Bezdrátové technologie přinesly novou možnost, jak překonat náročnou kabelovou instalaci v automatizaci budov. V některých objektech je to jediná možnost, jak automatizaci uskutečnit. Vzhledem k absenci fyzického propojení jednotlivých zařízení může uživatel libovolně přemísťovat senzory pro získání potřebných dat. Právě již zmíněná flexibilita a snadná instalace jsou hlavními výhodami použití bezdrátové technologie. V dnešní době existuje mnoho bezdrátových technologií s krátkým dosahem používaných v různých odvětvích. S pojmem automatizace budov nejvíce souvisejí kromě známějších technologií Wi-Fi a Bluetooth následující bezdrátové technologie: [1]

ZigBee

ZigBee je bezdrátová technologie definovaná pod IEEE 802.15.4 standardem. Tuto technologii je možné popsat jako samoformující síť, to znamená, že pokud se jednou ZigBee zařízení připojí do sítě, začne vyhledávat ostatní ZigBee zařízení a automaticky začne vytvářet síť souvisejících zařízení. Díky tomu je síť odolná na výpadky zařízení, protože když jedno selže, síť se dokáže zformovat a fungovat dále. Zároveň každé zařízení může opakovat zprávy dalším účastníkům sítě. Tato technologie vyžaduje mít v síti řídicí člen. ZigBee využívá stejnou rádiovou frekvenci jako Wi-Fi 2,4 GHz, takže v některých případech se tyto technologie mohou navzájem rušit. [3]

Z-Wave

Z-Wave je bezdrátová technologie založena na topologii Mesh, takže každé zařízení je zároveň opakovačem signálu. Její dosah je v otevřeném prostoru okolo 100 metrů, v uzavřených prostorech se doporučuje mít jedno zařízení každých 9 metrů. Každá Z-Wave síť může mít připojeno až 232 zařízení. Stejně jako EnOcean i Z-Wave v Evropě funguje na frekvenci 868 MHz. Mezi přednosti této technologie patří vysoké zabezpečení, neboť Z-Wave používá podobné šifrování, jako používají banky pro svá online bankovníctví. [4]

EnOcean

EnOcean je bezdrátový a bezbateriový standard používající se výhradně v automatizaci budov. Tento standard využívá technologii zvanou Energy Harvesting, která umožňuje bezdrátovým sensorům a aktorům získávat energii pro přenos telegramů z okolního prostředí. Technologii vyvinula stejnojmenná firma EnOcean GmbH, která má hlavní sídlo v Oberhachingu, Německu. V roce 2008 bylo firmou založeno konsorcium nesoucí název EnOcean Alliance za účelem vývoje a propagace bezdrátové technologie EnOcean, které má přes 400 společností. [5]

2 PLC TECOMAT A ENOCEAN

2.1 PLC TECOMAT

PLC Tecomat je rodina programovatelných logických automatů vyvíjených firmou Teco a.s. dle mezinárodní normy IEC 61 131. Existuje mnoho typů PLC Tecomat, v dnešní době se však nejvíce uplatňuje Foxtrot a TC700. K naprogramování EnOcean knihovny bylo použito PLC Foxtrot druhé generace.

2.1.1 Mosaic

Mosaic je programovací prostředí firmy Teco a.s. určené pro programování systémů Tecomat. Program je volně stažitelný zdarma na stránkách firmy v lite verzi, kde je možné využít širokou škálu funkcí. Jednotlivé nástroje i architektura prostředí se řídí normou IEC 61 131-3 [6]. K dispozici má uživatel dle normy možnost programovat v grafických jazycích LD (Ladder Diagram) a FBD (Function Block Diagram), textových jazycích IL (Instruction List) a ST (Structured Text) a jazykem SFC (Sequential Function Chart). Mosaic nabízí možnost využití dalšího grafického jazyku CFC (Continuous Function Chart), který však normou definován není. CFC je obdobou jazyka FBD, oproti němu však disponuje volnějším pravidly pro zakreslování schémat. Bloky nemusí být řazeny zleva doprava, z čehož plyne jednodušší zakreslování a program bývá pro uživatele přehlednější.

Knihovna funkcí a funkčních bloků

Knihovna přináší do programu jinde vytvořenou sadu funkcí, funkčních bloků, typů a globálních proměnných, který uživatel může používat bez nutnosti vlastních úprav těchto prvků. Podle jejich výstavby můžeme knihovny rozdělit následovně:

- vestavěné knihovny
- standardně dodávané externí knihovny
- uživatelsky definované knihovny [7]

WebMaker

WebMaker je primárně určen pro vytváření webových stránek pro systémy od firmy Teco a.s. obsahující webové rozhraní. Velmi často se však tento nástroj používá pro vizualizaci a odladování programů v prostředí Mosaic. Těto funkce mohou systémy využívat bez ohledu na to, zda obsahují webový server.

2.1.2 Norma IEC 61 131-3

Norma IEC 61 131 reprezentuje souhrn požadavků pro moderní řídicí systémy. Skládá se z pěti základních částí. Jednotlivé části se zabývají nejen technickým, ale i programovým vybavením systémů. Třetí část této normy s označením IEC 61 131-3 se dá rozdělit na dvě základní části. Těmi jsou programovací jazyky a společné prvky. [6]

Programovací jazyky

- **Ladder Diagram (LD)**

Tento programovací jazyk vychází z relové logiky. Schéma je ohraničeno dvěma svislými čarami. Jednotlivé kontakty či funkční bloky se poté vkládají vodorovně mezi ně a vzniká tak pomyslný vzhled žebříku. Výstupy zde reprezentuje objekt s názvem „cívka“. Hlavní výhodou jazyka LD je jeho jednoduchost a pro nenáročné aplikace i přehlednost. [8]

- **Function Block Diagram (FBD)**

Function block diagram se skládá z funkcí a funkčních bloků, které reprezentují obdélníkové značky. Ty jsou vzájemně propojeny a vytváří tak systém prvků, který následně zpracovává signál. [8]

- **Instruction List (IL)**

Instruction list je programovací jazyk, kde se program sestavuje z textových zkratk základních instrukcí. [8]

- **Structured Text (ST)**

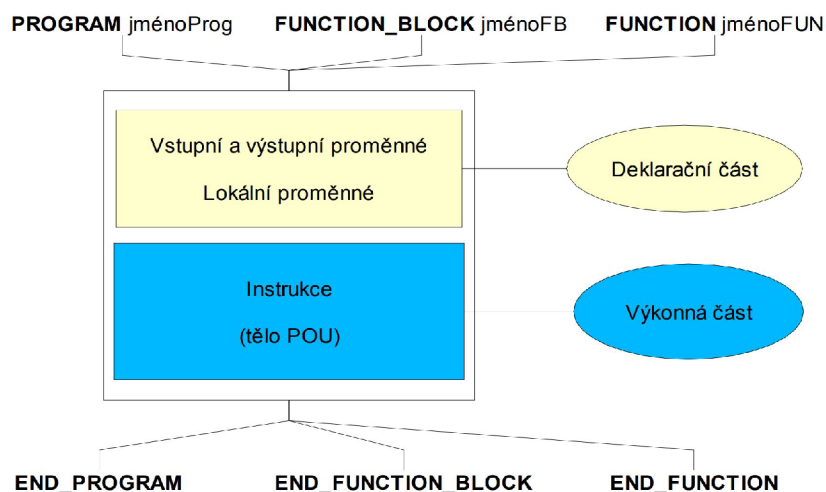
Structured text je jazyk, který vychází z programovacích jazyků Pascal a C. Při programování může uživatel využívat například větvení (IF-THEN-ELSE a CASE OF) nebo iterační smyčky (FOR, WHILE a REPEAT). Tento jazyk se často používá pro definování složitějších funkčních bloků, které mohou pak být použity v jiných programovacích jazycích. [8]

