

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Martin Rusz



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

METODIKA TESTOVÁNÍ PLC KOMUNIKACÍ V SMART METERING SYSTÉMECH

METHODOLOGY FOR PLC EVALUATION IN SMART METERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Ruz

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**
Ústav telekomunikací

Student: Martin Rusz

ID: 186173

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Metodika testování PLC komunikací v Smart Metering systémech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Rozeberte současné možnosti PLC komunikace. Seznamte se s Smart Metering systémy s PLC. Realizujte sadu krátkodobých měření PLC komunikace mezi elektroměrem a koncentrátorem. Navrhněte metodiku testování PLC komunikací v Smart Metering systémech a tuto metodiku aplikujte na dva reálné systémy. Podrobně analyzujte výsledky a proveďte porovnání s jinými metodikami.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2.

[2] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 29.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, 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

Cílem této práce je získat základní znalosti o technologii PLC a provedení sady měření, zaměřující se na hlavní parametry této technologie a také provést sadu krátkodobých měření PLC komunikace ve Smart Metering systémech a navrhnout metodiku pro otestování dvou reálných systému. Měření bylo prováděno v laboratorních podmínkách na připravených úlohách, které pokrývaly všechny druhy dané technologie, jak širokopásmovou, tak úzkopásmovou s jednou i více nosnými. Dále byla navržena metodika pro testování PLC komunikace ve Smart Metering systémech, která byla aplikována na dva systémy využívající odlišné technologie. Na základě dosažených výsledků pak bylo rozhodnuto, který ze dvou systému je podle provedené metodiky a sady krátkodobých měření vhodnější pro reálné použití.

KLÍČOVÁ SLOVA

elektrická síť, frekvenční pásmo, chytré elektroměry, metodika testování, modulace, PLC, širokopásmové PLC, Smart Metering systémy, úzkopásmové PLC

ABSTRACT

The aim of this work is to acquire basic knowledge about PLC technology and to make a set of measurements focusing on the main parameters of this technology as well as to perform a set of short-term measurements of PLC communication in Smart Metering systems and to design a methodology for testing two real systems. Measurements were made in laboratory conditions on prepared tasks that covered all types of technology, both broadband and narrowband with one or more carriers. In addition, a methodology for testing PLC communications in Smart Metering systems was developed, which was applied to two systems using different technologies. On the basis of the results achieved, it was decided which of the two systems is more suitable for real use according to the methodology and set of short-term measurements.

KEYWORDS

Electrical Network, Frequency Band, Smart Meters, Testing Methodology, Modulation, PLC, Broadband PLC, Smart Metering Systems, Narrowband PLC

RUSZ, Martin. *Metodika testování PLC komunikací v Smart Metering systémech*. Brno, 2018, 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Metodika testování PLC komunikací v Smart Metering systémech“ jsem vypracoval(a) 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(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) 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(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Mlýnkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



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(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

1	PLC - Power Line Communication	12
1.1	Elektrická rozvodná síť	12
1.2	Normalizace v PLC	13
2	Typy PLC komunikace	14
2.1	Úzkopásmové PLC s nízkou datovou rychlostí (Narrow Band – Low Data Rate)	14
2.1.1	Modulace BPSK	14
2.1.2	Standardy v NB-LDR	14
2.1.3	Modem MT39-L1-ver. R	15
2.2	Úzkopásmové PLC s vysokou datovou rychlostí (Narrow Band – High Data Rate)	17
2.2.1	Modulace QPSK	17
2.2.2	Modulace 8PSK	17
2.2.3	Standardy v NB-HDR	18
2.2.4	Vývojová sada modemů TMDSPCKIT-V3	19
2.3	Širokopásmové PLC (BB - BroadBand)	19
2.3.1	Modulace OFDM	20
2.3.2	Standarty v BB-PLC	20
2.3.3	Sada zařízení DefiDev/DS2	21
3	PLC Smart Metering systémy	22
3.1	Přední výrobci Smart Metering systémů	22
3.2	Inteligentní jednofázové měřiče	23
3.3	Inteligentní trojfázové měřiče	24
3.4	Datové koncentrátory	24
3.5	Rozhraní pro správu a konfiguraci Smart Metering systémů	25
3.5.1	Komunikace mezi PC a datovým koncentrátorem	26
4	Výsledky měření	27
4.1	Širokopásmové PLC	27
4.1.1	Vliv vzdálenosti na přenosovou rychlost	27
4.1.2	Vliv vzdálenosti na zpoždění	29
4.1.3	Vliv generátoru bílého šumu na kvalitu přenosu	29
4.1.4	Vliv generátoru bílého šumu na přenosovou rychlost a zpoždění signálu	30
4.1.5	Zobrazení spektra signálu na osciloskopu s funkcí FFT	32

