

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

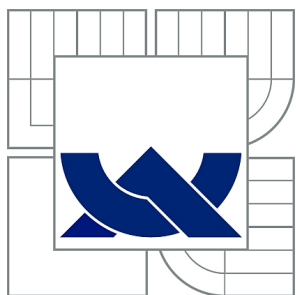
TECHNOLOGIE PLC V SYSTÉMECH SBĚRU DAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

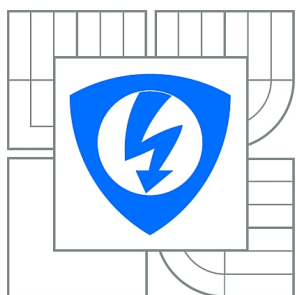
JAN KOLÁŘ

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## **TECHNOLOGIE PLC V SYSTÉMECH SBĚRU DAT**

PLC TECHNOLOGY IN DATA COLLECTION SYSTEMS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**JAN KOLÁŘ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.**

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Jan Kolář

**ID:** 136539

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**Technologie PLC v systémech sběru dat**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte systém sběru dat pomocí PLC (Power Line Communication) modemů společnosti Yitran. V realizaci se soustředíte na SoC (system on chip) řešení a pro vývoj obslužné aplikace využijte dostupné procesorové jádro PLC modemů. V rámci práce navrhněte a realizujte jednoduchou agregační aplikaci, která umožní vizualizaci naměřených dat. Jako zdroj dat uvažujte jednoduchý systém měřících senzorů. Ověřte možnosti realizovaného systému komunikovat v zarušeném prostředí a v závislosti na vzdálenosti.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. Broadband Powerline Communications Network design, ISBN:0-470-85741-2, 2004

[2] DOSTERT, Klaus. Powerline Communications. Upper Saddle River, NJ 07458 : Prentice Hall PTR, 2001. 338 s. ISBN 0-13-029342-3.

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 5.6.2013

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na použití technologie PLC ve sběru dat. V první části jsou zpracované informace o PLC komunikaci a je proveden rozbor druhů PLC komunikace se zaměřením na komunikaci úzkopásmovou, její vlastnosti a druhy modulací. Jsou zde popsány používané modemy od firmy Yitran. Pozornost je věnována tvorbě softwaru pro vlastní aplikaci zaměřenou na sběr dat z jednoduchých senzorů. Bakalářská práce obsahuje popis dvou vytvořených aplikací, nezbytných pro realizaci systému sběru dat. V poslední části je popsáno měření závislosti ztrátovosti paketů v závislosti na vzdálenosti. Z tohoto měření vyplývá, že modemy fungují spolehlivě i se zvyšující se vzdáleností.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

PLC, úzkopásmová PLC, silnoproudé rozvody, sběr dat, Yitran, IT700

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the use of PLC technology in data collection. The first part includes information about PLC. An analysis of types, properties and types of modulations of PLC focusing on the narrowband one is carried out. Used modems from Yitran company are described. Attention is also paid to creation of software for an application focused on data collection from simple sensors. The thesis includes the description of two created applications required for the realization of data collection system. In the last part, measurement of packet loss dependence on distance is described. From the measurement it follows that the modems operate reliably with rising distance as well.

## **KEYWORDS**

PLC, narrowband PLC, powerline grids, data collection, Yitran, IT700

KOLÁŘ, Jan *Technologie PLC v systémech sběru dat*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013. 54 s. Vedoucí práce byl doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Technologie PLC v systémech sběru dat“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Mišurcovi, CSc. za odborné vedení, konzultace a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Purkynova 118, CZ-61200 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>1 PLC</b>	<b>12</b>
1.1 Základní rozdělení PLC . . . . .	12
1.1.1 Úzkopásmová PLC . . . . .	12
1.2 Modulace v úzkopásmovém přenosu . . . . .	13
<b>2 Topologie sítě</b>	<b>15</b>
2.1 Topologie sítě pro sběr dat s využitím technologie PLC . . . . .	15
2.1.1 Sběrníková topologie . . . . .	15
2.1.2 Hvězdicová topologie . . . . .	16
2.1.3 Kruhová topologie . . . . .	17
2.1.4 Stromová topologie . . . . .	17
2.2 Přístupová síť PLC . . . . .	17
2.2.1 Centrální řídicí stanice . . . . .	17
2.2.2 Koncentrátor . . . . .	18
2.2.3 PLC modem . . . . .	18
2.2.4 Opakovač . . . . .	18
<b>3 Modem IT700</b>	<b>19</b>
3.1 Základní parametry . . . . .	19
3.2 Mikrokontrolér 8051 . . . . .	19
3.3 STK4 - Starter kit . . . . .	20
3.4 Parametry komunikace přes rozhraní UART . . . . .	21
3.5 Druhy modulací a přenosové rychlosti . . . . .	22
3.6 Tvorba firmwaru pro modem IT700 . . . . .	22
3.6.1 Kompilátor . . . . .	22
3.6.2 Debugger . . . . .	24
3.7 PLC Studio . . . . .	25
3.7.1 Ověření komunikace mezi modemy . . . . .	26
3.8 Vytvoření sítě s modemy IT700 . . . . .	26
3.8.1 Topologie sítě vytvořené modemy . . . . .	27
3.8.2 Adresní služby . . . . .	28
3.8.3 Směrovací služby . . . . .	28
3.8.4 Datové služby . . . . .	29

<b>4</b>	<b>Systém sběru dat</b>	<b>30</b>
4.1	Koncepce systému sběru dat . . . . .	30
4.2	Analýza připojitelných zařízení . . . . .	30
4.3	Digitální teplotní čidlo TM . . . . .	30
4.4	Převodník RS232 na TTL logiku . . . . .	31
<b>5</b>	<b>Vývoj aplikací</b>	<b>33</b>
5.1	Zkušební aplikace pro teplotní čidlo TM . . . . .	33
5.2	Komunikace pomocí modemů IT700 . . . . .	34
5.3	Tvorba paketů pro komunikaci mezi modemem a PC aplikací . . . . .	34
5.3.1	Struktura příkazu . . . . .	35
5.4	Vysílací aplikace . . . . .	36
5.4.1	Tvorba odesílaného paketu . . . . .	37
5.5	Přijímací a zobrazovací aplikace . . . . .	38
<b>6</b>	<b>Měření ztrátovosti paketů</b>	<b>40</b>
6.1	Laboratoř - laboratoř . . . . .	40
6.2	Laboratoř - chodba 1 . . . . .	42
6.3	Laboratoř - chodba 2 . . . . .	43
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>45</b>
	<b>Literatura</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>49</b>
<b>A</b>	<b>Příloha - tvorba firmwaru</b>	<b>51</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Sběrníková topologie . . . . .	16
2.2	Hvězdicová topologie . . . . .	16
2.3	Kruhová topologie . . . . .	17
3.1	IT700 PIM . . . . .	20
3.2	Základní deska . . . . .	21
3.3	USB-to-JTAG debugger . . . . .	25
3.4	Program PLC Studio . . . . .	25
3.5	Nastavení sériového čísla a dalších parametrů . . . . .	26
3.6	Průběh zkušební komunikace mezi NC a RS . . . . .	27
3.7	Stromová struktura sítě. . . . .	27
5.1	Blokové schéma zkušební komunikace . . . . .	33
5.2	Naměřená teplota . . . . .	34
5.3	Data uložená v textovém souboru . . . . .	34
5.4	Blokové schéma aplikace . . . . .	35
5.5	Úspěšný přenos dat . . . . .	39
6.1	Nastavení odesílaných paketů . . . . .	40
6.2	Zapojení: laboratoř - laboratoř [16] . . . . .	41
6.3	Zapojení: laboratoř - chodba 1 [16] . . . . .	42
6.4	Zapojení: laboratoř - chodba 2 [16] . . . . .	44
A.1	Nastavení parametrů projektu - záložka Target . . . . .	51
A.2	Nastavení parametrů projektu - záložka Output . . . . .	51
A.3	Nastavení parametrů projektu - záložka User . . . . .	52
A.4	Nastavení parametrů projektu - záložka C51 . . . . .	52
A.5	Výběr paměti pro nahrání firmwaru . . . . .	53
A.6	Výběr zdrojového souboru . . . . .	53
A.7	Nastavení FLASH paměti . . . . .	54

# SEZNAM TABULEK

1.1	Rozdělení frekvenčních pásem podle normy CENELEC . . . . .	13
3.1	Parametry komunikace přes UART . . . . .	21
3.2	Přenosové rychlosti v různých kmitočtových pásmech . . . . .	22
3.3	Sériová čísla modemů . . . . .	26
4.1	Komunikační protokol . . . . .	32
5.1	Popis polí tvořeného paketu . . . . .	36
5.2	Tvorba datového paketu . . . . .	37
5.3	Hodnoty bajtů v odesílaném paketu . . . . .	38
6.1	Nastavení vysílacího módu . . . . .	41
6.2	Statistika odesílaných paketů . . . . .	41
6.3	Měření: laboratoř - laboratoř . . . . .	42
6.4	Laboratoř - chodba 1 . . . . .	43
6.5	Naměřené hodnoty: laboratoř - chodba 2 . . . . .	44

# ÚVOD

Již velmi dlouho se rozvíjí technologie pro přenos dat po silových vedeních. Jelikož je infrastruktura silových vedení velmi rozsáhlá, jedná se o velice elegantní řešení. Tato technologie se nazývá Powerline Communication (PLC). Podle používaných kmitočtů je možné ji rozdělit na širokopásmovou a úzkopásmovou komunikaci. Širokopásmová je podle větší šířky pásma (do 30 MHz) přizpůsobena pro přenos většího objemu dat. V této oblasti však jiné technologie dosahují lepších výsledků. Oproti tomu úzkopásmová komunikace s kmitočtovým pásmem do 150 kHz je využívána především energetickými distribučními společnostmi. Tento druh komunikace není určen pro všeobecné využití, ale je vhodný pro automatizovaný sběr dat jako například dálkové odečítání hodnot z elektroměrů, automatické odečítání dat z čidel nebo pokročilé ovládání čidel. Úzkopásmový systém komunikace by se také uplatnil v oblasti komerčních aplikací jako například ovládání a monitorování solárních panelů, ovládání pouličního osvětlení nebo ovládání výdejních automatů.

Bakalářská práce pojednává o využití technologie PLC ve sběru dat. Konkrétně o využití PLC modemů od firmy Yitran. Předností těchto modemů je konstrukční řešení na principu System-on-chip (SoC). Společnost Yitran nabízí modemy i s vývojovým modulem pro tvorbu vlastních uživatelských aplikací. Společně s vývojovým modulem je dodáván i zdrojový kód vzorové aplikace. V bakalářské práci je popsán postup pro vytvoření vlastní aplikace, která vychází z aplikace vzorové. Součástí práce je podrobný návod, který zahrnuje kroky pro vytvoření projektu, jeho zkompilování a následné nahrání do modemu. Pozornost je věnována i důležitému nastavení modemů přes program PLC Studio, který slouží pro konfigurování modemů. Práce obsahuje také tvorbu vlastních uživatelských aplikací nezbytných pro komunikaci a následné měření, které je zaměřeno na ztrátovost paketů v závislosti na vzdálenosti přenosu dat.

# 1 PLC

PowerLine Communication (dále jen PLC) je obecný termín označující úzkopásmový a širokopásmový přenos zpráv po elektrické síti. Pro širokopásmové přenosy se užívá také zkratka BPL (Broadband over Powerline). Princip komunikace pomocí technologie PLC je v celku jednoduchý. Jelikož v rozvodech nízkého napětí je důležitá frekvence 50 Hz, používá se pro komunikaci vysokofrekvenční signál (v řádech desítek kHz až MHz). Tento signál je nejdříve vhodnou modulací modulován a následně injektován pomocí kapacitní nebo induktivní vazby na rozvody nízkého napětí. Na přijímací straně jsou odděleny signály v komunikačním pásmu, ze kterých se po demodulaci získá posílaný signál. Toto je ovšem část pouze teoretická. Jelikož rozvody nízkého napětí nejsou primárně určeny pro komunikaci, tak podmínky pro komunikaci zde nejsou ideální. Velkým problémem je útlum, který je způsoben přechodem přes jisticí prvky. Jako další problém se jeví to, že PLC může komunikovat pouze v rámci jednoho transformátoru. To je způsobeno galvanickým oddělením. Řešení tohoto problému je přemostění transformátoru. V rozvodech nízkého napětí dochází k rušení PLC komunikace (šum na pozadí, úzkopásmové rušení, impulzní rušení), které je způsobeno nejrůznějšími spotřebiči jako jsou například spínané zdroje, tyristorové regulátory, zářivky, televize atd. Posledním větším problémem je změna impedance v síti, která je způsobena připojováním a odpojováním spotřebičů. Výše zmíněné problémy se řeší pomocí různých modulací vysokofrekvenčního signálu. [4]

## 1.1 Základní rozdělení PLC

PLC je rozděleno pomocí zvolené frekvence na komunikaci úzkopásmovou a širokopásmovou. Za úzkopásmovou komunikaci se považuje přenos dat o frekvenci od 3 kHz do 148,5 kHz. Širokopásmová PLC pracuje v kmitočtovém pásmu od 1 MHz do 30 MHz. Na rozdíl od úzkopásmové PLC je vhodná pro přenos velkého objemu dat (například internet). Tato práce je ovšem zaměřena na využití úzkopásmové PLC a z tohoto důvodu nebude širokopásmová PLC více popisována.