- **Sequential Function Chart (SFC)**

Sequential function chart je grafický jazyk. Skládá se z obdélníků, ty reprezentují kroky, a spojnicemi mezi nimi. Na spojnicích je poté znázorněna podmínka, která při splnění umožní přechod mezi jednotlivými kroky. [8]

POU - Programová organizační jednotka

Programová organizační jednotka je nejmenší nezávislá část uživatelského programu. Každá POU může volat jinou POU a umožňují si mezi sebou předávat jeden či více parametrů. Mezi tři základní typy POU patří funkce, funkční blok a program. Funkce je nejjednodušší POU a hlavní charakteristikou je, že když je volána se stejnými vstupními parametry, vždy musí dávat stejný výsledek. Návrátová hodnota u funkce je pouze jedna. To je rozdíl oproti funkčnímu bloku, který hodnot může vracet více. Dalším rozdílem je, že na stejné vstupní parametry nemusí vracet stejný výsledek. Funkční blok má schopnost zapamatovat si hodnoty z předchozích volání ve své paměti. Ty poté mohou výsledek ovlivnit. Posledním základním typem POU je program. O programu by se dalo říct, že se jedná o logické propojení funkcí a funkčních bloků. Každá POU má dvě základní části. Deklační část slouží pro definici proměnných potřebných pro fungování POU. Výkonná část následně obsahuje vlastní příkazy s využitím proměnných pro realizování požadovaného algoritmu. [6]



Obrázek 2.1: Základní struktura POU [6]

2.1.3 CIB sběrnice

CIB sběrnice je dvoudrátová sběrnice vyvinuta společností Teco a.s., která se nejčastěji používá pro propojení periferních prvků k PLC Foxtrot. Napájecí napětí i data jsou vedena po dvou vodičích společně. Sběrnice může mít libovolnou topologii, jediná výjimka je uzavření do kruhu, které nastat nesmí. Napájena je zdrojem stejnosměrného napětí 27,2 V nebo 24 V. Komunikace probíhá v modelu master-slave, přičemž na jednu větev se může připojit až 32 zařízení. Možnost je i rozšířit počet větví PLC Foxtrot pomocí externích modulů. [9]

2.2 ENOCEAN

2.2.1 EnOcean Radio Protocol

K přenosu dat využívá EnOcean vlastní rádiový protokol nesoucí název EnOcean Radio Protocol. V Evropě se používá EnOcean Radio Protocol 1, který funguje na frekvenci 868 MHz a využívá ASK modulaci. Pro Severní Ameriku a Japonsko je vytvořen EnOcean Radio Protocol 2, který oproti ERP1 využívá FSK modulaci. Severní Amerika využívá frekvenční pásmo 902 MHz a Japonsko 928 MHz. [5] [10]

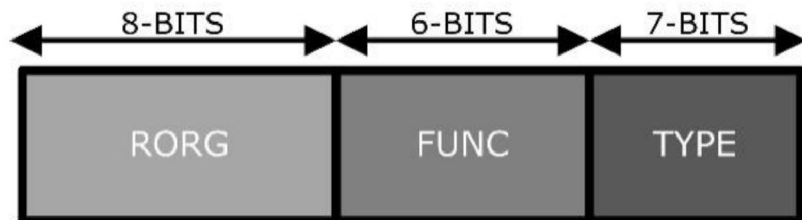
OSI vrstvy ERP1

Tabulka 2.1: OSI vrstvy ERP1 [10]

Vrstva	Služby	Datové jednotky
Aplikační	EnOcean Equipment Profiles (EEP) RPC/RMCC zpracování	DATA
Prezentační	Zpracování radiových telegramů Šifrování	DATA
Relační	nepoužívá se	-
Transportní	Smart Ack Vzdálené řízení	TELEGRAM/ZPRÁVA
Síťová	Adresování telegramů (ADT zapouzdření/vypouzdření) Přepínání konverze telegramu (výběr/zpracování stavu) Opakování (zpracování stavu)	TELEGRAM
Linková	Struktura subtelegramu Výpočet kontrolní sumy Časování subtelegramu Funkce Listen before Talk	SUBTELEGRAM
Fyzická	Kódování/dekódování (inverzní bity) Rádiový příjem/přenos	BITY/RÁMEC

EnOcean Equipment Profiles

EnOcean Equipment Profiles spadá do aplikační vrstvy. Protože EnOcean využívá velmi málo energie na přenos a doba přenosu je menší než 1 ms, je důležité, aby se v telegramu nenacházely žádné věci navíc. Z tohoto důvodu jsou telegramy redukovány podle typu telegramu. Ten je určen právě EEP, který se skládá ze třech elementů.



Obrázek 2.2: Tři elementy EEP [5]

- RORG - určuje typ telegramu u rádiového přenosu ERP

Tabulka 2.2: Typy EnOcean Telegramu [5]

RORG	Telegram	Definice
F6	RPS	Repeated Switch Communication
D5	1BS	1-byte Communication
A5	4BS	4-byte Communication
D2	VLD	Variable Length Data
D1	MSC	Manufacturer-specific Communication
A6	ADT	Addressing Destination Telegram

- FUNC - určuje funkci zařízení, jestli se jedná o vypínač, teplotní senzor, tlakový senzor apod.
- TYPE - určuje přesný typ zařízení, u senzoru například určuje rozsah měřené veličiny, u vypínačů kolik má kanálů [5]

2.2.2 Energy Harvesting

Jedna z největších předností EnOceanu je bezpochyby Energy Harvesting. Moduly získávají energii z okolního prostředí pomocí tří způsobů:

- pohyb
- světlo
- rozdíl teplot

Energie z pohybu

Energii z pohybu využívají především vypínače. Obsahují malý elektromechanický převodník ECO 200, který přemění mechanickou energii stisku na elektrickou energii, která se následně využije pro odeslání telegramu. Při správných podmínkách dosahuje životnost energy harvester modulu až jednoho milionu změn spínacího cyklu. Přestože vypínače se od běžných vzhledově moc neliší, pro jejich stisk je nutno vynaložit větší sílu právě k vygenerování dostatečné energie. Tato technologie se kromě již zmíněných vypínačů používá například u okenních kontaktů. [11] [12]