4.2	Úzkopásmové PLC (NB-HDR)	32
4.2.1	Možnosti záložky Statistics	33
4.2.2	Naměřené hodnoty přenosu jednotlivých modulací	33
4.2.3	PHY Test	34
4.3	Úzkopásmové PLC (NB-LDR)	35
4.3.1	Měření přenosové rychlosti pomocí HyperTerminalu	35
4.3.2	Zobrazení spektra úzkopásmové komunikace na kmitočtu 75 – 85 kHz	36
4.4	Testování Smart Metering systémů	37
4.4.1	Krátkodobá měření PLC komunikace	37
4.4.2	Vliv vzdálenosti a prostředí na přenos PLC	39
4.4.3	Výsledky měření z multimediální místnosti	42
4.5	Metodika testování Smart Metering systémů	44
4.5.1	Základní testy funkčnosti	46
4.5.2	Reakce na nestandardní situace	49
4.5.3	Výpadek komunikace/napájení	50
4.5.4	Topologické změny	51
4.5.5	Dlouhodobé testy funkčnosti	52
4.5.6	Souhrn výsledků metodiky testování	53
5	Závěr	54
	Literatura	56
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	59
	Seznam příloh	60
A	Návod k základnímu ovládání systému SIMS od společnosti ADD	61
A.1	Důležité položky hlavního menu	61
A.2	Možnosti konfigurace, čtení a zobrazování dat	62
B	Komunikace zachycena pomocí programu Wireshark	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Elektrická rozvodná síť.	13
2.1	Princip BPSK modulace [4].	15
2.2	PLC modem MT39-L1-ver.R [8].	16
2.3	Princip QPSK modulace [9].	17
2.4	Konstelační diagram 8PSK modulace.	18
2.5	Modem z vývojové sady TMDSPCKIT-V3 [14].	19
2.6	Princip OFDM modulace [16].	20
2.7	Modem DefiDev [20].	21
3.1	Jednofázové elektroměry AD11A.1-1-1 (ADD) a MTR1000 (NES) [23][24].	23
3.2	Trojfázové elektroměry AD13A.2-1-1 (ADD) a MTR3000 (NES) [25][26].	24
3.3	Datové koncentrátory DCM8A.3-1-1 (ADD) a DCN 3000 (NES) [28][29].	25
3.4	Vytvoření a ukončení spojení u TCP protokolu.	26
4.1	Srovnání vlivu vzdálenosti na přenosovou rychlost BB-PLC.	28
4.2	Srovnání vlivu vzdálenosti na zpoždění BB-PLC.	29
4.3	Vliv generátoru bílého šumu na kvalitu přenosu.	30
4.4	Vliv generátoru bílého šumu na přenosové rychlosti.	31
4.5	Vliv generátoru bílého šumu na zpoždění.	31
4.6	Spektrum signálu zobrazené na osciloskopu.	32
4.7	Informace v záložce Statistics.	33
4.8	Konfigurační rozhraní PHY Test.	34
4.9	Konfigurační program RSET.	35
4.10	Přenosová rychlost zobrazená pomocí programu HyperTerminal.	36
4.11	Spektrum signálu zobrazené pomocí spektrálního analyzátoru.	36
4.12	Schéma zapojení elektroměrů.	40
4.13	Průběh SNR laboratoř krátká vzdálenost.	40
4.14	Průběh SNR na vzdálenost 150 m.	41
4.15	Průběh SNR v multimediální místnosti.	41
4.16	Obnovení elektroměru po výpadku v závislosti na modulaci a výkonu.	42
4.17	Srovnání DBPSK a D8PSK s rozdílnými výkony.	43
4.18	Nastavení změny zimního na letní čas u systémů ADD a NES.	46
4.19	Událost sejmutí krytu u systému NES a ADD.	49
4.20	Zasílání dat po výpadku komunikace u systému NES a ADD.	50

SEZNAM TABULEK

1.1	Rozdělení pásem dle normy CENELEC EN 50065	13
3.1	Přední výrobci Smart Metering systémů.	22
3.2	Základní specifikace jednofázových elektroměrů.	23
4.1	Označení jednotlivých zapojení pro měření BB-PLC.	27
4.2	Tabulka naměřených hodnot BB-PLC.	28
4.3	Tabulka naměřených hodnot s injektovaným šumem na vedení.	30
4.4	Tabulka naměřených hodnot NB-HDR.	34
4.5	Doba trvání základních příkazů.	38
4.6	Velikost přenášených dat jednotlivých příkazů.	38
4.7	Velikost přenášených dat jednotlivých požadavků.	39
4.8	Příkazy vykonávané v rámci měření.	43
4.9	Výsledky metodiky testování dvou reálných Smart Metering systémů.	53

ÚVOD

V dnešní době existuje mnoho způsobů přenosu informace, ať už je to ethernetové, koaxiální nebo vysokorychlostní optické médium, případně velice rozšířené bezdrátové připojení. Počátkem minulého století se však začala rozvíjet myšlenka využít stávající elektrickou rozvodnou síť jako přenosové médium. V roce 1950 vznikla jedna z prvních služeb využívající tuto technologii, takzvané hromadné dálkové ovládání (HDO).