### 1.1.1 Úzkopásmová PLC

V úzkopásmové PLC není možné přenášet velké objemy dat, a proto se tento typ hodí pro sběr dat a automatizaci jako například dálkový odečet z elektroměrů nebo ovládání čidel a spínačů v chytrých domech. Tato problematika v našich podmínkách spadá pod evropskou normu CENELEC EN 50065 - 2 - 3 („Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 kHz až 148,5 kHz. Všeobecné požadavky,

kmitočtová pásma a elektromagnetická rušení“)[1] [13]. Norma pojednává o frekvenčním rozsahu komunikace po rozvodech nízkého napětí a také o maximálních úrovních (amplitudách) signálu. Frekvenční rozdělení je uvedeno v tab. 1.1 [2].

Tab. 1.1: Rozdělení frekvenčních pásem podle normy CENELEC

Pásmo	Frekvenční rozsah [kHz]	Určeno pro	Přístupový protokol
A	3 až 95	Dodavatele	NE
B	95 až 125	Odběratele	NE
C	125 až 140	Odběratele	ANO
D	140 až 148,5	Odběratele	NE

Frekvenční rozsah od 3 do 95 kHz (pásmo A) je určen pro dodavatele, ale mohou ho využít i odběratelé se souhlasem dodavatele. Všechna zbývající pásma (B, C a D) jsou určena jen pro odběratele. Pásma C a D jsou volně k použití, ale u pásma C je použit přístupový protokol. V tomto pásmu je významný kmitočet 132,5 kHz, který informuje o probíhající komunikaci. V pásmu B a D se nepoužívá přístupový protokol, a tudíž vznikají chyby vlivem rušení a útlumu. Toto se řeší pomocí redundantních bitů, kontrolními součty nebo potvrzovacími bity (ACK). [2]

Norma CENELEC platí pouze pro Evropu, ale existují i další normy. Americký standard FCC a standard ARIB, který se používá v Japonsku. Tyto standardy disponují větším kmitočtovým rozsahem, který se blíží až k 500 kHz.

## 1.2 Modulace v úzkopásmovém přenosu

FSK (Frequency Shift Keying) - frekvenční (kmitočtové) klíčování. Logické nuly nebo jedničky jsou při FSK vyjádřeny změnou frekvence. Modulátor může být tvořen jedním nebo dvěma oscilátory. Při využití jednoho oscilátoru se pouze mění kmitočet a změna kmitočtu probíhá spojitě. V případě použití dvou oscilátorů má každý oscilátor stejnou frekvenci ale opačnou fázi ( $f_0$  a  $f_1$ ). Změna kmitočtu tedy probíhá nespojitě.[14]

PSK (Phase Shift Keying) - fázové klíčování. Přenášená data jsou klíčována pomocí změny fáze vysílaného signálu. Fázové klíčování může být realizováno různými způsoby:

1. BPSK (Binary Phase Shift Keying) - dvoustavové (binární) fázové klíčování. Tento druh PSK využívá 2 signálové prvky, které mají stejný kmitočet, ale odlišnou fázi. Fáze se mění o  $180^\circ$  ( $\pi$  rad).[14]

2. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) - čtyřstavové fázové klíčování. Rozdílem oproti BPSK je to, že využívá 4 signálové prvky a počáteční fáze jsou posunuty pouze o  $90^\circ$  ( $\pi/2$  rad). Signálové prvky (jedničky a nuly) jsou vyjádřeny pomocí bitových dvojic, které se odborně nazývají *dibity*. [14]

DCSK (Differential Code Shift Keying) - modulace s rozprostřeným spektrem. Signál je šířen v několika oddělených pásmech, takže rušení nemá na signál velký vliv. Výhodou je, že dekodér může dekódovat pouze části signálu, které nebyly ovlivněny. Díky rozprostřenému spektru je modulace odolná vůči rušení a jedná se tedy o velmi robustní typ modulace. [5]

1. DCSK6 - označovaná jako Standard Mode - SM. Tato modulace přenáší 1 symbol pomocí 6 bitů. Díky této vlastnosti je dosaženo přenosové rychlosti 7,5 kb/s v kmitočtovém pásmu FCC. [11]
2. DCSK4 - označovaná jako Robust Mode - RM. K přenosu 1 symbolu používá 4 bity. Oproti DCSK6 dosahuje nižší přenosové rychlosti (5 kb/s v kmitočtovém pásmu FCC), ale je dosaženo větší spolehlivosti přenosu dat. Existuje i speciální využití této modulace označovaný Extra Robust Mode - ERM. V tomto módu je každý datový symbol odeslán čtyřikrát za sebou. Značně se zvýší spolehlivost přenosu, ale čtyřikrát se sníží přenosová rychlost. U ERM přenos probíhá rychlostí 1,25 kb/s. [11]

## 2 TOPOLOGIE SÍTĚ

Pro vzdálený sběr dat se používají různé drátové nebo bezdrátové technologie. Systém musí být rozdělen do nějaké topologie a v zásadě se používají dva druhy:

### **P2P (Point-to-Point)**

Komunikace probíhá pouze mezi dvěma zařízeními. Měřicí zařízení přenáší naměřená data přímo do centrálního datového systému, kde jsou naměřená data uložena. Pro přenos dat existuje několik vhodných technologií. Nabízí se bezdrátová (rádiová) komunikace pomocí RF nebo GSM/GPRS. Přenos dat probíhá přímo vzduchem a jako přenosové médium jsou využity elektromagnetické vlny. Kabelová komunikace je na bázi ethernetu, optických rozvodů nebo PLC. [12]

### **P2MP (Point-to-MultiPoint)**

Komunikace probíhá mezi jedním (centrálním) prvkem sítě a ostatními prvky, které jsou k němu připojeny. Komunikace mezi měřicím zařízením a centrálním datovým systémem může probíhat přes datový koncentrátor. Komunikace mezi měřicím zařízením a koncentrátorem probíhá přes PLC, RF nebo lze použít i například GPRS. Data jsou uložena v datovém koncentrátoru a potom jsou odesílána do centrálního datového systému.

Jednotlivá měřicí zařízení je v dnešní době možné připojit pomocí těchto technologií:

- GSM síť (GPRS, EDGE, 3G)
- bezdrátové síť (WiFi, Wimax)
- datové síť (Ethernet, DSL, ISDN)
- energetické síť (PLC)

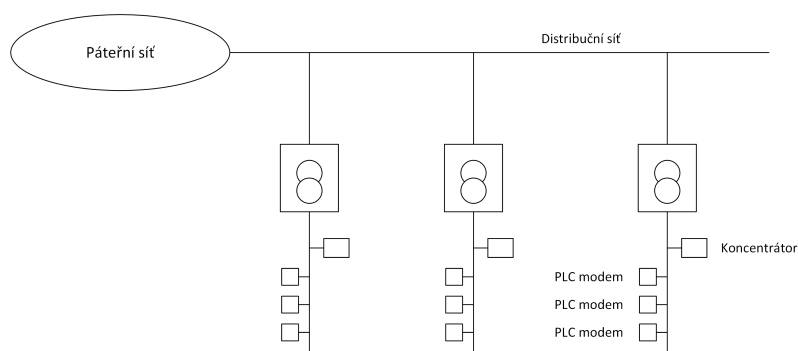
Výběr dané technologie závisí na dostupnosti, lokálních podmínkách a požadavcích zákazníka. [12]

## 2.1 Topologie sítě pro sběr dat s využitím technologie PLC

### 2.1.1 Sběrníková topologie

Největší výhodou těchto sítí je jednoduchost a relativně nízké pořizovací náklady. Má jednu velkou nevýhodu, kterou je spolehlivost v případě vzniku poruchy. Když u této topologie dojde k přerušení propojení PLC přístupových sítí, tak všechny přístupové

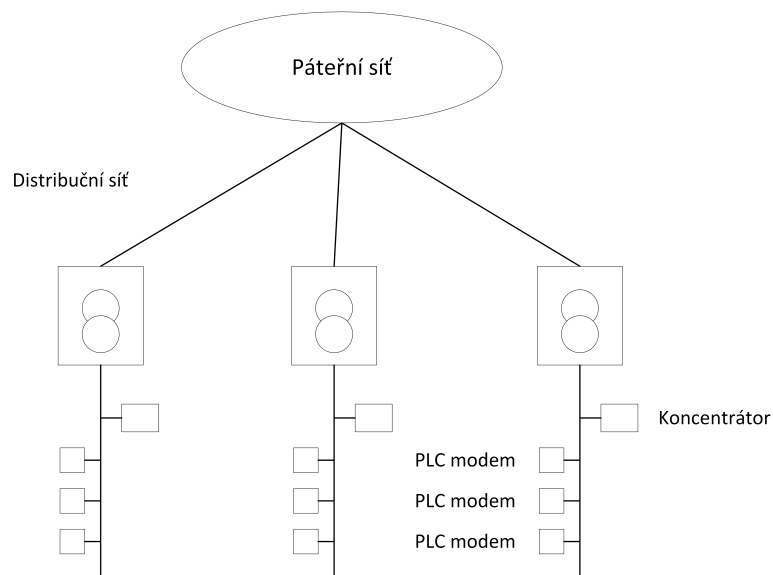
sítě za místem, kde došlo k poruše, budou odpojeni. Z toho důvodu se tato topologie považuje za nevhodnou. Sběrníková topologie je zobrazena na obrázku 2.1. [13]



Obr. 2.1: Sběrníková topologie

### 2.1.2 Hvězdicová topologie

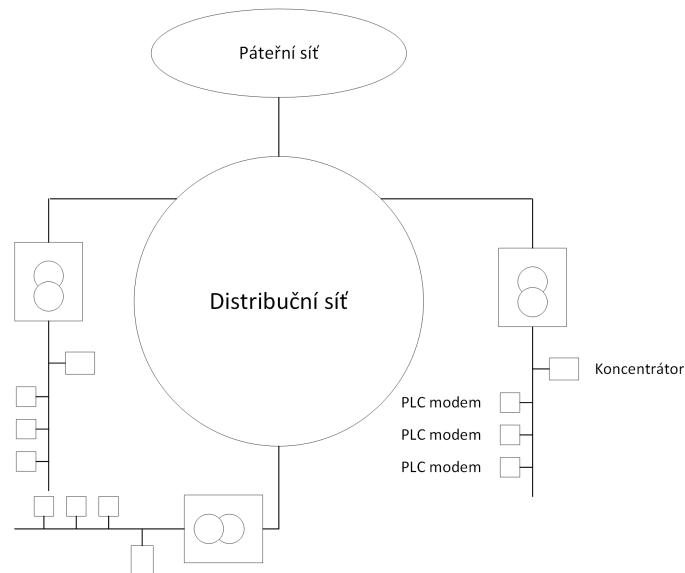
Hvězdicová topologie sítě má jeden centrální bod (např. transformátorovou stanicí), ze které vede propojovací vedení ke spotřebitelům. Výhodou oproti sběrníkové topologii je, že při vzniku poruchy se odpojí pouze větev sítě, na které nastala porucha. Hvězdicová topologie je zobrazena na obrázku 2.2. [13]



Obr. 2.2: Hvězdicová topologie

### 2.1.3 Kruhová topologie

Kruhová síť je napájena ze dvou stran. Tato vlastnost zajišťuje, že při vzniku poruchy dojde k rozpojení topologie a vzniknou dvě samostatné hvězdicové topologie. Díky tomuto způsobu zajištění funkčnosti sítě i při poruše, se kruhová topologie sítě jeví jako nejvýhodnější. Kruhová topologie je zobrazena na obrázku 2.3. [13]



Obr. 2.3: Kruhová topologie

### 2.1.4 Stromová topologie

Vlastnosti topologie jsou podobné jako u hvězdicové topologie. Pokud selže jeden síťový prvek, ostatní části sítě budou dále fungovat. Nevýhodou je, že když selže výše postavený prvek v síti, prvky připojené za ním už nemůžou pokračovat v komunikaci.

## 2.2 Přístupová síť PLC

Přístupová PLC síť se skládá ze čtyř základních prvků. Tyto prvky jsou:

### 2.2.1 Centrální řídicí stanice

Tato stanice zajišťuje propojení páteřní a přístupové sítě PLC. Páteřní síť může využívat jinou technologii přenosu dat (například SDH), takže tato stanice také umožňuje propojení sítí, které využívají jiné technologie přenosu dat. Stanice se stará o řízení přístupové sítě. Centrální řídicí stanice se většinou nachází u poskytovatele elektrické energie. [13]

### **2.2.2 Koncentrátor**

Jedná se o prvek sítě, který shromažďuje naměřená data od jednotlivých PLC modemů a následně je předává centrální řídicí stanici.

### **2.2.3 PLC modem**

Jedná se o koncové zařízení přístupové sítě. Slouží k propojení zařízení, ze kterého jsou získávána přenášená data, a elektrického vedení. K modemu je možné připojit různá zařízení podle podporovaných rozhraní (USB, Ethernet, RS232, atd.). Modem zajišťuje všechny funkce nutné k přenosu informace přes elektrické vedení.

### **2.2.4 Opakovač**

V případě, že je vzdálenost mezi koncovými uživateli a centrální stanicí příliš velká, musí se síť doplnit o opakovač. Opakovač obnovuje přenášený signál a dělí přístupovou síť PLC na několik kmitočtově oddělených částí. Obecně se udává, že do vzdálenosti 1,5 km se opakovač nemusí zavádět.