Energie ze světla

Bezdrátové snímače obsahují malý solární panel ECS 300. Ten je složen z osmi solárních článků a jeho rozměry se pohybují okolo 35,0 x 12,8 mm. Tyto solární články mohou fungovat pouze z osvětlení uvnitř místnosti, protože pro svůj provoz jim stačí pouze 200 luxů. Sensory si samy ukládají veškerou energii, takže senzor může v úplné tmě pracovat až čtyři dny. Energii ze světla využívají například senzory vlhkosti, teploty nebo pohybové senzory. [11] [13]

Energie z rozdílu teplot

EnOcean prvky využívající rozdíl teplot musí obsahovat Peltierův článek a DC/DC měnič (ECT 310). Energy harvester modul ECT 310 se stává aktivním při 20 mV, což odpovídá rozdílu 2 °C na Peltierovu článku. Na výstupu se pak dle vstupních napětí může objevovat 3-5 V. Ideální použití této metody je u termostatické hlavice, kde můžeme využít rozdíl teplot radiátoru a okolního prostředí v místnosti. [11] [14]

2.2.3 Konkurence EnOcean

EnOcean uvádí jako svoji konkurenci Wi-fi, Bluetooth, ZigBee a Z-Wave. Všechny tyto technologie jsou bezdrátové a jejich využití je stejně jako u EnOceanu v chytrých budovách. Oproti konkurenci se však EnOcean značně liší v získávání energie, protože využívá svoji patentovanou technologii na Energy Harvesting. [5]

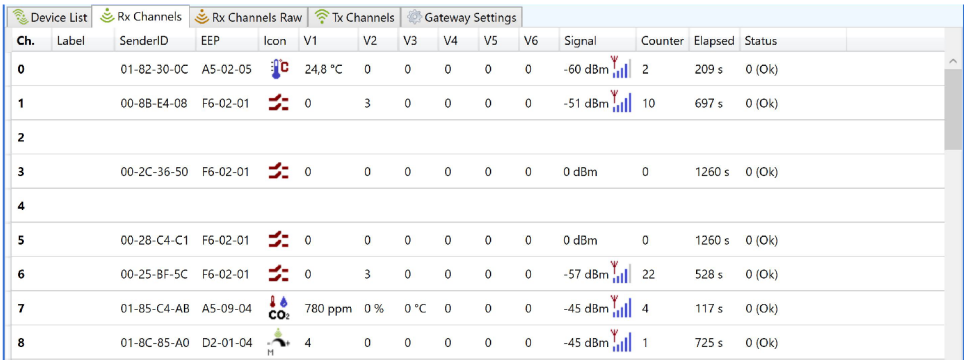
2.3 PROPOJENÍ PLC TECOMAT A ENOCEAN

Firma Teco a.s. momentálně nedisponuje vlastním modulem pro přijímání EnOcean telegramů, proto je nutnost použití externího převodníku. K připojení je využit převodník od firmy Firvena s.r.o. s názvem ENOCEAN-GWY-MOD, ten umožňuje číst EnOcean telegramy přes rozhraní RS-232 nebo RS-485 protokolu Modbus RTU. Firma Firvena s.r.o. nabízí ještě další tři EnOcean převodníky. Jeden převádí EnOcean na Modbus TCP/IP, další dva převádí EnOcean na komunikační protokol BACnet, konkrétně to jsou protokoly BACnet IP a BACnet MS/TP.

2.3.1 Převodník ENOCEAN-GWY-MOD

Převodník je připojen k počítači pomocí USB. Přidávání a následné nastavování EnOcean prvků probíhá v programu EnOcean Tools, který je volně stažitelný na stránkách firmy Firvena s.r.o. a umožňuje nám připojit až 40 EnOcean zařízení. Nejprve je nutné se k převodníku připojit v horní liště programu, kde se akorát nastaví správný port počítače. Po stisknutí tlačítka Connect by se při správném připojení mělo ukázat zeleně napsané „Connected - answer OK“.

EnOcean zařízení pro čtení se přidávají v sekci „Rx Channels“. Možnost přidat zařízení jde dvěma způsoby. Buďto je možné využít funkci Teach in, při které se ID zařízení zapíše po stisknutí kombinace pro párování, nebo pokud ID známe, můžeme ho zapsat manuálně. Následně je u zařízení nutné vyplnit EEP a můžeme zařízení vložit na určený kanál. Číslo kanálu nemá s adresou samotného zařízení nic společného, ale je to ukazatel na část registrů, z které při komunikaci chceme číst. V seznamu přidávaných zařízení lze kromě dat, které jsme nadefinovali během přidávání prvku, číst převedené hodnoty podle EEP, počet čtení prvku, dobu od posledního čtení, signál prvku a Error code, který je v bezproblémovém stavu nula.



Ch.	Label	SenderID	EEP	Icon	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Signal	Counter	Elapsed	Status
0		01-82-30-0C	A5-02-05	⊞	24,8 °C	0	0	0	0	0	-60 dBm	2	209 s	0 (Ok)
1		00-8B-E4-08	F6-02-01	⊞	0	3	0	0	0	0	-51 dBm	10	697 s	0 (Ok)
2														
3		00-2C-36-50	F6-02-01	⊞	0	0	0	0	0	0	0 dBm	0	1260 s	0 (Ok)
4														
5		00-28-C4-C1	F6-02-01	⊞	0	0	0	0	0	0	0 dBm	0	1260 s	0 (Ok)
6		00-25-BF-5C	F6-02-01	⊞	0	3	0	0	0	0	-57 dBm	22	528 s	0 (Ok)
7		01-85-C4-AB	A5-09-04	⊞	780 ppm	0 %	0 °C	0	0	0	-45 dBm	4	117 s	0 (Ok)
8		01-8C-85-A0	D2-01-04	⊞	4	0	0	0	0	0	-45 dBm	1	725 s	0 (Ok)

Obrázek 2.3: Záložka Rx Channels v programu EnOcean Tools

V záložce „Tx Channels“ lze přidat zařízení, pro které budeme vysílat telegramy. Zároveň se tam objeví zařízení, které jsme do registrů zapsali mimo tento program, v našem případě zařízení, která jsou přidávána v programu Mosaic.

Ch.	Label	SenderID	DestinationID	EEP	Icon	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	LearnButton	ResponseOption	Send
0		E3-D1-0C-05	01-8C-85-A0	D2-01-03		1	70	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	NotSet	
1		E3-D1-0C-05	01-8C-85-A0	D2-01-03		1	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	NotSet	

Obrázek 2.4: Záložka Tx Channels v programu EnOcean Tools

2.3.2 Nastavení Mosaic

Protože komunikace probíhá v našem případě přes RS-485, je nutné, aby PLC bylo vybaveno příslušným submodulem pro sériovou komunikaci. Jedná se o modul MR-0131. Ten se v Mosaicu přidá v sekci I/O Configurator dvojitým klikem na položku Submoduley, nebo je možné ho přidat pomocí načtení konfigurace z PLC. Po přidání submodule se následně musí nastavit komunikační kanál. Podle vstupů, na které je převodník připojen, se vybere příslušný kanál a nastaví se do režimu UNI. Délka přijímací a vysílací zóny je nutná nastavit na 256 bytů, minimální doba klidu na lince se nastaví na 4 znaky. Komunikační rychlost, parita a počet stopbitů se nastaví podle slave zařízení. Tyto hodnoty musí odpovídat hodnotám nastavených u převodníku, které můžeme vidět v programu EnOcean Tools v sekci Gateway settings.