Umožňovala především ovládání veřejného osvětlení a přepínání tarifů elektrické energie. Postupem času začala tato technologie nacházet uplatnění v široké škále oblastí, od řízení a monitorování spotřeby v energetice, po jedno z možných řešení lokálních sítí. Tato technologie se obecně nazývá PLC - Power Line Communication.

Tato práce se podrobně zabývá každým ze dvou základních typů PLC, kterými je širokopásmová a úzkopásmová technologie. První část se zaměřuje na teoretický rozbor PLC technologie obecně, druhá část pak na daný typ přenosu a jeho hlavní parametry, normy, standardy a popis oblasti využití. Nechybí ani popis prvků použitých pro měření v laboratoři a jejich specifikace. Třetí část se zaměřuje na Smart Metering systémy, konkrétně na dva testované, a to ADD a NES. Je zde popsáno k čemu tyto systémy slouží a dále popsány prvky použité pro měření, včetně konfiguračních rozhraní, které slouží k jejich ovládání. S těmito systémy byla provedena sada krátkodobých měření, včetně testování komunikace na různých trasách, které bylo možno realizovat v laboratorních podmínkách a také byla navržena metodika testování, která prověřuje širokou škálu parametrů daného systému.

Výsledky měření se pak zaměřují na konkrétní naměřené hodnoty dané technologie, především na vliv rušení a jeho ovlivnění přenosové rychlosti a kvality signálu nebo vliv vzdálenosti na přenosovou rychlost nebo zpoždění. U sady krátkodobých měření PLC komunikace v Smart Metering systémech, byl kladen důraz především na porovnání doby nutné pro vykonání příkazů či požadavků, vliv vzdálenosti a rušení na kvalitu přenosu a srovnání dostupných modulací použitých pro přenos, či doba obnovení komunikace po výpadku napájení. V případě metodiky testování PLC komunikace jsou ve výsledcích vždy uvedena kritéria daného měření a zhodnoceno zda daná technologie splnila, částečně splnila, či nesplnila daná kritéria.

V závěru jsou shrnuty všechny výsledky měření a zhodnoceno, zda dané měření potvrdilo nebo naopak vyvrátilo teoretické parametry přenosu a vlastní zhodnocení celého průběhu měření. U metodiky Smart Metering systému je pak podle výsledků zhodnoceno autorem, který ze dvou testovaných systémů je vhodnější pro reálné použití.

1 PLC - POWER LINE COMMUNICATION

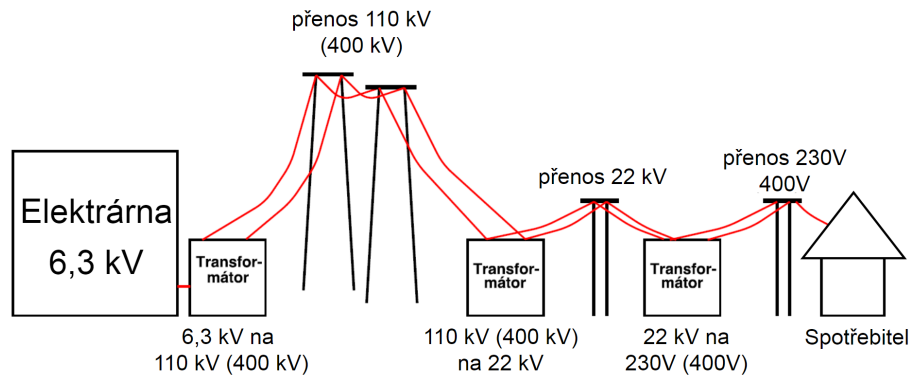
PLC, jak již z názvu vyplývá, využívá ke svému přenosu **elektrickou rozvodnou síť**. Jelikož se jedná o přenosové médium, jehož primárním účelem je distribuce elektrické energie, ať už koncovému uživateli nebo na úrovni páteřních distribučních sítí, a nebylo tedy navrženo pro účely komunikace, dochází zde ke ztrátám, útlumům na vedení a poměrně velkému rušení vlivem elektrických přístrojů připojených na vedení. Důležitým parametrem je také délka vedení, která výrazně ovlivňuje přenosovou rychlost i kvalitu přenosu.

Přes všechny negativní vlastnosti našla tato technologie své místo v energetice, monitorování a ovládání v průmyslu, ale také jako alternativa k bezdrátové komunikaci v lokálních sítích, takzvané poslední míle. Hlavní součástí všech PLC zařízení je vazební člen, díky kterému je možné indukovat signál na elektrickou síť, která pracuje na výrazně větším napětí než standardní komunikační zařízení.