## 3 MODEM IT700

### 3.1 Základní parametry

Modem IT700 od firmy Yitran je integrovaný System-on-a-chip (SoC) PLC modem. Modem využívá vlastní komunikační protokol Y-Net.

Hardwarově se modem skládá z mikrokontroléru 8051 s rozšířeným jádrem, 256 kB Flash paměti, 16 kB RAM a 24 vstupních nebo výstupních obvodů. Ke komunikaci slouží rozhraní UART.

Modem využívá modulaci Differential Code Shift Keying (DCSK) patentovanou firmou Yitran. Jedná se o modulaci s rozprostřeným spektrem, která je velmi odolná a umožňuje komunikaci rychlostí 7,5 kb/s.

IT700 by mohl být vhodným řešením pro moderní aplikace jako jsou například:

- smart grids
  - automatické odečítání z čidel
  - pokročilé ovládání čidel
- smart home a energy management
  - automatizace v domech a budovách
  - kontrola a diagnostika domácích zařízení
  - zabezpečení a kontrola přístupu
- komerční aplikace
  - ovládání a monitorování solárních panelů
  - ovládání pouličního osvětlení
  - ovládání výdejných automatů

IT700 obsahuje také datovou síťovou vrstvu (Data Link Layer -DLL), která je určena pro práci v síti PLC a poskytuje následující funkce:

- podpora až 1023 logických sítí s 2047 uzly v síti,
- služby pro potvrzení vysílání dat,
- mechanismus přístupu k přenosovému médiu CSMA/CA,
- quality of Service (QoS),
- symetrické šifrování AES 128-bit.

[11]

### 3.2 Mikrokontrolér 8051

Jádrem modemu IT700 je mikrokontrolér 8051 typ DP80390XP, který pracuje se systémovou frekvencí 46,08 MHz. Obsahuje 256 KB Flash paměť, 16 KB RAM paměť a další funkční bloky:

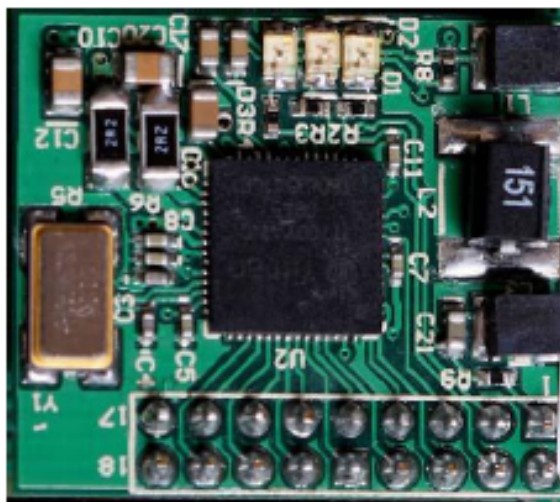
- UART0: Univerzální asynchronní rozhraní.
- SPI: Synchronní periferní uživatelské rozhraní.
- I<sup>2</sup>C: Vnitřní rozhraní používané pro připojení externí EEPROM paměti.
- Kontrolér přerušení se 7 druhy přerušení.
- Timer 0 a Timer 1: Standardní časovače pro mikrokontrolér 8051.
- Timer 2: 16bitový časovač s porovnávacím/ukládacím modulem.
- Timer 3: 16bitový časovač.
- Vstupní/Výstupní porty: 24 vstupních nebo výstupních portů.
- JTAG ladicí („debugovací“) rozhraní.
- Watchdog

[11]

### 3.3 STK4 - Starter kit

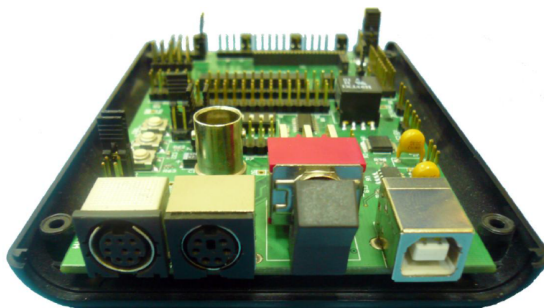
STK4 pro Network Concentrator (NC) i Remote Station (RS) je stejný. Rozdíl mezi nimi je jen v konfiguraci softwaru. Každý STK4 se skládá ze základní desky a IT700 Plug-In Module (PIM). Základem celého modemu je tedy IT700 PIM a zbytek je jen vývojový modul.

Na obrázku 3.1 je zobrazen IT700 PIM.



Obr. 3.1: IT700 PIM

Základní deska je zobrazena na obrázku 3.2. Na předním panelu modulu STK4 jsou 4 LED diody. První dioda zleva signalizuje zapnutí modemu, druhá připojení modemu do lokální sítě a poslední dvě komunikaci modemu. Jedna signalizuje vysílání a druhá příjem dat. Na zadní straně modulu jsou 4 konektory. Napájecí konektor, konektor pro připojení externího zesilovače, USB konektor a DCL konektor.



Obr. 3.2: Základní deska

DCL konektor slouží k propojení dvou modemů přes koaxiální kabel. Toto řešení je možné použít, když je potřeba propojit modemy jinak než přes silové rozvody. Na základní desce jsou vyvedené další vstupní nebo výstupní piny, které umožňují připojení externích zařízení k modemu nebo testování různých funkcí. Piny jsou sdružovány do celých konektorů pro různá rozhraní. Na desce je vyveden konektor pro připojení sériového LCD panelu, dotykového panelu, zařízení komunikujícího přes sériové rozhraní RS232 nebo RS485 atd. Nachází se zde i tlačítko pro hardwarový reset zařízení. Velmi důležité konektory jsou dva konektory určené pro nahrávání firmwaru do mikrokontroléru. Jsou to konektory označené DCD JTAG a Flash Programmer. Konektor DCD JTAG umožňuje programování a debugování modemu. Konektor Flash Programmer slouží pouze k programování. Také je zde 8 přepínačů a 6 LED diod, které se mohou použít pro další signalizaci a ovládání modemu.

### 3.4 Parametry komunikace přes rozhraní UART

Parametry nutné pro komunikaci přes rozhraní UART zobrazuje tabulka 3.1. [7]

Tab. 3.1: Parametry komunikace přes UART

Parametr	hodnota
Přenosová rychlost [Baud]	38400
Data [bit]	8
Parita [bit]	0
Stop [bit]	1
Flow control	OFF

## 3.5 Druhy modulací a přenosové rychlosti

Tabulka 3.2 popisuje přenosové rychlosti v používaných kmitočtových pásmech. [11]

Tab. 3.2: Přenosové rychlosti v různých kmitočtových pásmech

Pásmo	Modulace	Přenosová rychlost [kb/s]
FCC, ARIB	DCSK6 (SM)	7,5
FCC, ARIB	DCSK4 (RM)	5
FCC, ARIB	DCSK4 (ERM)	1,25
CENELEC	DCSK6 (SM)	-
CENELEC	DCSK4 (RM)	2,5
CENELEC	DCSK4 (ERM)	0,625

## 3.6 Tvorba firmwaru pro modem IT700

Vlastní firmware pro modemy IT700 vychází z originálních firmwarů dodávaných společně s modemy. K dispozici jsou dvě verze. Firmwary pro aplikaci typu standalone a firmwary pro klasický typ aplikace.

U aplikace typu standalone jsou předkompilované všechny moduly a uživatel může měnit pouze několik částí firmwaru. Výrobce v dokumentu [9] doporučuje uživatelům pro vlastní aplikace využívat tento typ. Klasický typ aplikace je pro uživatele přístupnější a uživatel může měnit všechny části aplikace. Díky této možnosti se zvyšuje riziko vzniku chyb a následně špatné funkce aplikace.

Pro vytvoření firmwaru pro modem IT700 slouží dvě vývojová prostředí:

### 3.6.1 Kompilátor

K programování mikrokontroléru 8051, byl použit program Keil uVision4 zakoupený společně s vývojovým modulem STK4. Jedná se o kompilátor, který podporuje více Digital Core Design (DCD) mikrořadičů. V tomto případě konkrétně DP80390XP, který je součástí modemu IT700. Firmware se programuje v programovacím jazyce C. Je zde uveden postup pro vytvoření firmwaru pro modem IT700.

#### Keil projekt

Při tvorbě projektu je program ukládán do dvou oddělených souborů. Do binárního souboru (it700\_ap.hex) a do OMF formátu určeným pro Keil (it700\_ap.omf). Po zkompilování projektu jsou vytvořeny další binární soubory:

- **Binární soubor s BSP<sup>1</sup> (IT700App\_WithBSP\_SA.bin):** Soubor obsahuje firmware s BSP, nastavení protokolu Y-NET, hlavními parametry a napsaným kódem aplikace. Tento soubor se používá při nahrávání firmwaru pomocí rozhraní JTAG.
- **Binární soubor bez BSP (IT700\_SA\_ForBSP.bin):** Soubor obsahuje firmware bez BSP a používá se pro nahrávání firmwaru přes rozhraní UART a aplikaci PLC Studio.
- **Zabalený binární soubor bez BSP (IT700\_SA\_ForBSP\_Zipped.bin):** Soubor obsahuje zabalený firmware bez BSP a používá se při nahrávání firmwaru na vzdálenou stanici přes rozvody nízkého napětí.

[9]

### Popis založení projektu v programu uVision4

Projekt se zakládá po spuštění programu kliknutím na *New Project* v záložce *Project*. Průvodce vytvořením projektu nabízí nastavení parametrů. Nejprve výběr zařízení v záložce *Device*. Vybereme mikrokontrolér, který obsahuje modem IT700. V záložce *Target* se nastavují parametry mikrokontroléru (příloha - obrázek A.1). Nastavení výstupního souboru se provádí v záložce *Output* (příloha - obrázek A.2). V záložce *User* je nutné nastavit spuštění dvou skriptů, které vytvoří potřebné výstupní soubory (příloha - obrázek A.3).

### Popis skriptů [9]

- Skript FinishUpdatableApp.bat
  1. Převeďte výstupní soubor s příponou hex (it700Sta.hex) na soubor s příponou bin s 0x38000 offsetem (it700Sta.bin).
  2. Vytvoří zabalený a rozbalený soubor s příslušnými hlavičkami ze souboru it700Sta.bin.
  3. Převeďte rozbalený bin soubor na soubor hex (it700\_s.hex).
- Skript FinishUpdatablePart.bat
  1. Převeďte soubor IT700\_ap.hex na soubor it700\_o.bin.
  2. Převeďte soubor it700\_s.hex na bin soubor a spojí ho s it700\_o.bin do it700\_o.bin.
  3. Vytvoří zabalený a rozbalený soubor s příslušnou hlavičkou z it700\_o.bin.
  4. Převeďte bsp\_700.hex na bsp\_700.bin.
  5. Převeďte it700\_su.bin na it700\_su.hex.
  6. Nakopíruje bsp\_700.bin do bsp\_700s.bin.

---

<sup>1</sup>Board Support Package - balíček nabízející místní i vzdálenou podporu aktualizací firmwaru.

7. Převeďte `it700_su.hex` na bin soubor a spojí ho s `bsp_700s.bin` do souboru `bsp_700s.bin`.
8. Přejmenuje:
  - `bsp_700s.bin` na `IT700App_WithBSP_SA.bin`,
  - `it700_su.bin` na `IT700_SA_ForBSP.bin`,
  - `it700_sz.bin` na `IT700_SA_ForBSP_Zipped.bin`.

V záložce *C51* se nastaví jméno projektu a přiřadí se mu cesta k souborům a knihovnám, které bude projekt využívat (příloha - obrázek A.4). Pro úspěšnou kompilaci vzorových aplikací se musí zdrojové kódy těchto aplikací přesunout do složky, kde je nainstalován program Keil uVision4.

### 3.6.2 Debugger

Po naprogramování funkcí v programu Keil uVision4, se musí firmware přeložit z programovacího jazyka C do assembleru a nahrát do modemu. K tomuto účelu slouží vývojové prostředí DoCD. Tento program je také dodáván s vývojovým kitem STK4 a podporuje mikrokontroléry DT8051/DP8051x/DP80390x. Tento program umožňuje vytvořit projekt pro nahrání firmwaru, ale také vytvořit projekt pro „debugování“.

#### Vytvoření projektu k uploadování firmwaru

Projekt se vytváří po kliknutí na *Create new* v záložce *File*. Průvodce vytvořením projektu nabízí nastavení parametrů. Nejdůležitější jsou: výběr paměti pro nahrání firmwaru (příloha - obrázek A.5), výběr programovacího rozhraní, výběr procesoru, výběr zdrojového souboru (příloha - obrázek A.6), nastavení FLASH paměti (příloha - obrázek A.7).