2.3.3 Modbus

Modbus je komunikační protokol publikován firmou Modicon (dnes Schneider Electric) v roce 1979. Protokol originálně využívala jejich PLC, v dnešní době se velmi často používá v automatizační technice pro propojování chytrých zařízení. Založený je na komunikačním modelu Master/slave, kdy jedno master zařízení komunikuje na sériové lince s jedním či více slave zařízeními.

Verze protokolu

- Modbus RTU - nejčastěji používaný typ protokolu Modbus, který používá sériovou komunikaci. Data jsou reprezentována binární logikou a jejich úplnost je zajištěna kontrolním součtem typu CRC.
- Modbus ASCII - další typ využívající sériovou komunikaci. Data jsou reprezentována ASCII znaky a integrita méně spolehlivější metodou kontrolního součtu LRC.
- Modbus TCP/IP - varianta protokolu Modbus, která pro komunikaci využívá ethernet. [7] [15]

Komunikační rámec Modbus RTU

Zpráva začíná pauzou dlouhou minimálně 3,5 znaku. Na obrázku je reprezentováno T1-T2-T3-T4. Následuje 8 bitů adresy zařízení. Všechny znaky, které se přenáší, jsou hexadecimální (0-9, A-F). Po adrese následuje 8 bitů udávajících funkci a přenášená data. Konec rámce obsahuje kontrolní sumu CRC a jako na začátku je zde pauza minimálně 3,5 znaku. Celá zpráva se musí přenášet nepřetržitě, pokud nastane pauza dlouhá aspoň 1,5 znaku, zpráva se bere jako nekompletní a předpokládá se, že další byte bude adresa nové zprávy. [15]

START	ADDRESS	FUNCTION	DATA	CRC CHECK	END
T1-T2-T3-T4	8 BITS	8 BITS	$n \times 8$ BITS	16 BITS	T1-T2-T3-T4

Obrázek 2.5: Komunikační rámec Modbus RTU [15]

Základní funkce

V této práci při tvorbě knihovny byly použity tři z níže uvedených základních funkcí protokolu Modbus: 03 - čtení registrů, 06 - nastavení jednoho registru, 16 - nastavování holding registrů.

Tabulka 2.3: Základní funkce protokolu Modbus [7]

Kód	Funkce	Popis
01	Read Coil Status	čtení výstupů
02	Read Input Status	čtení vstupů
03	Read Holding Registers	čtení registrů
04	Read Input Registers	čtení vstupních registrů
05	Force Single Coil	nastavení jednoho výstupu
06	Preset Single Register	nastavení jednoho registru
07	Read Exception Status	informace o stavu automatu
08	Diagnostics	diagnostické funkce
15	Force Multiple Coils	nastavování výstupů
16	Preset Multiple Registers	nastavování holding registrů
17	Report Slave ID	vrací identifikační číslo serveru
22	Mask Write	nastavení registru pomocí masky

2.3.4 Knihovna ModbusRTU

Knihovna ModbusRTU obsahuje deklarace datových typů, globálních proměnných, funkcí a funkčních bloků pro řízení komunikace dle protokolu Modbus. V novějších verzích prostředí Mosaic je knihovna součástí instalace. Knihovna umožňuje, aby PLC Tecomat zastávalo roli master i roli slave. Kromě funkčních bloků a funkcí pro sériovou komunikaci Modbus s verzí RTU, jsou zde zastoupeny i bloky pro komunikaci s verzí TCP/IP po ethernetu. Nutná podmínka pro komunikaci je nastavení kanálů do režimu UNI. [7]

Řízení komunikace

Pro komunikaci je důležitý datový typ TCmdStruct. To zastává funkci pole příkazů, které jsou vyměňovány mezi master zařízením (PLC) a slave zařízením (ENOCEAN-GWY-MOD převodník). TCmdStruct obsahuje následující proměnné:

- Gr - určuje v jakém režimu bude komunikace probíhat
- SNo - adresa slave stanice
- FNC - funkce protokolu Modbus viz. tabulka 2.3
- StAdr - počáteční adresa objektů uvnitř stanice Modbus
- NoPoint - počet datových objektů, se kterými se bude pracovat
- PtrData - ukazatel na proměnnou/pole proměnných, které přenášíme

K zapisování do pole typu TCmdStruct slouží funkce ModbusCmd, která má vstupní proměnné shodné s proměnnými obsaženými v poli TCmdStruct a podle jejich hodnot je zapíše. Následně je potřeba využít jeden ze dvou funkčních bloků, který spravuje komunikaci pro PLC jako master. Konkrétně se jedná o bloky ModbusRTUmas a fbModbusRTUmas2. Druhý zmíněný má oproti bloku ModbusRTUmas o jeden vstup s názvem Delay navíc. Ten umožňuje nastavit prodlevu mezi jednotlivými příkazy. Dalším rozdílem je navýšení maximálního počtu příkazů ze 128 na 255. [7]

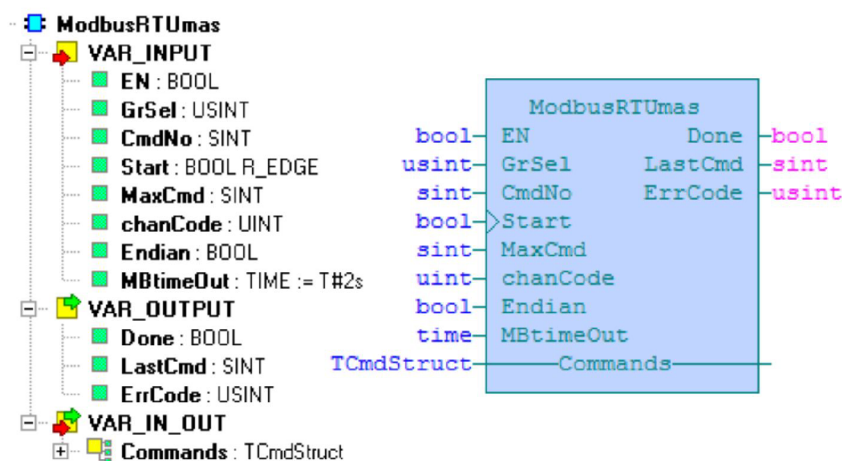
ModbusRTUmas

Funkční blok ModbusRTUmas slouží k sestavení komunikační relace na základě připravených příkazů. Prostřednictvím zvoleného komunikačního kanálu pak vyměňuje data mezi PLC a slave zařízením. ModbusRTUmas obsahuje tyto vstupní proměnné:

- EN - povoluje činnost bloku
- GrSel - vybírání režimu komunikace viz. níže
- CmdNo - číslo příkazu odesílaného v manuálním režimu, v automatickém režimu je tento vstup ignorován
- Start - v manuálním režimu se s náběžnou hranou odesílá příkaz
- MaxCmd - celkový počet příkazů určených pro komunikaci
- chanCode - komunikační kanál
- Endian - kódování dat (0 - BigEndian, 1 - LittleEndian)
- MBtimeOut - Modbus Timeout (implicitně 2 sekundy) [7]

Režimy komunikace

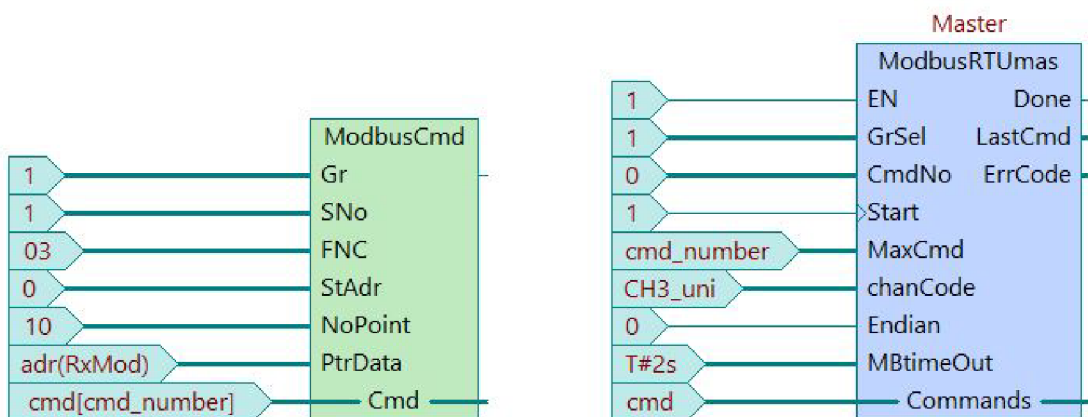
- GrSel = 0, manuální režim
- GrSel = 1, automatický režim, odesílají se příkazy s označením Gr = 1
- GrSel > 1, automatický režim, odesílají se příkazy s označením Gr = 1 a Gr = GrSel [7]



Obrázek 2.6: Funkční blok ModbusRTUmas [7]

Příklad Modbus komunikace s PLC Tecomat

Na obrázku je možné vidět základní Modbus komunikaci v jazyce CFC, kde masterem je PLC Tecomat. Funkce ModbusCmd nastaví do pole typu TCmdStruct s názvem cmd na příslušnou pozici určenou proměnnou cmd_number data. Modbus funkce 03 udává, že se jedná o čtení registrů, které se budou vyčítat ze stanice s adresou nula. StAdr rovno nule znamená, že se začne číst prvním objektem. Proměnná NoPoint říká, že se bude číst deset registrů. Všechna tato přečtená data se uloží do proměnné RxMod. Pro vyměňování dat mezi PLC a slave zařízením je zde vybrán funkční blok ModbusRTUmas, který je nastaven v automatickém režimu (GrSel = 1). Pořadem příkazů pro řízení komunikace je proměnná cmd, která je přivedena na vstup Commands. Komunikace probíhá po komunikačním kanálu CH3_uni.



Obrázek 2.7: Modbus komunikace v jazyce CFC

3 TVORBA KNIHOVNY A VZOROVÉ PROGRAMY

3.1 TVORBA KNIHOVNY

Knihovna je složena z osmi funkčních bloků, přičemž sedm z nich slouží čistě pro čtení hodnot ze senzorů. Jeden funkční blok umožňuje oboustrannou komunikaci s EnOcean prvkem. Jednotlivé funkční bloky jsou označeny podle EnOcean Equipment Profiles. Mohly být pojmenovány podle druhu snímače/aktoru, ale protože se v programu EnOcean Tools přidávají prvky podle označení EEP, rozhodl jsem se ho využít i pro názvy bloků pro větší přehlednost. Bloky jsou vytvořeny bez ohledu na TYPE u EEP, proto je v názvu tato část nahrazena „xx”.

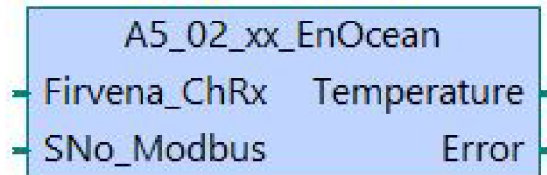
Funkční bloky knihovny

Tabulka 3.1: Funkční bloky knihovny

Označení bloku	Zařízení EnOcean
A5_02_xx_EnOcean	teplotní senzor
A5_04_xx_EnOcean	teplotní a vlhkostní senzor
A5_05_xx_EnOcean	tlakový senzor
A5_06_xx_EnOcean	světelný senzor
A5_07_xx_EnOcean	PIR senzor
A5_09_xx_EnOcean	enviromentální senzor
D2_01_xx_EnOcean	stmívač
F6_02_xx_EnOcean	vypínač

Knihovna obsahuje většinu typů senzorů, které jsou podporovány převodníkem ENOCEAN-GWY-MOD. Každý blok obsahuje dvě vstupní proměnné. První proměnnou je Firvena_ChRx, ta je typu UINT a uživatel do ní zadává číslo kanálu, na který přidal daný prvek v programu EnOcean Tools v sekci Rx channels. Druhá proměnná má název SNo_Modbus, je typu USINT a zapisuje

se do ní číslo adresy převodníku vzhledem k protokolu Modbus. Pro většinu funkčních bloků jsou to jediné vstupní proměnné, které je nutno zadat. Jedinou výjimkou je funkční blok D2_01_xx_EnOcean pro EnOcean stmívače, který má více vstupních proměnných, protože je využíván i jako aktor.



Obrázek 3.1: Vzhled funkčního bloku A5_02_xx_EnOcean

Převodník má pro čtení dat z EnOcean zařízení přiřazené registry adresované od 0 do 399. Protože je možné najednou číst ze čtyřiceti zařízení, pro každé je vyhrazeno deset registrů. Do prvních šesti jsou ukládány přepočtené hodnoty z EnOcean telegramu. Další čtyři registry obsahují informaci o síle signálu, počtu přijatých telegramů, času od posledního příjmu a Erroru. Aby se v každém bloku nemusel číst každý registr zvlášť, je vytvořený vlastní datový typ s názvem RxEnOcean. Ten obsahuje deset proměnných typu WORD pro každý jeden registr.

```

TYPE
  RxEnOcean : STRUCT
    Val1 : WORD;
    Val2 : WORD;
    Val3 : WORD;
    Val4 : WORD;
    Val5 : WORD;
    Val6 : WORD;
    RSSI : WORD;
    Count: WORD;
    Delay: WORD;
    Err  : WORD;
  END_STRUCT
END_TYPE