1.1 Elektrická rozvodná síť

Elektrickou rozvodnou síť, viz. obrázek 1.1, v našem případě použitou jako přenosové médium, můžeme rozdělit z hlediska použití na několik základních typů [1]:

- **Zvláště vysoké napětí (ZVN):** 400 – 800 kV, využívá se v distribuční soustavě k omezení ztrát při přenosu elektrické energie na velké vzdálenosti, vyšším stupněm už je pouze (UVN) ultra vysoké napětí.
- **Velmi vysoké napětí (VVN):** 110 – 220 kV, slouží k propojení vzdálených rozvodů v distribuční oblasti nebo pro zásobování velkých průmyslových celků, vykazuje velmi dobré vlastnosti pro komunikaci, nízký útlum, dosah řádově desítky kilometrů na úkor velice nízké přenosové rychlosti, přibližně několik kbit/s. Slouží k detekci poruch či zkratových proudů.
- **Vysoké napětí (VN):** 22 kV, rozvod elektrické energie v obcích, městech nebo může být použito k překlenutí malé vzdálenosti například mezi dvěma sousedními městy. Slouží k monitorování rozvodné sítě.
- **Nízké napětí (NN):** 230 V, 400 V, tvoří síť pro koncové uživatele, nebývá delší než stovky metrů. Nejpoužívanější typ pro PLC komunikaci tzv. **HAN** (Home Area Network), řešení většinou širokopásmovou technologií, která vyniká vysokou přenosovou rychlostí na několik desítek metrů.



Obr. 1.1: Elektrická rozvodná síť.

1.2 Normalizace v PLC

Určité typy PLC podléhají normám a standardům, které jsou nuceni respektovat, jak výrobci tak spotřebitelé, například normalizace v oblasti použitelného frekvenčního pásma a jeho rozdělení danou normou organizace CENELEC. Jedná se o organizaci zabývající se tvorbou elektrotechnických norem a standardů v evropských zemích, na kterých se podílí 34 členských zemí, jak z oblasti velkých technických korporací tak malých podniků. V úzkopásmových PLC systémech se využívá normy CENELEC EN 50065, která je rozdělena na tři části:

- *EN50065-1*
- *EN50065-4-2*
- *EN50065-7*

celý tento standart pak definuje pět různých pásem [2], jejich šířku a další parametry můžeme vidět v tabulce 1.1.

Tab. 1.1: Rozdělení pásem dle normy CENELEC EN 50065

Pásmo	Šířka pásma [kHz]	Max.amplituda signálu [V]	Dodatek
-	3-9	-	pro dodavatele el. energie
A	9-95	1 - 5	pro dodavatele a po souhlasu i pro odběratele
B	95-125	1,2	jen pro odběratele, bez nutnosti přístupu dle normy
C	125-140	1,2	jen pro odběratele - vyžadován protokol (ČSN EN 50065)
D	140 -148,5	1,2	jen pro odběratele, nutnost přístupu podle normy

2 TYPY PLC KOMUNIKACE

PLC se v zásadě dělí na dva základní typy: širokopásmovou a úzkopásmovou s jednou a více nosnými, které se liší v použití, přenosové rychlosti, počtu nosných, použité modulaci nebo odolnosti vůči rušení. Tato kapitola se podrobně věnuje výhodám a nevýhodám jednotlivých technologií, jejich standardům, příkladem použití v současných komunikačních technologiích a také výrobcům těchto zařízení.

2.1 Úzkopásmové PLC s nízkou datovou rychlostí (Narrow Band – Low Data Rate)

Princip úzkopásmové PLC komunikace s nízkou datovou rychlostí (NB-LDR) spočívá v přenosu informace v úzkém frekvenčním pásmu daném normou CENELEC a pro přenos primárně využívá jednu nosnou. Pokud by však nastalo rušení znemožňující komunikaci po této nosné, disponuje ještě sekundární nosnou, která pracuje na jiné frekvenci a může tak být použita pro daný přenos. Díky těmto vlastnostem a použitými modulacemi vykazuje tento typ PLC komunikace velmi dobrou odolnost vůči rušení a zkreslování signálu. V této práci byl použit úzkopásmový modem firmy ModemTec - MT39-L1-ver. R, který můžeme vidět na obrázku 2.2.