#### DoCD JTAG Debugger

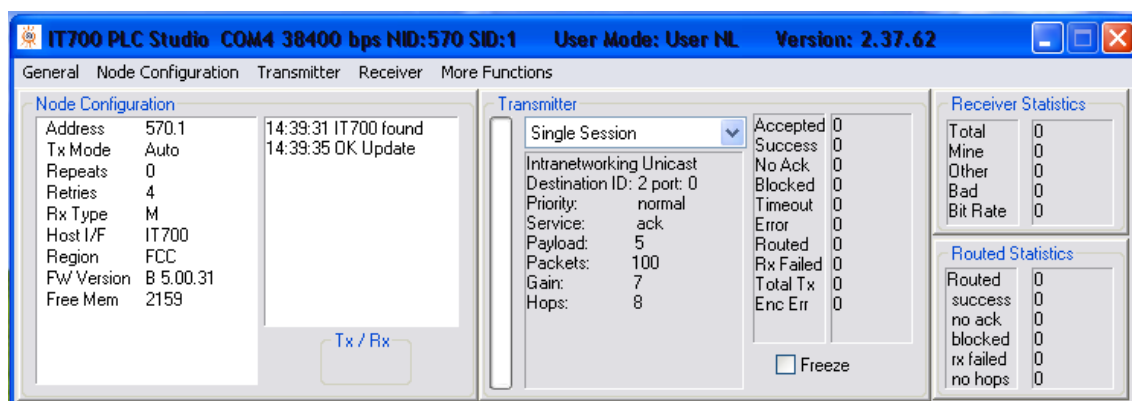
K nahrání firmwaru do modemu je potřeba USB-to-JTAG debugger, který se dodává společně s vývojovým modulem STK4 (obrázek 3.3). K uploadu dojde po spuštění nahrávacího souboru vytvořeného v DoCD. Po úspěšném nahrání firmwaru se musí modem restartovat je připraven k prvnímu spuštění.



Obr. 3.3: USB-to-JTAG debugger

## 3.7 PLC Studio

Po nahrání firmwaru je nutné připojit modem k PC a provést jeho prvotní konfiguraci. K tomu slouží program PLC Studio. Při spuštění programu musí uživatel vybrat port, na kterém je ovládaný modem připojen, a nastavit bitovou rychlost. Při načtení parametrů modemu je možné ty to parametry sledovat, případně měnit. Struktura programu je zobrazena na obrázku 3.4.

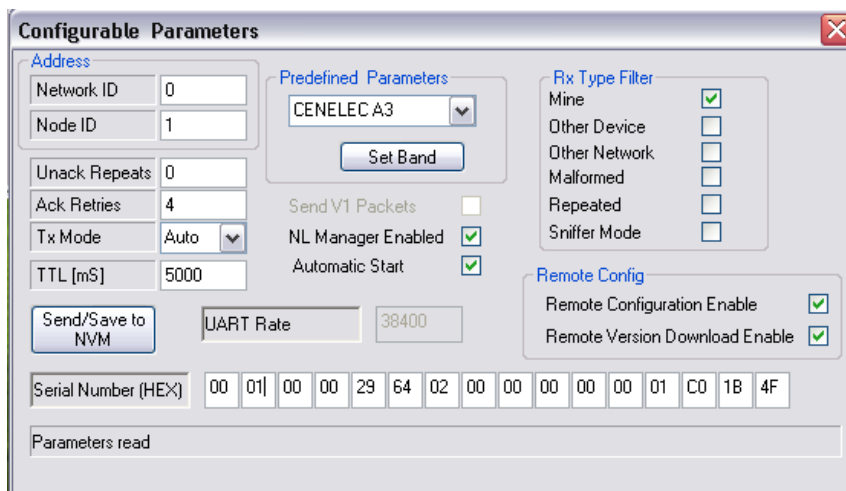


Obr. 3.4: Program PLC Studio

Konfigurace se provádí přes konfigurační menu. Záložka *Node Configuration* položka *General settings* (obrázek 3.5). Nejdůležitějším parametrem, který je potřeba nastavit, je sériové číslo. Sériové číslo je 16bytové číslo, které je unikátní pro každý IT700 modem. Zadáním tohoto čísla také dojde k ověření zařízení. Výrobce v dokumentaci [10] uvádí, že by zařízení mělo fungovat i s náhodným zadáním sériového čísla. V praxi to bohužel není realizovatelné, protože modem s jiným sériovým číslem sice funguje, ale nepřipojí se k lokální síti a služby fungují pouze omezeně. Po zadání výrobcem zadaného sériového čísla a nahrání parametrů do paměti dojde k restartu zařízení a automatickému vytvoření lokální sítě (pouze u NC). U RS dojde po zadání sériového čísla k automatickému připojení k lokální síti. Výrobce přiřadil sériová čísla každému modemu již továrně. Sériová čísla používaných modemů jsou uvedena v tabulce 3.3.

Tab. 3.3: Sériová čísla modemů

STK4	STATUS	Sériové číslo (HEX)
S/N: 1009-0101	base	00 01 00 00 29 64 02 00 00 00 00 00 01 C0 1B 4E
S/N: 1009-0102	remote	00 01 00 00 29 64 02 00 00 00 00 00 01 C0 1B 4F
S/N: 1009-0103	remote	00 01 00 00 29 64 02 00 00 00 00 00 01 C0 1B 50



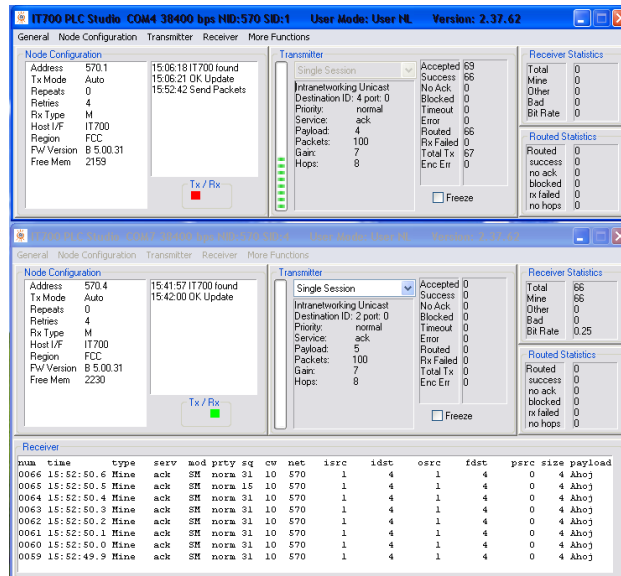
Obr. 3.5: Nastavení sériového čísla a dalších parametrů

### 3.7.1 Ověření komunikace mezi modemy

Po nastavení modemů je dobré ověřit komunikaci mezi nimi. K tomuto účelu slouží záložky *Transmitter* a *Receiver*. Budou se odesílat data z NC do RS. Pro každý uzel musí být otevřeno vlastní PLC studio. NC bude tedy vysílač a v menu *Transmitter* ⇒ *TX Settings* se nastaví vysílací parametry. Po nastavení těchto parametrů se zahájí komunikace mezi NC a RS. Komunikace je zobrazena na obrázku 3.6.

## 3.8 Vytvoření sítě s modemy IT700

Síťová vrstva slouží k vytvoření a následného udržování stromové topologie. Kořenovým zařízením je Network Concentrator (NC) a zbývající zařízení jsou označeny jako Remote Station (RS). Síťová vrstva obstarává dva druhy služeb. Vytvářecí služby a směrovací služby. Vytvářecí služby se starají o vytvoření nové sítě, přidávání stanic do sítě a udržení stromové topologie sítě. Směrovací služby se starají o přenos datových sekvencí od NC k RS v síti.[10]



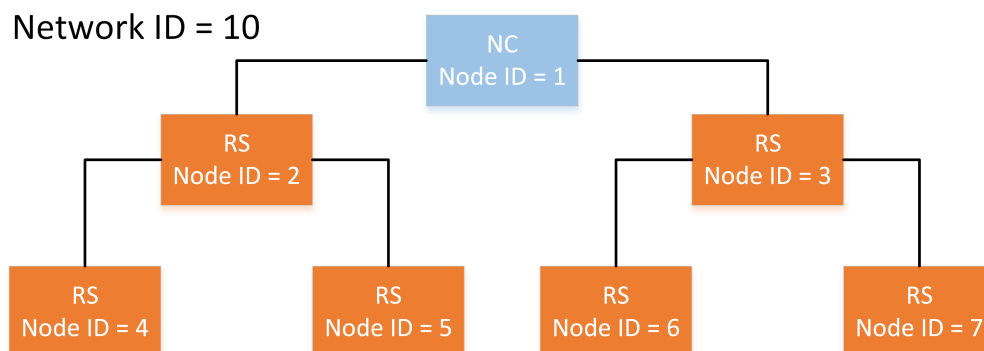
Obr. 3.6: Průběh zkušební komunikace mezi NC a RS

### 3.8.1 Topologie sítě vytvořené modemy

Síťová vrstva slouží k vytvoření stromové topologie a zprostředkování propojení mezi všemi prvky sítě. Strom se skládá z prvků NC a RS.

- **Network Concentrator - NC**  
Hlavním prvkem sítě je síťový koncentrátor - NC. Po jeho zapnutí automaticky vytvoří lokální síť. S funkcí síťového koncentrátoru se NC automaticky stává kořenovým prvkem sítě a přiřadí si do parametru Node ID číslo 1. [10]
- **Remote Station - RS**  
Remote Station neboli vzdálená stanice je označení pro všechny ostatní prvky sítě. RS jsou podřízené NC a plní funkce opakovače nebo koncové stanice. Může plnit tyto funkce odděleně nebo i současně.[10]

Stromová struktura sítě ne zobrazena na obrázku 3.7.



Obr. 3.7: Stromová struktura sítě.

Obrázek 3.7 zobrazuje rozložení jednoduché sítě se stromovou strukturou. Síť se skládá ze 7 prvků. Síti bylo přiděleno Net ID 10. Adresa NC je tedy 10.1, kde číslo 10 znamená Net ID a číslo 1 znamená Node ID. Zbývající prvky sítě mají tedy ve své adrese jen jiné Node ID. Funkce RS se liší podle aktuální situace v síti.

*Příklad:* Když RS s adresou 10.4 odešle zprávu do NC, tak modem s adresou 10.2 bude fungovat jako opakovač.

### 3.8.2 Adresní služby

Každý uzel má továrně nastavené sériové číslo. Je to 16bytové identifikační číslo. Nicméně, užívání tohoto čísla pro účely komunikace by nebylo efektivní. Proto je ke každému uzlu přiřazeno Net ID a Node ID. Síťová vrstva vyžaduje od vyšších vrstev přiřazení těchto údajů před začátkem komunikace. Síťová vrstva poskytuje automatický adresovací mechanismus odpovědný za přidělení síťové adresy podle NC a přidružení RS do sítě tím, že jim přiřadí logické adresy (Node ID). Dvě hlavní funkce jsou:

1. Přiřazení Net ID
  - formátování nové sítě podle výběru síťové adresy,
  - řešení konfliktů s ostatními sítěmi,
  - zajištění unikátnosti síťové adresy.
2. Přiřazení Node ID
  - začlenění uzlů do sítě přiřazením adresy,
  - přidání adresy uzlů do databáze,
  - řešení konfliktů mezi uzly,
  - přijetí módů (NC nebo RS).[10]

### 3.8.3 Směrovací služby

Síťová vrstva umožňuje komunikaci tam, kde je přímé spojení mezi vysílacím a přijímacím uzlem. Nicméně, tam kde není fyzické spojení mezi uzly, jsou používány směrovací služby poskytované síťovou vrstvou. Síťová vrstva poskytuje dvě služby. Směrování paketů a objevování a udržování trasy. Síťová vrstva poskytuje pro automatické vytvoření stromové topologie sítě podle datového koncentrátoru (NC). Ostatní uzly (RS) potom slouží jako směrovače a opakovače.[10]

Automatické směrování zajišťuje identifikaci, vytvoření a udržení trasy mezi NC a každým uzlem v síti. Mezi hlavní funkce patří:

1. Objevení cesty
  - Každý uzel objevuje cestu ke koncentrátoru a zpět.
2. Udržení cesty

- Udržení cesty k nadřazenému prvku v síti (Parent).
  - Udržení cesty k datovému koncentrátoru.
3. Optimalizace cesty
    - Cesta k datovému koncentrátoru je průběžně optimalizována.
  4. Záloha datového koncentrátoru
    - Po resetu načte NC data ze své mezipaměti.
    - Při výměně NC budou všechny RS od NC odpojeny. Po připojení nového NC obdrží NC nové Net ID a síť bude znovu vybudována.[10]

### **3.8.4 Datové služby**

Datové služby jsou zodpovědné za odesílání a přijímání paketů. Síťová vrstva obdrží pakety od vyšších vrstev (aplikace) a předá je nižší vrstvě (DLL) a naopak. Síťová vrstva provádí směrování paketů podle informace vytvořené automatickou směrovací službou.[10]

## 4 SYSTÉM SBĚRU DAT

### 4.1 Koncepce systému sběru dat

Úkolem navrhovaného systému je sběr dat pomocí PLC modemů od firmy Yitran. Zdrojem dat je jednoduchý systém měřících senzorů. Zdrojová data budou zobrazována pomocí jednoduché agregační aplikace. Tato aplikace by měla data zobrazovat, ale také by je mohla uchovávat v souboru, aby si je mohl uživatel kdykoliv prohlédnout. Systém se bude skládat z několika prvků. Hlavním prvkem bude datový koncentrátor, který bude ovládat zbylé prvky. Jednotlivé senzory budou připojeny ke zbývajícím prvkům, které budou naměřená data odesílat do datového koncentrátoru a ten je následně odešle na sériový port uživatelské aplikace.