```

Obrázek 3.2: Vlastní datový typ RxEnOcean

V každém bloku se nachází proměnná, která je typu RxEnOcean. Na tu se poté ukazuje ve funkci ModbusCmd jako na proměnnou, kam se zapisují data při Modbus funkci 03. Vstupní proměnná Firvena_channelRx je zadána v ModbusCmd do StAdr a počet datových objektů NoPoint je nastaven vždy na deset. Knihovna obsahuje dvě globální proměnné, které se používají pro

Modbus komunikaci. První proměnná má název cmd a je typu TCmdStruct. Druhá je číselná proměnná cmd_number, která nese informaci o pořadí příkazu a zapisuje se pomocí ní do pole cmd.

```
ModbusCmd(Gr := 1, SNo := SNo_Modbus, FNC := 03, StAdr := (Firvena_ChRx)*10, NoPoint := 10,
  PtrData := adr(temper_sen), Cmd := cmd[cmd_number]);
```

Obrázek 3.3: Funkce ModbusCmd volána ve funkčním bloku

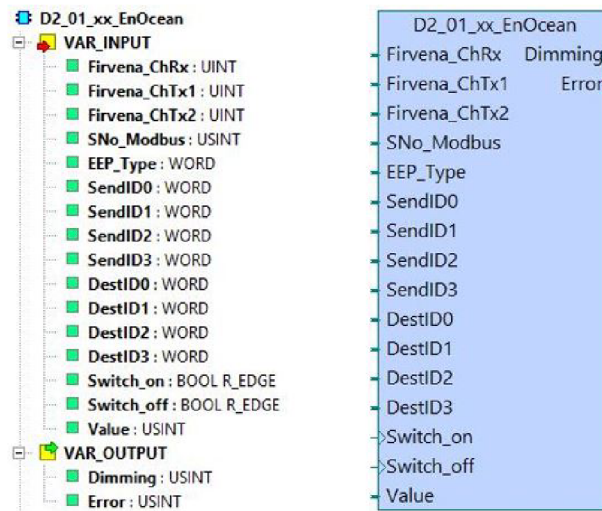
Bloky jsou vytvořeny univerzálně neohledně na TYPE EnOcean zařízení, takže výstup z bloku je vždy jen základní hodnota shodná pro všechny TYPE a Error. Například u světelného senzoru je výstup pouze hodnota osvětlení i když senzor s EEP označením A5-06-04 udává také hodnotu teploty.

Tabulka 3.2: Výstupy funkčních bloků

Označení bloku	Výstupní proměnná/proměnné
A5_02_xx_EnOcean	Temperature [°C]
A5_04_xx_EnOcean	Temperature [°C], Humidity [%]
A5_05_xx_EnOcean	Pressure [hPa]
A5_06_xx_EnOcean	Illumination [lx]
A5_07_xx_EnOcean	On_Off (1 = PIR on, 0 = PIR off)
A5_09_xx_EnOcean	Value (Pro každý EnOcean TYPE jiná veličina)
D2_01_xx_EnOcean	Dimming [%]
F6_02_xx_EnOcean	Position_1, Position_2, Position_3, Position_4 (1 = stisknutý příslušný kanál) LongPush (1 = dlouhý stisk)

Každý funkční blok je ještě doplněn o výstupní proměnnou Error, která je také čtena z převodníku. Pokud je bezproblémový stav, je hodnota Erroru rovna nule. V případě, že typ čidla není podporován, Error nabývá hodnotu tři. Poslední hodnotu, kterou může Error nabývat, je 255 a to v případě, kdy budeme chtít číst z kanálu, který nebude obsazený. V dalších verzích programu EnOcean Tools by Error měl být doplněn o hodnotu sedm, která se objeví v případě, že EnOcean zařízení neodešle převodníku telegram minimálně deset minut.

Funkční blok D2_01_xx_EnOcean



Obrázek 3.4: Funkční blok D2_01_xx_EnOcean

Funkční blok D2_01_xx_EnOcean reprezentuje EnOcean stmívače. Ze všech funkčních bloků knihovny je to jediný, který telegramy nejen přijímá, ale také odesílá. Kvůli tomu obsahuje značně více vstupů. Jako u každého bloku je nutné nastavit proměnnou Firvena_ChRx, kde je přidán prvek pro čtení hodnot, a SNo_Modbus, což je adresa slave zařízení vzhledem k Modbus komunikaci. Zbylé vstupy už jsou zde právě za účelem odesílání telegramu. Do Firvena_ChTx1 a Firvena_ChTx2 se zapíše čísla volných kanálů v sekci Tx Channels. Zatímco u čtení telegramů se ID EnOcean zařízení nastavuje přímo v programu EnOcean Tools, tedy je nutné vyplnit ID převodníku (SendID0-SendID1-SendID2-SendID3) a ID prvku, kterému chceme dané telegramy vysílat (DestID0-DestID1-DestID2-DestID3). To samé platí i o EnOcean TYPE, které je nutné do bloku zapsat. Hlavní funkce spočívá v nastavení procentuální úrovně osvětlení do proměnné Value, na kterou se následně nastaví světelný prvek pomocí vstupní proměnné Switch_on. Proměnná Switch_off slouží pro úplné vypnutí světelného prvku. Na výstupu je pak vidět procentuální úroveň osvětlení v proměnné Dimming. Stmívače kromě nastavení úrovně osvětlení mívají i další funkce, třeba dokáží měnit úroveň v reálném čase a ne skokově, jako to je tady. S tím je zde vzhledem k nutnosti nejprve zapnutí a až následného odeslání telegramu ve dvou Modbus cyklech problém. Přesto aspoň možnost pouhé změny úrovně osvětlení se dá v mnoha aplikacích využít. Hlavní podmínka funkčnosti bloku závisí na zpětné vazbě o úrovni z převodníku. Z toho vyplývá, že stmívač musí mít nastavenou zpětnou vazbu typu VLD EnOcean telegramu (D5-01-xx), která se bude objevovat v sekci Rx Channels.

3.2 VZOROVÝ PROGRAM S VYUŽITÍM KNIHOVNY ENOCEAN

3.2.1 Použité EnOcean prvky

Snímač teploty

K dispozici byl snímač teploty od firmy NodOn, který má EEP označení A5-02-05. Rozsah teplot je tak 0 °C až 40 °C. Velikost snímače je 80 x 26 x 18 mm.

Snímač CO₂

Snímač CO₂ byl použit od firmy Awag s EEP označením A5-09-04. Rozsah měřené hodnoty je 400-2550 ppm CO₂.