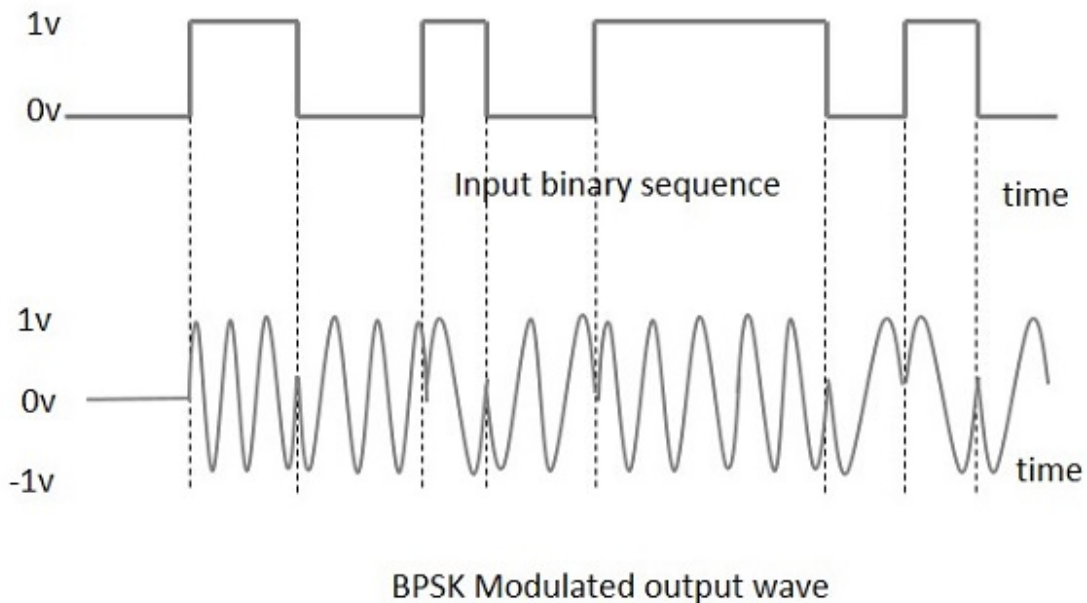
2.1.1 Modulace BPSK

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších modulačních technik. Její největší výhodou je poměrně velká robustnost díky způsobu který používá pro klíčování. Nositelem informace je fázově posunutý signál o 180° , díky takto velkému fázovému posuvu mezi jednotlivými stavy je tato modulační technika odolnější proti rušení [3]. Na obrázku 2.1 můžeme vidět znázorněný princip modulace BPSK.

2.1.2 Standardy v NB-LDR

PLC komunikace s nízkou datovou rychlostí se stala součástí mnoha různých standardů, jak v Evropě tak i celosvětově. Standardů s touto technologií je celá řada (LonWork, IEC 61334, X10, HomePlug Command and Control, SITRED...). Níže si stručně popíšeme několik nejrozšířenějších.

- **LonWorks** – jedná se o průmyslovou komunikační platformu vyvinutou firmou Echelon koncem 20. století [5]. Výhodou tohoto standartu je možnost komunikace po širokém spektru přenosových medií, včetně komunikace po rozvodné



Obr. 2.1: Princip BPSK modulace [4].

sítí. Jelikož se tento standart zaměřuje primárně na měření, regulaci a ovládání převážně průmyslových sítí, našla zde úzkopásmová PLC s nízkou datovou rychlostí své místo.

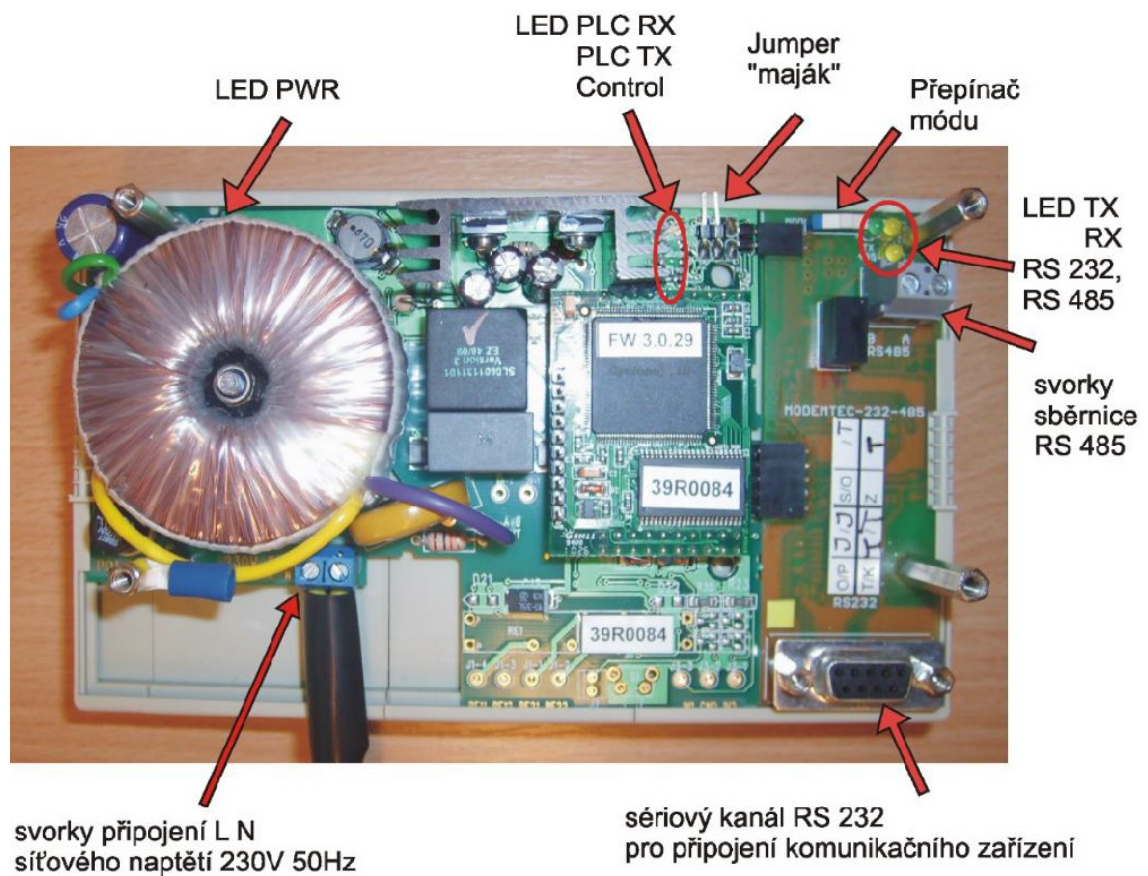
- **HomePlug Command and Control** – tento standard zahrnuje řešení pro správu energie, vzdálené sledování a řízení. Základní technologií je vysílač IT800 společnosti Yitran, která spolu s dalšími devíti společnostmi utváří, spravuje a rozšiřuje tento standart. HomePlug umožňuje ovládání pouličního osvětlení, automatické nastavování termostatů, dálkový odečet elektroměrů a další. Stává se tak robustní, spolehlivou technologií, která řeší problémy dnešní složitosti energetického prostředí [6].