### 4.2 Analýza připojitelných zařízení

Modem IT700 je uzpůsoben pro připojení různých zařízení. Je možné připojit jakékoliv zařízení, které komunikuje přes rozhraní, které je vyvedené na základní desce. Na základní desce jsou vyvedeny konektory pro sériová rozhraní RS232 a RS485, konektor pro sériový LCD panel, konektor pro připojení dotykového panelu a testovací konektory. Při výběru připojovaného zařízení se musela brát v úvahu cena, dostupnost a funkčnost zařízení. Další podmínkou zadání bylo, že se má jednat o jednoduchý senzor. LCD panel nebo dotykový panel by tuto podmínku nejspíš splňovaly, ale pro účel této bakalářské práce by nebyly příliš vhodné. Další variantou byl nějaký senzor se sériovým rozhraním RS232 nebo RS485. Těmito rozhraními nejčastěji disponují teplotní čidla. Například teplotní čidlo Dallas DS18B20 by šlo připojit k sériovému rozhraní RS232. Toto čidlo komunikuje po jedné sběrnici a bylo by nutné do firmwaru implementovat ovládání čidla. Dalším teplotním čidlem, které by bylo možné k modemu připojit, je digitální teplotní čidlo TM (Thermo Meter). Toto čidlo je uzpůsobeno přímo pro komunikaci přes rozhraní RS232. Po zvážení možností bylo vybráno digitální teplotní čidlo TM, kvůli nízké ceně a vhodným parametrům pro zvolenou aplikaci.

### 4.3 Digitální teplotní čidlo TM

Toto čidlo se skládá ze dvou částí. Z teplotního čidla Dallas DS18B20 a mikrokontroléru PIC. Mikrokontrolér obstarává ovládání teplotního čidla. Po aktivování dá

mikrokontrolér pokyn čidlu změřit teplotu a čidlo odešle naměřenou teplotu v hexadecimálním formátu. Mikrokontrolér tuto hodnotu převede do formátu ASCII a odešle jako textový řetězec.

#### **Vlastnosti**

- Měří teplotu od  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rozlišení  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Přímý výstup ve  $^{\circ}\text{C}$ , komunikace ASCII bez přepočtu.
- Připojuje se do sériového portu PC.

#### **Technické parametry**

- Rozsah měřené teploty:  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Přesnost:  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v rozsahu  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jinak  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Rozlišení:  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Komunikace: ASCII.
- Rychlost měření: První měření do 1s, dále 1x za 10s  $\pm 2\%$ .
- Stupeň krytí (elektronika v konektoru): IP 30.
- Stupeň krytí (senzor): IP 50.
- Délka kabelu: 2,8m.

#### **Komunikační parametry**

- Komunikační linka: RS232 (zjednodušená).
- Bitová rychlost: 9600 Bd.
- Počet bitů: 8 bit.
- Počet stopbitů: 1.
- Parita: bez parity.

#### **Popis funkce**

Teplotní čidlo je napájeno ze sériového portu, do kterého je připojeno. Jakmile je na portu nastaven signál DTR, čidlo změří teplotu a pošle ji do PC v ASCII formátu, jako textový řetězec. Pokud je signál DTR stále aktivní, čidlo TM měří a odesílá teplotu vždy po 10 s. Každý odměr je signalizován červenou kontrolkou na konektoru čidla. Snímací konec čidla je v jednoduchém provedení a je určen zejména pro měření teploty vzduchu. [3]

#### **Komunikační protokol**

Tabulka 4.1 popisuje komunikační protokol teplotního čidla.

## **4.4 Převodník RS232 na TTL logiku**

Modemy od firmy Yitran jsou koncipovány tak, aby měly co nejmenší odběr proudu. Od toho se odvíjí i to, že modemy pracují s napětovými úrovněmi do 3,3 V. Výrobce

Tab. 4.1: Komunikační protokol

Vstup	Funkce	Výstup
Nastavení signálu DTR	Aktivace čidla, změření teploty	znaménko, 3 znaky - celé °C, desetinná tečka, 1 znak - desetiny °C, C
Signál DTR trvale nastaven	Periodické posílání naměřené teploty	Příklad: +25.4C

v datasheetu [10] v sekci připojení externího zařízení přes různá rozhraní uvádí, že při použití konektoru RS232 je možné připojit pouze zařízení kompatibilní s TTL logikou do 3,3V. Z toho důvodu se musel ještě dokoupit převodník, který převede klasickou RS232 komunikaci na TTL logiku.

Po zkoumání dané problematiky se jako vhodné řešení jevil převodník od firmy Papouch s. r. o.<sup>1</sup> Důležité technické parametry převodníku jsou:

- Převod základních signálů linky RS232 na úroveň TTL (signály RxD a TxD).
- Napájení: ze signálů DTR a RTS nebo z externího zdroje DC 3,4 až 5,5 V.
- Proudový odběr při 5 V: typ. 8 mA.
- Proudový odběr při 3,3 V: typ. 3,5 mA [15].

Pro naše účely bylo nutné převodník ještě upravit. Problém byl v tom, že zakoupené teplotní čidlo je napájeno signálem DTR (pin č. 5 na konektoru) a tímto signálem je napájen i samotný převodník. Výhodou tohoto převodníku je možnost napájení z externího zdroje, ale aby převodník mohl napájet zároveň i teplotní čidlo, tak se převodník musel upravit. Úpravu provedla firma ještě před zasláním převodníku. Napájecí napětí se přivedlo na již zmíněný pin č. 5 konektoru teplotního čidla a teplotní čidlo bylo tedy napájeno z napájecího napětí převodníku. Nevýhodou této úpravy je to, že po přivedení napájení je čidlo neustále aktivní a každých 10 sekund odesílá naměřenou hodnotu.

Jak už bylo řečeno, modem IT700 používá pouze napěťové úrovně do 3,3V, ale základní deska pro modem IT700 je shodná i pro jiné modely (IT800, IT900), které využívají i jiné úrovně napětí. Na základní desce se z toho důvodu nacházejí porty pro napětí 3,3V, 5V a 12V. Po připojení konektorů bylo tedy možné napájet převodník (a tedy i teplotní čidlo) napětím 5V přímo z modemu.

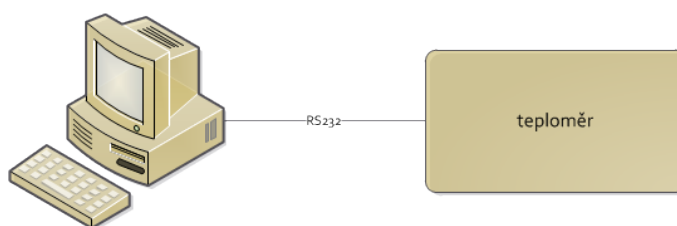
<sup>1</sup>URL: <http://www.papouch.com/cz/shop/product/vestavny-prevodnik-rs232-ttl/>

## 5 VÝVOJ APLIKACÍ

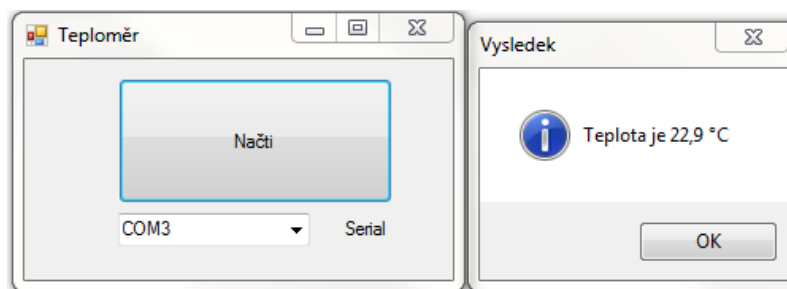
### 5.1 Zkušební aplikace pro teplotní čidlo TM

Teplotní čidlo je vybaveno klasickým sériovým portem RS232, takže ho bylo možné připojit počítači a vytvořit zkušební aplikaci, kterou se ověří funkčnost teplotního čidla. Aplikace byla napsána v programovacím jazyce C#. Blokové schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 5.1.

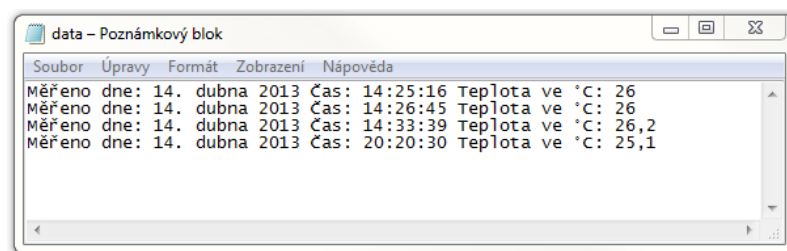
Po spuštění aplikace se do proměnné uloží všechny názvy sériových portů, které má počítač k dispozici. Jestliže počítač nemá žádné sériové porty, aplikace zobrazí chybovou hlášku. Po načtení názvů portů jsou tyto názvy přiřazena do nabídky pro výběr portu. K načtení hodnoty z čidla slouží tlačítko „Načti“. Metoda spuštěná po stisku tlačítka byla vytvořena podle popisu funkce čidla. Otevře se příslušný port a na portu je aktivován signál DTR. Čidlo je napájeno přímo z portu signálem DTR. Tuto operaci signalizuje čidlo rozsvícením diody. Po rozsvícení diody dojde k prvnímu měření. Čidlo změří teplotu a tato hodnota je odeslána na sériový port. Hodnota je uložena do proměnné. Jelikož čidlo TM odesílá hodnotu jako textový řetězec (například +025.6C), je nutné z tohoto řetězce získat pouze číselné hodnoty. Tento problém byl vyřešen naformátováním výstupního řetězce - parsováním. V C# je k tomuto účelu určena funkce `Parse`. Pomocí této funkce byl výstupní řetězec rozdělen na jednotlivé znaky a následně byly do výstupní proměnné uloženy pouze číselné znaky (typ `dat float`). Když byla ve výstupní proměnné pouze číselná hodnota naměřené teploty bylo zde víc možností jak s ní naložit. Naměřená hodnota je zobrazena uživateli v oznamovacím okně (obrázek 5.2) a následně je uložena do textového souboru (5.3). Po uložení dat do souboru je možné data využít k dalšímu zpracování jako například vykreslování grafů závislosti naměřené teploty na čase. Pro další zpracování dat by bylo jednodušší ukládat do souboru pouze čas a teplotu.



Obr. 5.1: Blokové schéma zkušební komunikace



Obr. 5.2: Naměřená teplota



Obr. 5.3: Data uložená v textovém souboru

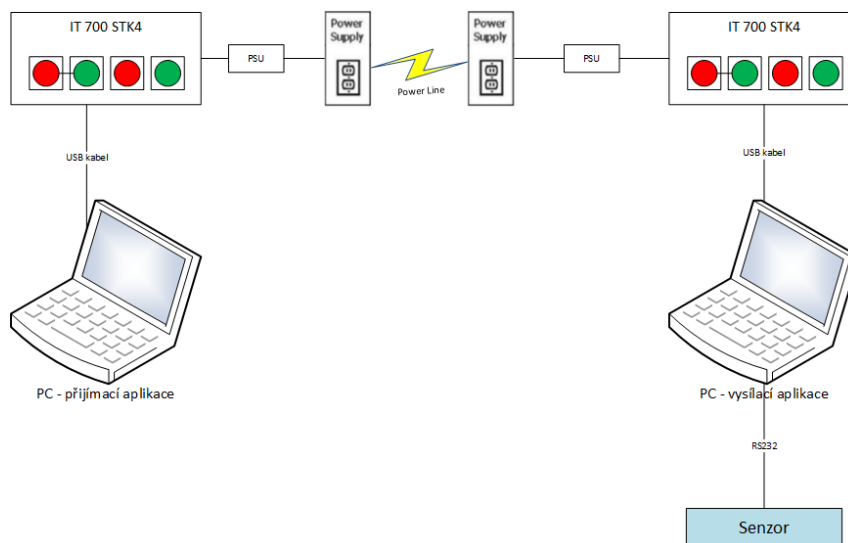
## 5.2 Komunikace pomocí modemů IT700

Toto řešení se skládá ze dvou aplikací. Vysílací a přijímací aplikace. Vysílací aplikace vychází z výše uvedené zkušební aplikace pro získání měřené teploty z teplotního čidla TM. Plně implementuje vlastnosti zkušební aplikace a rozšiřuje ji o úpravu naměřených dat a jejich vložení do vysílacího paketu protokolu Y-NET. Sestavený paket je následně odeslán na modem označený jako RS, který paket upraví a přešle modemu označenému jako NC. NC automaticky přeposílá paket do PC, kde zobrazovací aplikace (viz níže) naslouchá na sériovém portu a zpracovává/ukládá přijatá data. Blokové schéma komunikace pomocí modemů IT700 je zobrazeno na obrázku 5.4 Úspěšný přenos dat je zobrazen na obrázku 5.5.

## 5.3 Tvorba paketů pro komunikaci mezi mode- mem a PC aplikací

Při komunikaci mezi mode-  
mem a PC aplikací jsou rozlišovány 3 základní typy ope-  
rací:

- **Žádost:** PC aplikace odešle na modem žádost o provedení uživatelského pří-  
kazu.



Obr. 5.4: Blokové schéma aplikace

- **Odpověď:** Modem odešle PC aplikaci odpověď s informací o provedení příkazu.
- **Signalizace:** Modem signalizuje PC aplikaci události v síti.

Příkazy posílané modemu jsou rozděleny do několika skupin a jsou to příkazy:

- **základních služeb:** Provádí základní systémové služby jako je například zjištění volné paměti, čtení nebo zápis do vyrovnávací paměti a zjištění verze firmwaru.
- **stavových služeb:** Zajišťují operace jako reset zařízení, připojení nebo odpojení do sítě vytvořené modemem NC.
- **Konfiguračních a monitorovacích služeb:** Příkazy pro nastavování nebo zjišťování konfiguračních parametrů.
- **datových služeb:** Zajišťují odesílání a přijímání datových paketů.