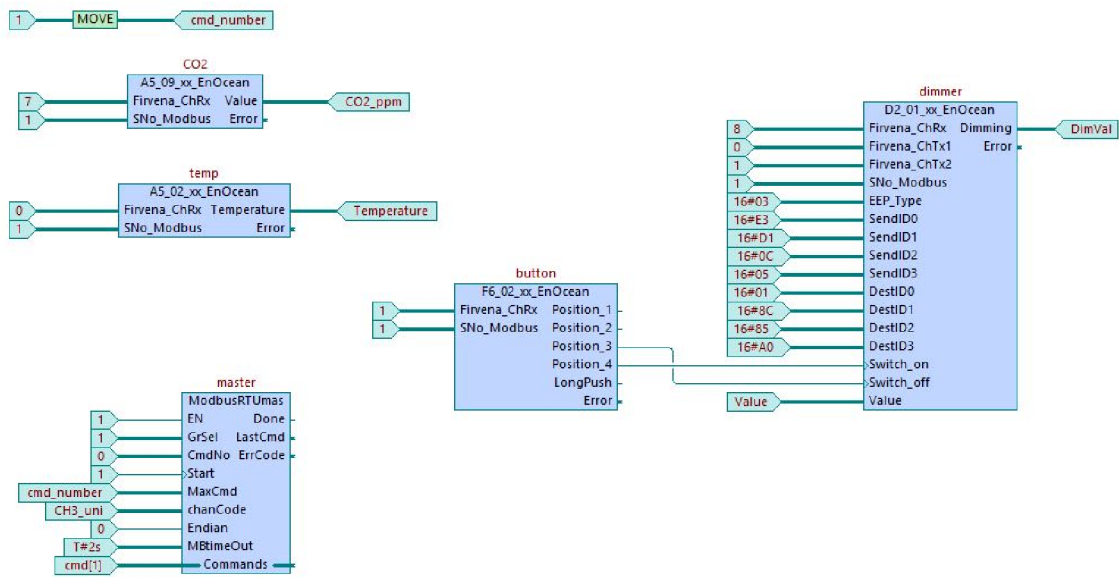
Vypínač

Vypínač má EEP označení F6-02-01 a je dvoukanálový, kanály mají číselné označení 3 a 4.

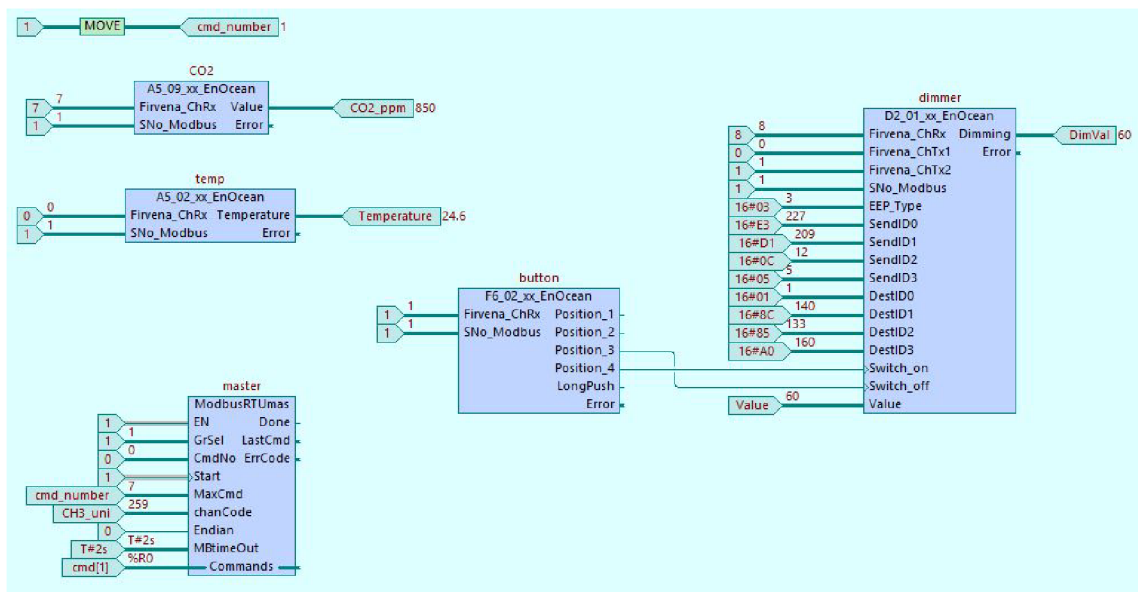
Stmívač

Stmívač byl použit opět od firmy Awag s EEP označením D2-01-03. Je to jediný prvek, ze kterého se telegramy nejen čtou, ale také posílají. Stmívač je jednobaný, může stmívat LED svítidla i další elektrické zařízení. Automaticky rozpoznává zátěž (R/L/C) a volí tak správný provozní režim pro světelný zdroj [16]. Je možnost dvou konfigurací a to manuální a konfigurace pomocí softwaru E-tool. Pro manuální konfiguraci je stmívač vybaven potenciometrem a dvěma tlačítky LRN a CLR. Podle tabulky v datasheetu se stmívač nastavuje kombinací těchto tří prvků. Pro nastavení komunikace pomocí EnOcean telegramů jsem však musel využít programu E-tool, abych mohl nakonfigurovat převodník jako Gateway pro stmívač.

3.2.2 Vzorový program



Obrázek 3.5: Vzorový program v jazyce CFC



Obrázek 3.6: Vykonávaný vzorový program v jazyce CFC

Vzorový program se skládá z funkčních bloků již zmíněných použitých EnOcean prvků. Výstupy tlačítka jsou zde přivedeny na vstup stmívače pro rozsvícení a zhasínání žárovky. Pro řízení Modbus komunikace je zde vybrán funkční blok ModbusRTUmas. Na obrázku můžeme vidět, že v době chodu programu byla koncentrace CO2 v místnosti 850 ppm a teplota 24,6 °C.

3.3 VZOROVÁ DOKUMENTACE BLOKU A5_02_XX_ENOCEAN

Funkční blok A5_02_xx_EnOcean slouží pro čtení teploty z EnOcean teplotního senzoru pomocí převodníku ENOCEAN-GWY-MOD od firmy Firvena s.r.o. Pro komunikaci je nutné využít funkční blok ModbusRTUmas nebo fbModbusRTUmas2.



Proměnná	Typ	Význam
VAR_INPUT		
Firvena_ChRx	UINT	Číslo kanálu, kde je prvek přidán v programu EnOcean Tools
SNo_Modbus	USINT	Číslo adresy Firvena převodníku vzhledem k Modbus protokolu
VAR_OUTPUT		
Temperature	REAL	Hodnot teploty [°C]
Error	USINT	Chyba (0 - bez chyby, 3 - EnOcean typ není podporován, 7 - timeout, 255 - pozice není obsazena)