2.1.3 Modem MT39-L1-ver. R

Jedná se o inteligentní modul, který slouží jako interface mezi komunikační linkou PLC a sériovou linkou, na kterou může být připojena široká škála zařízení jako je PC, inteligentní elektroměr a další. Modul přijímá data ze sériové linky a následně jej přenáší pomocí PLC komunikačního kanálu, který v tomto případě využívá přenosu primární nosné na frekvenci přibližně 85 kHz. Modul může pracovat v párovém režimu, tj. dva moduly MT39-L1 verze R zapojeny proti sobě nebo jako Master-Slave, kde může být skupina těchto modulů jako zařízení slave nadřazenému modulu MT34A verze R. Konfigurace modulu probíhá pomocí PC a **programu RSET** pomocí sériového portu [7].

Specifikace MT39-L1-ver. R:

- Frekvence nosné: 60 - 145 kHz
- Modulace: D-BPSK
- Amplituda nosné: 10Všš (RZ=10W)
- Min. odstup S/N: 9 dB
- Citlivost příjmu: 1 mV
- Vysílání i příjem: 1 fáze, N
- Přenosová rychlost: 10kBd



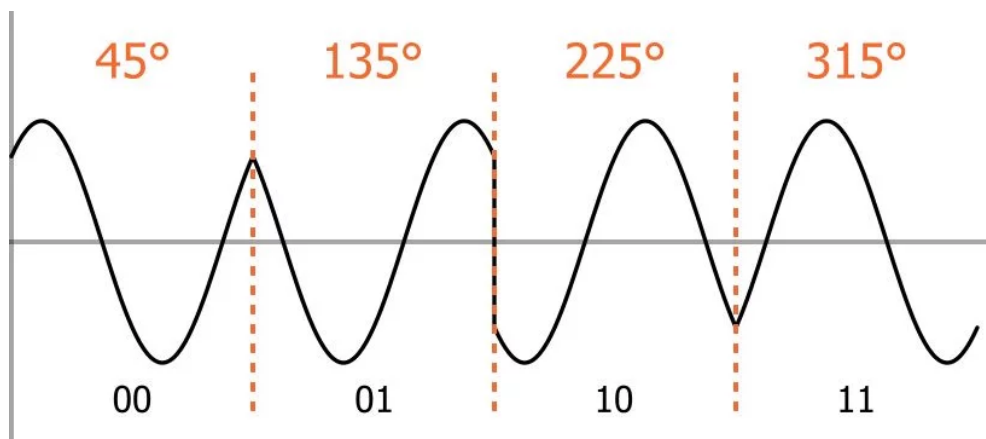
Obr. 2.2: PLC modem MT39-L1-ver.R [8].

2.2 Úzkopásmové PLC s vysokou datovou rychlostí (Narrow Band – High Data Rate)

Tento typ PLC technologie se od NB-LDR liší především způsobem přenosu, kdy je signál přenášen více nosnými a díky standardům a použitým modulacím dosahuje vyšších přenosových rychlostí. V dnešní době je tento způsob přenosu jedním z nejčastěji používaných v oblasti monitorování a ovládání například v chytrých elektroměrech.