### 5.3.1 Struktura příkazu

Tabulka 5.1 zobrazuje základní strukturu paketu pro komunikaci s modemem IT700. Kontrolní součet je počítán podle rovnice

$$\text{Součet} = \left( \sum_{i=1}^N a_i \right) \text{ mod } 256, \quad (5.1)$$

kde  $i$  je číslo bajtu v paketu a  $N$  je celkový počet paketů započítaných do kontrolního součtu.

Tab. 5.1: Popis polí tvořeného paketu

Pole	Hodnota	Popis
Start	0xCA	Konstantní hodnota pro všechny příkazy
Délka		Počet všech polí následujících kromě kontrolního součtu
Typ	0 - žádost 1 - odpověď 2 - signalizace	Pole Kód operace je identické pro žádost i pro odpověď
Kód operace	0 - základní služby 1 - stavové služby 2 - konfigurační a monitorovací služby 3 - datové služby 5 - řídicí služby	Pole je určené pro označení zvolené služby
Data příkazu		Obsah tohoto pole závisí na příkazu
Kontrolní součet	0 - 0xFF	Kontrolní součet je počítán ze všech polí packetu kromě pole Start a pole kontrolního součtu

## 5.4 Vysílací aplikace

Aplikace slouží k získání měřených dat z teploměru, sestavení paketu pro přenos dat přes PLC a k odeslání paketu.

Načtení a upravení dat z teploměru je popsáno v kapitole uvedené výše (Zkušební aplikace pro teplotní čidlo). Dalším krokem je vytvoření datového paketu pro odeslání dat přes elektrické rozvody. Po sestavení paketu se nastaví správné parametry pro komunikaci s modemem přes sériové rozhraní a paket se odešle. Tyto parametry jsou uvedené v tabulce 3.1. Pro kontrolu je naměřená teplota uložena v textovém souboru společně s časem, kdy byla naměřena.

## 5.4.1 Tvorba odesílaného paketu

Popis jednotlivých polí tvořeného paketu je uveden v tabulce 5.2. [7]

Tab. 5.2: Tvorba datového paketu

Pole	Popis	Hodnota
Start	Konstantní hodnota (slouží k synchronizaci)	0xCA
Délka	Počet polí následujících kromě kontrolního	
Typ	žádost	0x00
Kód operace	Konstantní hodnota	0x60
Typ datové služby	0 - Intranetworking Broadcast 1 - Intranetworking Unicast 2 - Intranetworking Unicast s použitím sériového čísla 3 - Internetworking Broadcast 4 - Internetworking Unicast	0 - 4
Priorita	Priorita paketu v síti 0 - normální 1 - vysoká 2 - důležité	0 - 2
Služba ACK	0 - bez ACK 1 - s ACK	0 - 1
Počet přeskoků	Maximální počet přeskoků mezi modemy. Základní hodnota je 8.	1 - počet úrovní v síti
Zisk	Hodnota vysílacího výkonu. Maximum je 7	0 - 7
Značka	Označení paketu. Slouží jako pomocná proměnná při identifikaci odpovědi na příkaz	1 - 65535
Šifrování	Pole pro aktivaci nebo deaktivaci šifrování	0 - 1
Cílový port		0 - 15
Cílová adresa	1 - adresa je zadána ve zkráceném tvaru 2 nebo 4 - jako cílová adresa je zadáno sérové číslo 0 nebo 3 - vysílání typu broadcast (cílová adresa není zadána)	0 - 4
Payload	Přenášená data	1 - 1760
Kontrolní součet	Hodnota záleží na velikosti přenášených dat	Dopočítaná hodnota

Jelikož se měřená teplota v budově nebude za normálních podmínek blížit 100 °C, budou se ve tvořeném paketu měnit pouze 3 bajty. Hodnoty ostatních bajtů zůstanou stejné a budou se měnit pouze 3 bajty (znaky), které ponese informace o teplotě, a kontrolní součet.

Pro tvořený paket byla definována proměnná datového typu byte, do které se ukládaly jednotlivé bajty. Jelikož se budou do pole Payload ukládat vždy jen 3 bajty,

tak bude mít paket pořád stejnou délku, a to 21 bajtů. Prvních 16 bajtů bude mít tedy stále stejnou hodnotu. Hodnoty prvních 16 bajtů jsou uvedeny v tabulce 5.3.

Tab. 5.3: Hodnoty bajtů v odesílaném paketu

Bajt	Hexadecimální hodnota	Dekadická hodnota
1	CA	202
2	1B	17
3	0	0
4	0	0
5	60	96
6	1	1
7	0	0
8	1	1
9	8	8
10	7	7
11	1	1
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	1	1
16	0	0

Při odesílání jednotlivých bajtů přes sériový port dochází automaticky k převedení odesílaných dat do hexadecimálního formátu. Proto je nutné ukládat hodnoty do paketu ve formátu dekadickém.

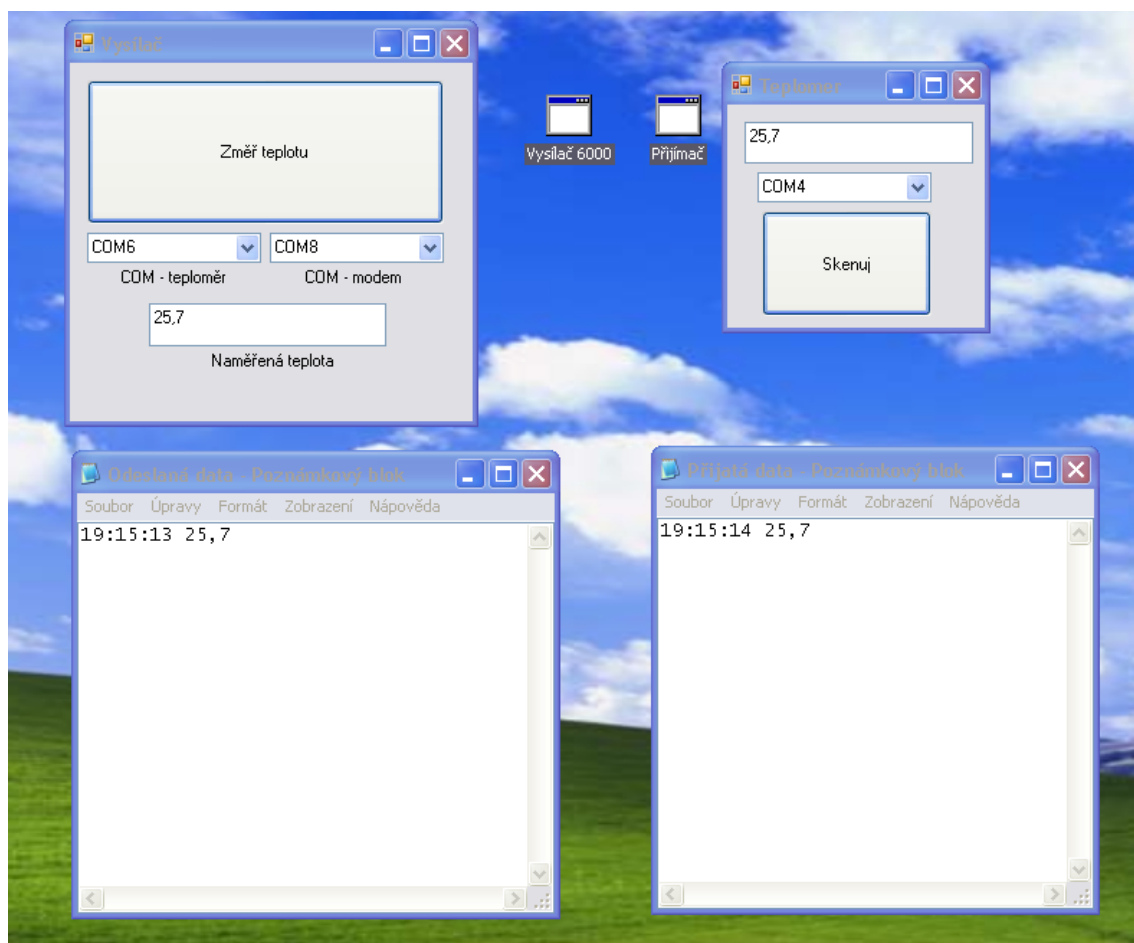
Nyní bylo třeba ze získané teploty, která je uložena v textovém řetězci, získat jednotlivé znaky a převést je na číselnou hodnotu. Tato hodnota musela být nyní zvýšena o 48, abychom získali dekadické číslo, které v ASCII tabulce odpovídá znaku naší číslice, a které se vloží do paketu na určenou pozici. Po uložení jednotlivých znaků na požadované pozice v paketu se vypočítá kontrolní součet podle rovnice 5.1. Kontrolní součet je následně vložen na poslední volnou pozici a datový paket pro odeslání je vytvořen.

## 5.5 Přijímací a zobrazovací aplikace

Aplikace byla vytvořena, aby na přijímací straně snímala a zobrazovala přenášená data. Aplikace vychází z funkce vysílací aplikace a dalo by se říci, že funguje na stejném principu, ale metody probíhají v obráceném pořadí.

První a nejdůležitější věc po zapnutí aplikace je nastavení správných parametrů u sériového portu (tabulka 3.1). Pro přijímání datových paketů byla vytvořena proměnná datového typu byte, do které se ukládají. Proměnná má pevnou délku 31 bajtů. Délka paketu je o 10 bajtů větší než u odesílaného paketu a je to z toho důvodu, že při komunikaci mezi modemy je paket rozšířen o informace o zdrojovém portu, cílovém portu, zvolené modulaci, kvalitě signálu, ID sítě a další. Po načtení celého paketu se přistoupí k jeho rozdělení na jednotlivé bajty. Měřená teplota je uložena bajtech na pozicích 26, 27 a 29. Další užitečné parametry přenášené paketem jsou na pozicích 8 (použitá modulace), 21 (zdrojový port) a 23 (cílový port).

Dalším krokem je převedení teploty z datového typu byte na znaky. Ze znaků se získá číselná hodnota a všechny čísla se nyní uloží do textového řetězce. Posledním krokem je zobrazení teploty na displeji a ukládání do souboru pro pozdější zobrazení nebo další zpracování. Z naměřených dat by se mohly například tvořit grafy. Po proběhnutí všech těchto operací je spuštěn časovač a měření je obnoveno každou sekundu.



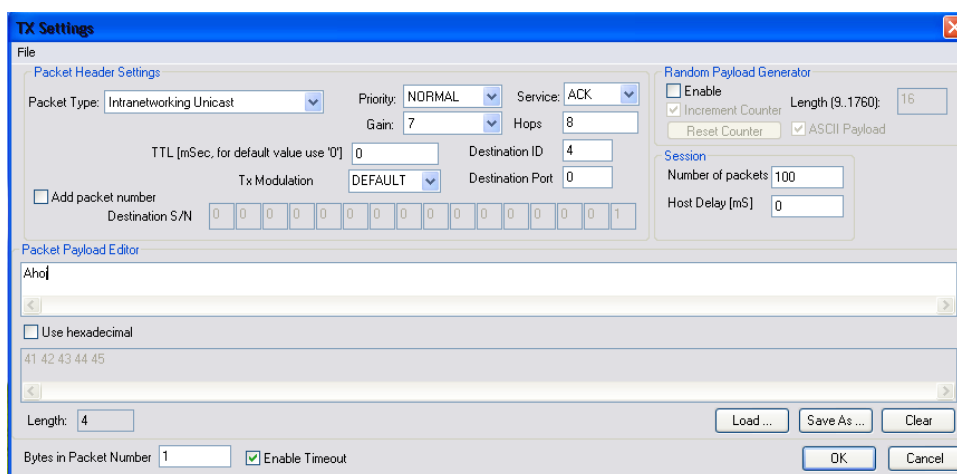
Obr. 5.5: Úspěšný přenos dat

## 6 MĚŘENÍ ZTRÁTOVOSTI PAKETŮ

Měření probíhalo v budově VUT v Brně na Purkyňově ulici ve 3. patře. K měření byla využita laboratoř 339. Cílem měření bylo:

- přenést 100 paketů z jednoho počítače na druhý,
- zjistit ztrátovost paketů při různých vzdálenostech.

K sestavování paketů, odesílání a přijímání byl použit program PLC studio. Program umožňuje sledování odesílaných a přijímaných paketů. Nastavení vysílaných paketů se provádí v záložce *TX Settings* (obrázek 6.1). Důležitým parametrem při odesílání paketů je parametr *TX Modulation*. Tímto parametrem se nastavuje modulace použitá při přenosu. Popis možností při výběru modulace je uveden v tabulce 6.1. V PLC Studiu v sekci Transmitter se zobrazují informace o odesílaných paketech. V této sekci se také zobrazují jednoduché statistiky z přenosu dat. Parametry statistiky jsou popsány v tabulce 6.2.[8]



Obr. 6.1: Nastavení odesílaných paketů

### 6.1 Laboratoř - laboratoř

Prvním měřením bylo měření na nejkratší vzdálenost (přibližně 18 m), a to v rámci laboratoře 339 (obrázek 6.2).