Obrázek 3.7: Vizuální dokumentace bloku A5_02_xx_EnOcean

Vzorový program

Na začátku programu je nutné globální proměnnou `cmd_number` nastavovat na hodnotu jedna, aby nedošlo k přetečení pole `cmd`, které slouží pro Modbus komunikaci. Na vstup bloku `A5_02_xx_EnOcean` se zapíše kanál, na který je přidán v programu `EnOcean Tools` do proměnné `Firvena_ChRx`. V tomto případě se jedná o kanál 0. Dále se zapíše do proměnné `SNo_Modbus` adresa převodníku z hlediska Modbus protokolu. Výstup `Temperature` udává hodnotu teploty ve °C. Pro komunikaci je zde funkční blok `ModbusRTUmas`, který je nastaven v automatickém modu (`GrSel = 1`). Do `MaxCmd` je nutné zaplat globální proměnnou `cmd_number`, vstup `Commands` musí mít globální proměnnou `cmd` indexovanou do 1.

```
PROGRAM vzorTemp
  VAR_INPUT
  END_VAR
  VAR_OUTPUT
  END_VAR
  VAR
  Master : ModbusRTUmas;
  Temper_sen : A5_02_xx_EnOcean;
  Temp : REAL;
  END_VAR
  VAR_TEMP
  END_VAR

  cmd_number := 1;
  Temper_sen(Firvena_ChRx := 0, SNo_Modbus := 1, Temperature => Temp);
  Master(EN := 1, GrSel := 1, CmdNo := 0, Start := 1, MaxCmd := cmd_number,
        chanCode := CH3_uni, Endian := 0, MTimeOut := T#2s, Commands := cmd[1]);

END_PROGRAM
```



Ch.	Label	SenderID	EEP	Icon	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Signal	Counter	Elapsed	Status
0		01-82-30-0C	A5-02-05		23,7 °C	0	0	0	0	0	-57 dBm 	11	445 s	0 (Ok)

Obrázek 3.8: Vzorový program v jazyce ST pro funkční blok `A5_02_xx_EnOcean` a ukázka daného `EnOcean` prvku přidání v programu `EnOcean Tools`

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit knihovnu, která bude s pomocí převodníku implementovat prvky s EnOcean rozhraním do ekosystému PLC Tecomat. K dispozici jsem měl převodník od firmy Firvena s.r.o., který umožňuje číst EnOcean telegramy přes rozhraní RS-232 nebo RS-485 protokolu Modbus RTU. Po seznámení s knihovnou ModbusRTU, která je použita pro komunikaci, a inspirací ostatními knihovnami bylo vytvořeno osm funkčních bloků implementujících osm různých EnOcean prvků. Vzhledem k tomu, že jsem měl možnost pracovat pouze se čtyřmi prvky, jsou zde čtyři funkční bloky neotestované. Jelikož se ale u všech jedná pouze o prvky, ze kterých se hodnoty čtou, programování probíhalo obdobně a s funkčností by neměl být problém. Kromě již čtyř zmíněných prvků v sekci 3.2.1 jsem měl k dispozici navíc pohon rolet, který v době vypracovávání práce nebyl převodníkem podporován, z tohoto důvodu není tento prvek v knihovně zahrnut.

Výsledek práce bude součástí programovacího prostředí Mosaic od společnosti Teco a.s. i s potřebnou dokumentací pro jednotlivé funkční bloky. Dále se objeví na stránkách <https://wiki.tecomat.cz/> podrobný návod obsahující celý proces od přidání jednotlivých prvků do programu převodníku EnOcean Tools až po vytvoření primitivního programu s využitím vytvořené EnOcean knihovny.

Do budoucna by bylo dobré knihovnu rozšířit o další prvky, které jsou na trhu k dispozici. V plánu je také využití dalšího převodníku od stejné firmy, který tentokrát využívá protokol Modbus TCP/IP.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] WANG, Shengwei. *Intelligent Buildings and Building Automation*. Spon Press, 2010. ISBN 978-0-203-89081-3.
- [2] MLČÁK, Tomáš. *Systémová technika budov - způsoby a principy realizace* [online]. 2006. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/STB/1_klasicka_elektroinstalace_a_systemova_technika_budov.pdf.
- [3] PERRY, Tristan. *Zigbee vs Z-Wave vs WiFi vs Bluetooth: What's Best?!* [online]. 2023. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.smarthomepoint.com/zigbee-zwave-wifi-bluetooth-comparison/>.
- [4] Z-WAVE.COM. *Learn about Z-Wave* [online]. [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.z-wave.com/learn>.
- [5] GRATTON, Dean Anthony. *Introducing the EnOcean Ecosystem: No wires. No batteries. No limits* [online]. EnOcean Alliance, 2016 [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: https://www.enocean-alliance.org/wp-content/uploads/2016/11/Whitepaper_Introducing_the_EnOcean_Ecosystem.pdf.
- [6] TECOMAT.CZ. *Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic* [online]. 2007. [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00321_01_mosaic_progiec_cz.
- [7] TECOMAT.CZ. *Knihovna ModbusRTU* [online]. 2021. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00352_01_mosaic_modbusrtulib_cz.
- [8] ŠMEJKAL, Ladislav. *Esperanto programátorů PLC: programování podle normy IEC/EN 61131-3 (část 4)* [online]. Automa, 2011, číslo 12 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/esperanto-programatoru-plc-programovani-podle-normy-iec/en-61131-3-cast-4-2011_12_45413_5828/.
- [9] KLABAN, Jaromír. *Inels a sběrnice CIB – moderní systém inteligentní elektroinstalace* [online]. Automa, 2008, číslo 12 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/inels-a-sbernice-cib-moderni-system-inteligentni-elektroinstalace-2008_12_38218_6156/.

- [10] ENOCEAN.COM. *EnOcean Radio Protocol 1* [online]. 2020. [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.enocean.com/wp-content/uploads/Knowledge-Base/EnOceanRadioProtocol1.pdf>.
- [11] ENOCEAN.COM. *Energy Harvesting* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.enocean.com/en/technology/energy-harvesting/>.
- [12] ENOCEAN.COM. *Energy Harvester ECO 200* [online]. 2021. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: https://www.enocean.com/wp-content/uploads/downloads-produkte/en/products/enocean_modules/eco-200/data-sheet-pdf/ECO_200_Data_Sheet_June2021.pdf.
- [13] ENOCEAN.COM. *Solar cells ECS 300 and ECS 310* [online]. 2013. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: https://www.enocean.com/wp-content/uploads/downloads-produkte/en/products/enocean_modules/ecs-300/data-sheet-pdf/ECS_3x0_Data_Sheet_Oct2013_08.pdf.
- [14] ENOCEAN.COM. *ECT 310 Perpetuum* [online]. 2012. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: https://www.enocean.com/wp-content/uploads/downloads-produkte/en/products/enocean_modules/ect-310-perpetuum/data-sheet-pdf/ECT_310_Data_Sheet_Mar12_02.pdf.
- [15] MODICON. *Modbus Protocol Reference Guide* [online]. 1996. [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: https://modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf.
- [16] AWAG.CH. *UPD230/10* [online]. 2018. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://www.awag.ch/de/UPD230_10-OMNIO-37935.html.
- [17] PLÍVA, Zdeněk et al. *Metodika zpracování bakalářských a diplomových prací*. 3. vyd. Liberec: TU v Liberci, 2019. ISBN 978-80-7494-455-0. Dostupné z DOI: [10.15240/tul/002/978-80-7494-455-0](https://doi.org/10.15240/tul/002/978-80-7494-455-0).
- [18] SATRAPA, Pavel. *Balík tul pro LaTeX verze 2.0*. Verze 2.0. Liberec: TUL, 2022. Dostupné také z: <http://www.nti.tul.cz/~satrapa/vyuka/latex-tul/>.