2.2.1 Modulace QPSK

Jedná se o modulační techniku využívanou nejen v PLC systémech. Její největší výhodou je přenos dvou bitů v jediném stavu. To je možné díky funkci, kterou tato technika využívá při modulaci, kdy je nositelem informace fázově posunutý signál, který může nabývat čtyř různých fázových posuvů (45° , 135° , 225° , 315°), jednotlivé digitální vyjádření můžeme vidět v tabulce níže. Schéma posunu a odpovídajícího digitálního vyjádření se může lišit, avšak jak vysílací, tak přijímací strana musí dodržovat jednotné schéma, aby byla možná správná modulace i demodulace přenášeného signálu.

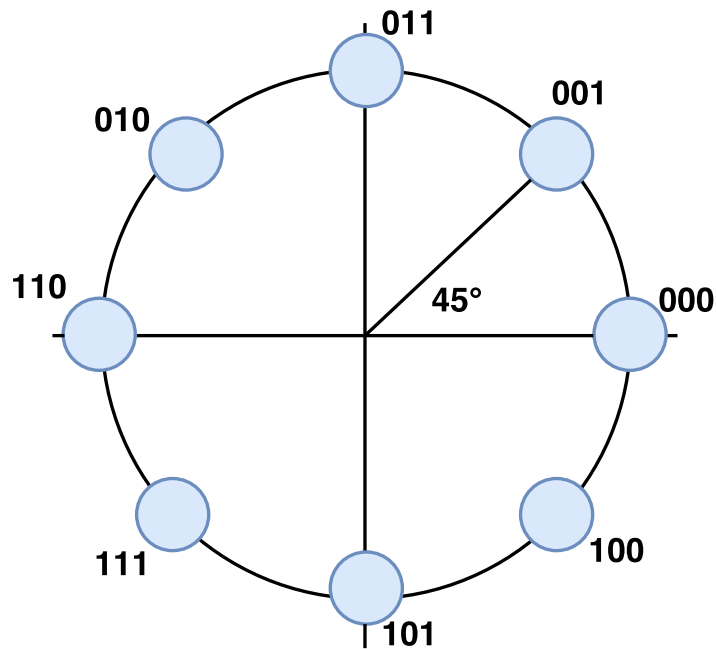


Obr. 2.3: Princip QPSK modulace [9].

2.2.2 Modulace 8PSK

Modulace 8PSK přímo rozvíjí předešlou modulaci QPSK. Využívá stejné techniky fázového posunu signálu, ale místo reprezentace dvou bitů na každý signál, dokáže reprezentovat bity 3. To je možné díky rozestupu 45° mezi jednotlivými stavy, jak

ukazuje obrázek 2.4. Díky těmto vlastnostem jsme schopni efektivněji využít danou šířku pásma a dosáhnout vyšších přenosových rychlostí, ale výrazně klesá schopnost odolnosti vůči řešení.



Obr. 2.4: Konstelační diagram 8PSK modulace.

2.2.3 Standardy v NB-HDR

Standardizace v NB-HDR a v úzkopásmové technologii je obecně na velice vysoké úrovni. Existuje celá řada standardů, například PRIME, G3-PLC, ITU-T G.hnem, IEEE 1901.2. PRIME a G3-PLC, které budou obsahem této části zapříčinily velký rozmach této technologie a to především díky možnosti kompatibility mezi zařízeními různých výrobců.

- **PRIME** – (Powerline Intelligent Metering Evolution) je velice vospělý, konsolidovaný a celosvětově uznávaný PLC standart pro aplikace spojené s měřením a kontrolou, především pak v oblasti chytrých elektroměrů. Cílem bylo vytvořit soubor otevřených mezinárodních PLC standardů. Díky tomuto standardu bylo dosaženo kompatibility mezi zařízeními různých výrobců a došlo tak k výraznému navýšení množství instalovaných zařízení převážně v Evropě, s postupnou expanzí do Austrálie, Brazílie a Středního východu [10].
- **G3-PLC** – tento standard byl navrhnut pro potřeby průmyslu v oblasti monitorování a efektivního řízení, které se uplatní především v inteligentních elektroměrech. Jeho největší výhodou je, že jako jediný standart na světě

podporuje protokol IPv6. Díky tomuto protokolu odpadají případné investice do „upgradu“ infrastruktury. Mezi další výhody patří také kompatibilita zařízení různých výrobců, koexistuje se staršími technologiemi využívající například modulaci S-FSK a zahrnuje bezpečnostní mechanismy na úrovni MAC vrstvy [11], [12].

2.2.4 Vývojová sada modemů TMDSPCKIT-V3

Tato vývojová sada od společnosti Texas Instruments obsahuje dva PLC modemy, které podporují standardy PRIME, G3 a PLC Lite. Díky podpoře těchto standardů může být tato sada použita pro vyhodnocení nejlepší technologie pro využití v dané aplikaci. Pomocí dodávaného softwaru lze jednoduše ověřit komunikaci a provádět velké množství testů. Mimo jiné byla tato sada použita také pro měření v laboratoři [13].