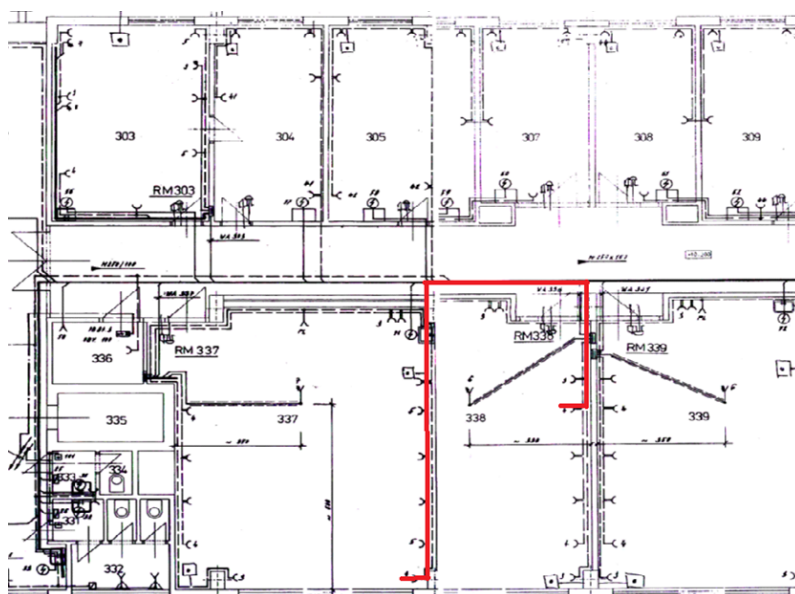
Z výsledků pro komunikaci v rámci laboratoře, uvedených v tabulce 6.3, je jasné, že úspěšně proběhl přenos všech paketů. Na ztrátovost paketů nemělo vliv ani zvětšování velikosti přenášených dat (Payload).

Tab. 6.1: Nastavení vysílacího módu

Mód	Popis
Auto	V tomto módu IT700 automaticky vybere jeden z níže uvedených módů podle kvality kanálu a dalších statistik. Tento mód lze použít pouze při potvrzování (ACK).
SM (Standardní mód)	Také označován jako DCSK6 - se 6 bity na symbol umožňuje dosažení vyšších přenosových rychlostí. Tento mód nelze použít v CENELEC pásmech. V pásmech CENELEC je automaticky využívám robustní mód - RM.
RM (Robustní mód)	Označení pro DCSK4 - používá 4 bity na symbol. Tento mód je sice pomalejší než SM, ale je dosaženo větší spolehlivosti přenosu.
ERM (Extrémně robustní mód)	DCSK4, kde je každý symbol vysílán třikrát. Tento mód je také pomalejší, ale poskytuje největší spolehlivost přenosu.

Tab. 6.2: Statistika odesílaných paketů

Parametr	Popis
Success	Počet úspěšně přenesených paketů. V případě potvrzování (ACK). Při nepotvrzovaném přenosu ukazuje počet odeslaných paketů.
No ACK	Při nastavením parametru ACK zobrazuje počet potvrzených paketů.
Blocked	Modem IT 700 nebyl schopen odeslat pakety ve stanoveném časovém intervalu (základní hodnota je 3 s v pásmech FCC/ARIB a 6 s v pásmech CENELEC).
Total TX	Počet všech paketů odeslaných modemem.



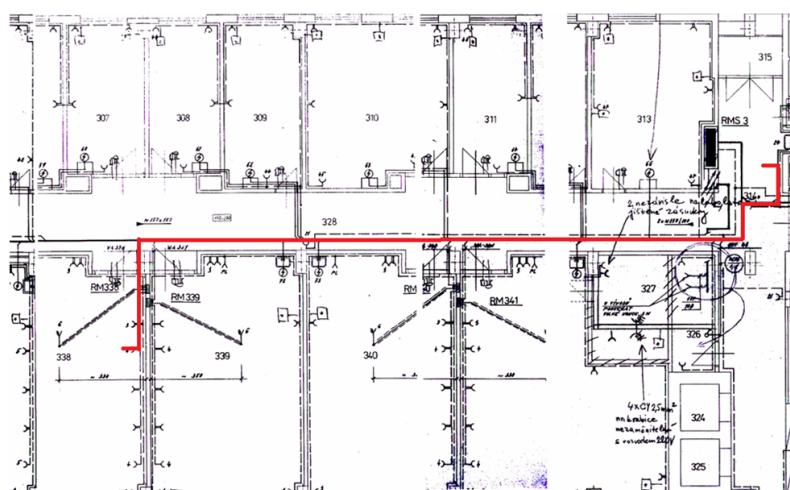
Obr. 6.2: Zapojení: laboratoř - laboratoř [16]

Tab. 6.3: Měření: laboratoř - laboratoř

laboratoř - laboratoř				
Payload [znak]	Total TX [paket]	Success [paket]	no ACK [paket]	blocked [paket]
60	101	100	0	0
50	101	100	0	0
40	100	100	0	0
30	101	100	0	0
20	100	100	0	0
10	101	100	0	0
5	100	100	0	0

## 6.2 Laboratoř - chodba 1

Druhé měření probíhalo na větší vzdálenost - přibližně 40 m (obrázek 6.3). Při této komunikaci se opět povedlo odeslat všech 100 paketů, i když některé se musely odeslat vícekrát. Vícenásobné odesílání je způsobeno výběrem vysílacího módu *Auto*. Když se modemu nepovedlo v časovém intervalu odeslat paket, byla automaticky zvolena jiná modulace a pokus byl opakován. I při zvětšování velikosti přenášených dat se přeneslo všech 100 paketů a průměrně 30 jich bylo opakováno. Jediným rozdílem oproti prvnímu měření bylo, že přibližně 30 paketů muselo být odesláno opakovaně. Na tuto vzdálenost komunikace mezi modemy fungovala spolehlivě i při zvětšování velikosti přenášených dat (Payload).



Obr. 6.3: Zapojení: laboratoř - chodba 1 [16]

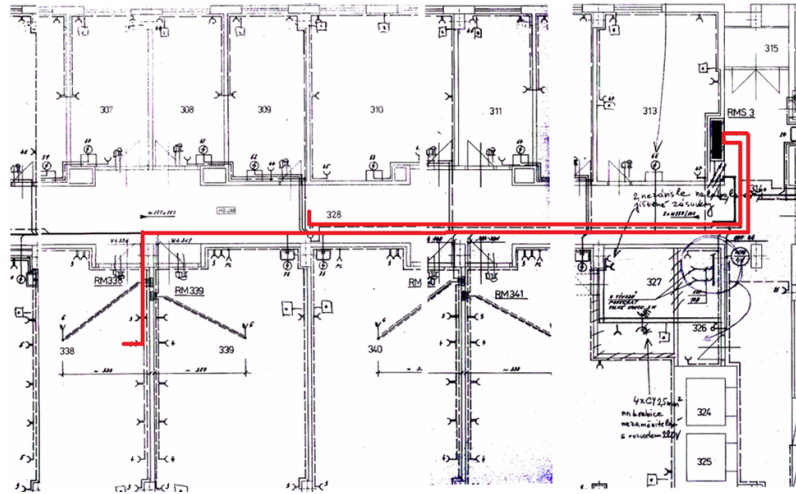
Tab. 6.4: Laboratoř - chodba 1

laboratoř - chodba 1				
Payload [znak]	Total TX [paket]	Success [paket]	no ACK [paket]	blocked [paket]
60	132	100	0	0
50	127	100	0	0
40	128	100	0	0
30	132	100	0	0
20	129	100	0	0
10	134	100	0	0
5	138	100	0	0

### 6.3 Laboratoř - chodba 2

Při posledním měření byla použita zásuvka, která je v největší vzdálenosti od zásuvky v laboratoři 339 - přibližně 60 m. Schéma elektrických rozvodů je zobrazeno na obrázku 6.4. Navíc se v cestě přenosu dat vyskytuje rozvaděč, který tvoří pro komunikaci přes elektrické rozvody velkou překážku.

Při tomto zapojení už se projevovalo zvětšování velikosti přenášených dat. Nejnižší hodnota pole, ve kterém se přenášejí užitečná data, je 5 znaků a to odpovídá přenosu měřené teploty. Z naměřených hodnot v tabulce 6.5, pro přenášená data o velikosti 5 znaků, vyplývá, že se povedlo odeslat všech 100 paketů, ale 19 z nich nebylo zpětně potvrzeno. Celkově bylo odesláno 282 paketů. Takový počet odeslaných paketů je z toho důvodu, že při prvním odeslání je použita modulace DCSK6, která je sice rychlejší, ale nemá takovou spolehlivost přenosu dat a při neúspěchu modem automaticky změnil typ modulace na DCSK4. Když se přenos nepovedl ani s touto modulací, tak byl zopakován se stejnou modulací ještě dvakrát. Při délce dat 10 znaků bylo opět přeneseno všech 100 paketů, ale 40 z nich nebylo potvrzeno. Odesláno bylo celkem 339 paketů než se povedlo přenést všech 100. Při přenášených 20 znacích se ze sta paketů povedlo úspěšně přenést jen 23 paketů. Nebylo potvrzeno 34 a 43 jich bylo ve stavu „Blocked“. Tento stav značí to, že modulace byla změněna na extrémně robustní mód - ERM a přenos se nepodařilo uskutečnit ani po třech opakováních. U přenášených dat o velikosti 30, 40, 50 a 60 byly výsledky podobné. Úspěšně se povedlo přenést mezi 1 až 5 pakety. Průměrně 30 jich nebylo zpětně potvrzeno a průměrně 74 jich bylo ve stavu „Blocked“. Neúspěch přenosu je způsoben hlavně průchodem vedení přes rozvaděč a také tím, že při neúspěchu byl přenos opakován a nově příchozí paket nebyl hned obslužen a byl uložen do mezipaměti. Při naplnění kapacity mezipaměti také docházelo k zahazování paketů (stav „Blocked“).



Obr. 6.4: Zapojení: laboratoř - chodba 2 [16]

Tab. 6.5: Naměřené hodnoty: laboratoř - chodba 2

laboratoř - chodba 2				
Payload [znak]	Total TX [paket]	Success [paket]	no ACK [paket]	blocked [paket]
60	142	1	23	76
50	156	4	26	70
40	184	1	32	67
30	131	5	18	77
20	260	23	34	43
10	339	60	40	0
5	282	81	19	0

## 7 ZÁVĚR

Pro dálkový sběr dat jako je odečet z elektroměrů, ovládání a monitorování čidel nebo komerční aplikace, jako například ovládání pouličního osvětlení, je komunikace pomocí úzkopásmové PLC vhodným řešením. Pro realizaci PLC komunikace byly k dispozici modemy od firmy Yitran. Jejich předností je, že jsou dodávány se softwarem, díky kterému se automaticky vytvoří lokální síť. Jeden modem se chová jako datový koncentrátor (NC) a druhý jako vzdálená stanice (RS). Datový koncentrátor vytvoří lokální síť a vzdálená stanice se do této sítě automatiky připojí. Pak je možné mezi modemy komunikovat. Datový koncentrátor by mohl být umístěn u distributora elektrické energie a vzdálená stanice u zákazníka. Výrobce k modemům dodává i zdrojový kód softwaru, ale ten nefungoval podle daných specifikací. Výrobce dodává 2 verze softwaru. Aplikace typu Standalone nebo v klasickém provedení. Rozdíl mezi nimi je, že při použití softwaru typu Standalone je většina věcí předkompilována a uživatel může měnit pouze několik málo parametrů a u klasického typu může uživatel měnit všechny vlastnosti modemu. Byly testovány obě varianty. Pro každý modem (NC nebo RS) se musel vytvářet každý firmware zvlášť. U použití aplikace typu Standalone šel zkompilovat pouze firmware pro vzdálenou stanici. Firmware pro datový koncentrátor nebylo možné zkompilovat z toho důvodu, že by bylo potřeba zakoupit novou licenci, ale aplikace nefungovala podle specifikace ani s originálním firmwarem tohoto typu. U klasického typu bylo možné zkompilovat firmware pro datový koncentrátor i vzdálenou stanici. Nebylo však možné firmware nějak upravovat, rozšiřovat ho o další funkce a nebylo tedy možné realizovat řešení System-on-chip (SoC). Z toho vyplývá, že by bylo nejjednodušším řešením napsat úplně celý vlastní firmware, což není v rámci bakalářské práce realizovatelné. Navíc při nahrávání firmwaru do modemů se stávalo, že zkolaboval operační systém. Práce s modemy byla možná pouze na operačním systému Windows XP, protože při práci na operačním systému Windows 7 docházelo ke kolapsu průměrně každých 10 minut. Z toho důvodu byly vyvinuty dvě aplikace nezbytné pro využití modemů ke sběru dat při použití originálního softwaru. Aplikace nazvaná „Vysílací“ odečte data z teplotního čidla a vytvoří datový paket pro odeslání, do kterého jsou odečtená data vložena. Paket se odešle na vzdálenou stanici, která ho rozšíří o další informace a odešle do datového koncentrátoru. Druhá aplikace, nazvaná „Přijímací“, přijímá data z datového koncentrátoru. Po obdržení paketu ho rozloží na jednotlivé bajty a následně zobrazí a uloží přenášená data.

Také byla měřena závislost ztrátovosti paketů při komunikaci na různou vzdálenost. Měření bylo provedeno v reálném provozu, kde se ověřila funkce přenosu dat v reálném prostředí. Při měření na první dvě vzdálenosti proběhl přenos dat úspěšně a povedlo se přenést všechny pakety. Až při přenosu dat na největší vzdálenost do-

cházel k chybám a při zvětšování velikosti přenášených dat docházelo k výpadkům. To bylo způsobeno průchodem silového vedení přes rozvaděč, který představoval pro komunikaci velkou překážku. Tyto modemy ale nejsou navrženy tak, aby komunikovaly přes rozvaděč, a proto by se dalo říci, že i s rostoucí vzdáleností fungovaly spolehlivě.

## LITERATURA

- [1] CENELEC EN 50065-1: *Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu 3 kHz až 148,5 kHz*. [s.l.]: [s.n.], 2002. - s.
- [2] CERCELLE, X. *Power line communications in practice*. Boston: Artech House, c2006. ISBN 978-1-59693-335-4.
- [3] *Digitální teplotní čidlo TM*. Praha: Papouch, 2009. 2 s.
- [4] DOSTERT, K. *Powerline Communications*. Upper Saddle River, NJ 07458: Prentice Hall PTR, 2001, 338 s. ISBN 0-13-029342-3.
- [5] *HomePlug Command & Control (C&C) Overview White Paper*. [online]. 2008. [cit. 25. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.yitran.com/index.aspx?id=3413>>.
- [6] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. *Broadband Powerline Communications Network design*. 2004th edition. [s.l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2004, 275 s. ISBN 0-470-85741-2.
- [7] *IT700 Host Interface Command Set User Guide*. Israel: Yitran, 2009. 116 s.
- [8] *IT700 PLC Studio User Manual*. Israel: Yitran, 2009. 60 s.
- [9] *IT700 Programmer's Guide*. Israel: Yitran, 2011. 146 s.
- [10] *IT700 STK4 (Starter Kit) User Manual*. Israel: Yitran, 2011. 23 s.
- [11] *IT700 Technical Overview*. [online]. 2013 [cit. 25. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.yitran.com/index.aspx?id=3369>>.
- [12] KRETEK, F. *Inteligentní systémy hromadného sběru dat v energetických sítích*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2012. 51 s. Vedoucí práce byl Doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
- [13] MIŠUREC J, MLÝNEK, P. *Systémy PLC pro dálkový sběr dat*. [online]. 2009, roč. 2009, č. 1 [cit. 20. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/55/systemy-plc-pro-dalkovy-sber-merenych-dat>>.
- [14] ŠÁDEK, M. *Datové přenosy po silových vedeních*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 75 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

- [15] *Vestavěný převodník RS232 TTL*. [online]. 2013 [cit. 23. 5. 2013]. Dostupné z URL: <<http://www.papouch.com/cz/shop/product/vestavny-prevodnik-rs232-ttl/>>.
- [16] Vyšší techniky datových přenosů. *Laboratorní úloha č. 8 - PLC modemy*. Brno: VUT v Brně, 2013.

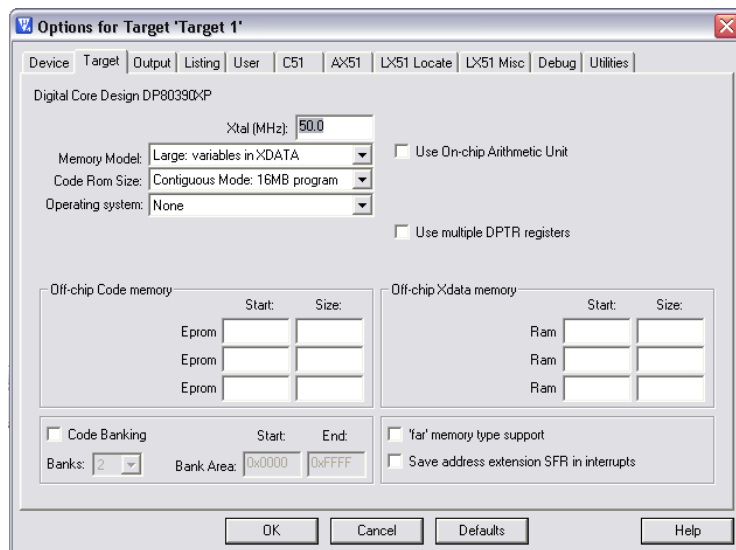
# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

PLC	powerline communication
SoC	System-on-Chip
BPL	broadband over powerline
FSK	frequency shift keying
PSK	phase shift keying
BPSK	binary phase shift keying
QPSK	quadrature phase shift keying
DCSK	differential code shift keying
RM	robust mode
SM	standard mode
ERM	extra robust mode
P2P	Point-to-Point
P2MP	Point-to-MultiPoint
RF	radio frequency
GSM	global system for mobile
GPRS	general packet radio service
SDH	synchronní digitální hierarchie
DLL	data link layer
QoS	quality of services
NC	network concentrator
RS	remote station
PIM	plug-in module
DCD	digital core design
TM	thermo meter

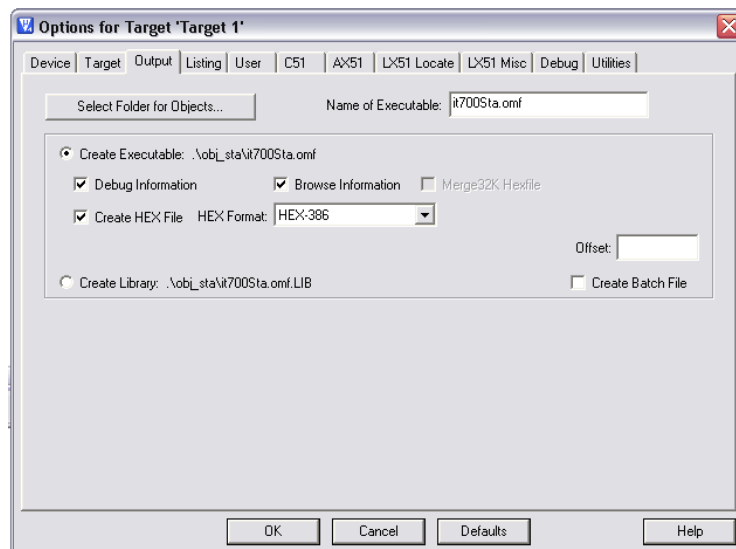
DTR data terminal ready

ASCII American Standard Code for Information Interchange

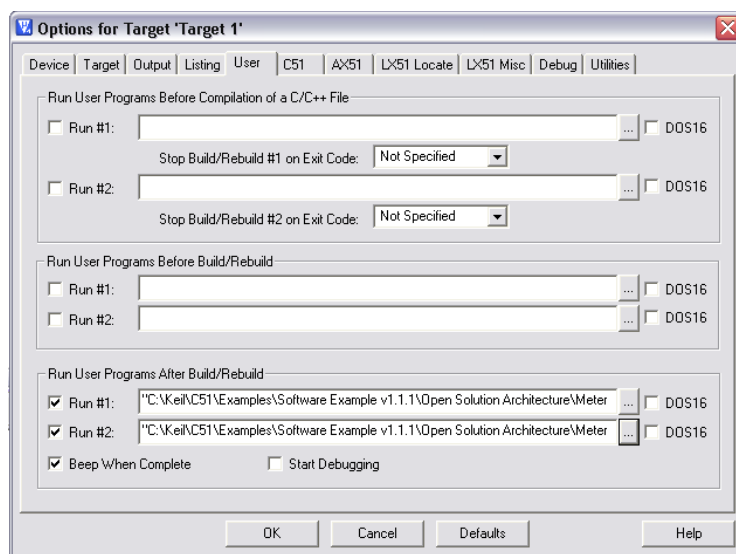
# A PŘÍLOHA - TVORBA FIRMWARU



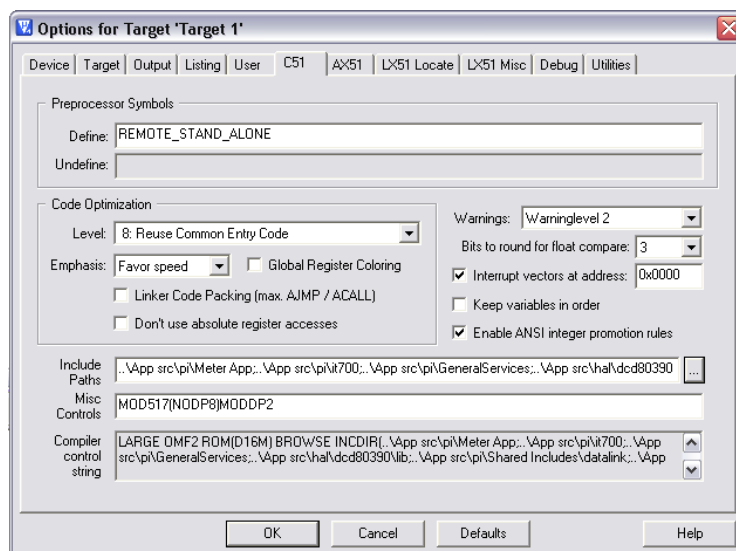
Obr. A.1: Nastavení parametrů projektu - záložka Target



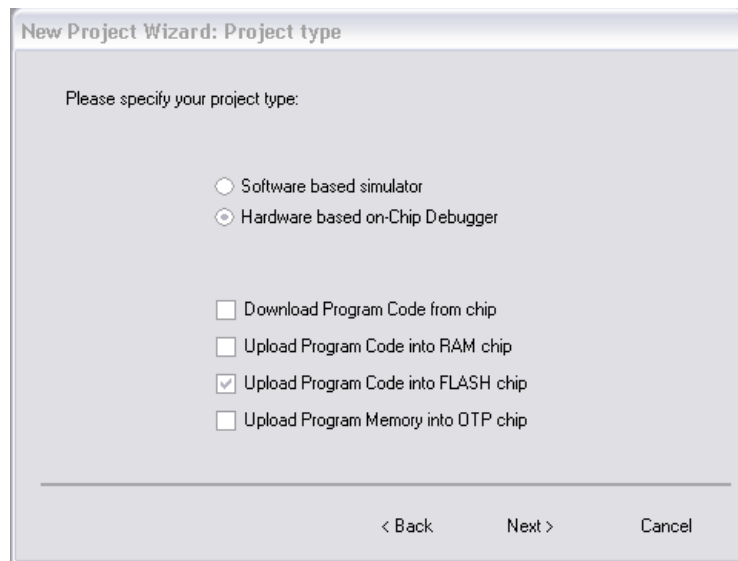
Obr. A.2: Nastavení parametrů projektu - záložka Output



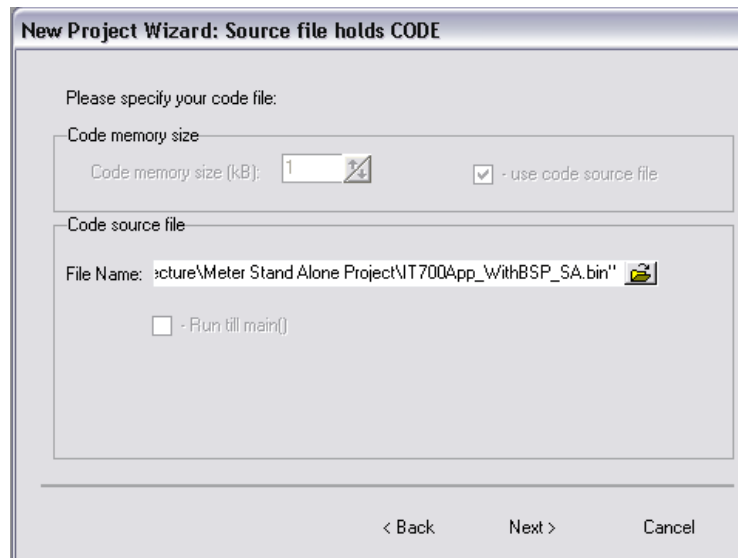
Obr. A.3: Nastavení parametrů projektu - záložka User



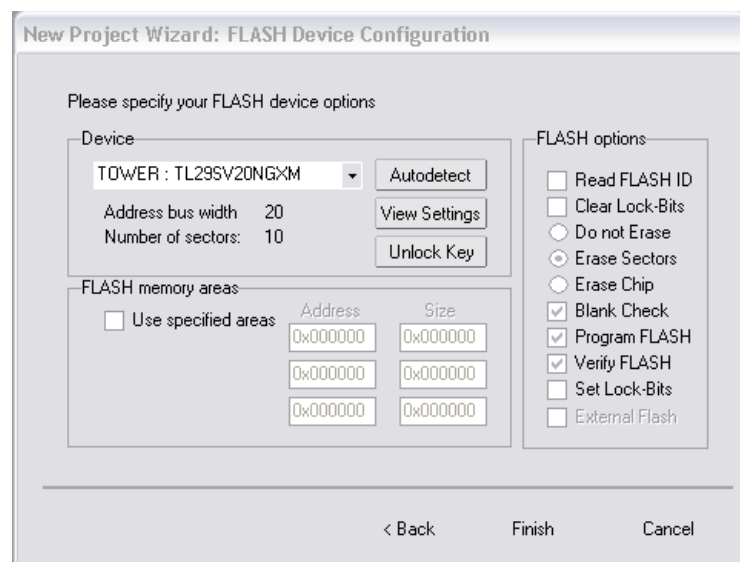
Obr. A.4: Nastavení parametrů projektu - záložka C51



Obr. A.5: Výběr paměti pro nahrání firmwaru



Obr. A.6: Výběr zdrojového souboru



Obr. A.7: Nastavení FLASH paměti