Obr. 2.5: Modem z vývojové sady TMDSPCKIT-V3 [14].

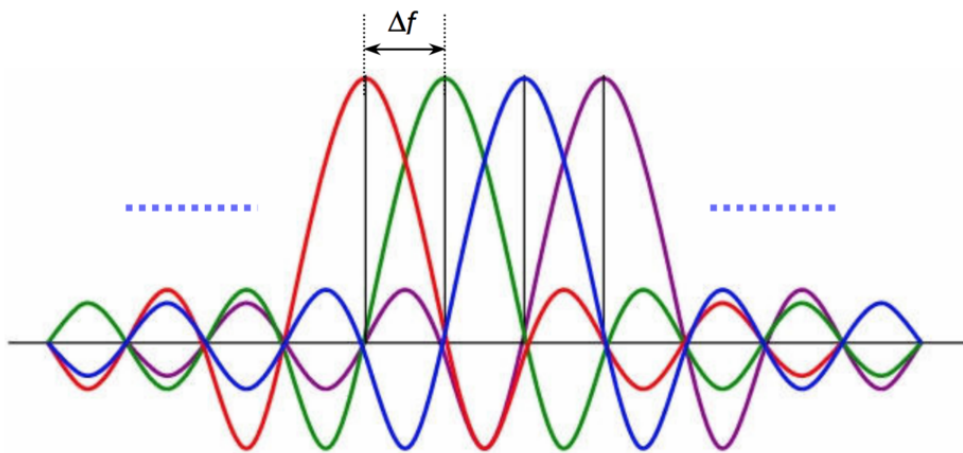
2.3 Širokopásmové PLC (BB - BroadBand)

Širokopásmové PLC nabízí podstatně vyšší přenosové rychlosti od **2 Mb/s** až po **1 Gb/s** než úzkopásmové PLC. Takovéto přenosové rychlosti jsou možné díky použitému frekvenčnímu pásmu v řádu desítek MHz. Jelikož ale PLC v zásadě pracuje jako anténa a mohlo by docházet k rušení například rozhlasových služeb pracujících ve stejném kmitočtovém pásmu, je nutné, aby širokopásmová technologie pracovala jen s omezeným výkonem. Pro samotný přenos se nejčastěji používá velice rychlá **OFDM modulace**, která je schopna do daného frekvenčního spektra přenést velké množství subnosných frekvencí.

Díky těmto vlastnostem se širokopásmová PLC technologie stala alternativou k dnes standardnímu bezdrátovému Wi-Fi připojení nebo je možné ji využít všude tam, kde je potřeba velmi rychlého přenosu dat, ale není zde možné dělat novou síťovou kabeláž, jako jsou například muzea, historické budovy a podobně. Mezi její nevýhody patří výrazně menší přenosová vzdálenost, řádově desítky metrů, která navíc znatelně ovlivňuje parametry přenosu [15]. Dále této technologii zoufale chybí standardizace nebo normalizace. Obvykle je zde několik různých výrobců, kteří své zařízení staví na stejném čipu. Pro měření v laboratoři byli využiti PLC modemy společnosti DeviDef, konkrétně pak třetí generace DS2.

2.3.1 Modulace OFDM

OFDM neboli (Orthogonal frequency-division multiplexing) označuje jeden z druhů širokopásmové modulace. Princip této modulace spočívá v tom, že pracuje s velkým množstvím subnosných frekvencí a s tzv. rozprostřeným spektrem, což znamená, že signál je vysílán na více vzájemně ortogonálních frekvencích (skalární součin rovný nule) a maximum každé subnosné je zároveň minimem následující jak ukazuje obrázek 2.6. Její největší výhodou je velká přenosová rychlost [16].



Obr. 2.6: Princip OFDM modulace [16].

2.3.2 Standarty v BB-PLC

Jak již bylo popsáno výše, širokopásmové PLC není standardizováno tak dobře jako úzkopásmové, ale přesto je zde několik standardů, které udávají základní parametry přenosu, kterými se výrobci těchto zařízení musí řídit. Mezi nejvýznamnější patří především IEE 1901 a ITUT G.hn, kterým se tato část podrobněji věnuje.

- **IEE 1901** – jedná se o definovaný standart pro vysokorychlostní komunikační zařízení využívajících elektrická vedení jako přenosové médium. Hlavním parametrem tohoto standardu je **vysílací frekvence pod 100 MHz** a platí pro všechna BB-PLC [17]. Hlavním cílem je efektivní využívání komunikačního kanálu elektrické sítě, kompatibilita mezi různým zařízeními a zajištění kvality služeb.
- **ITU-T G.hn** – tento standard je vyvíjen mezinárodní telekomunikační unií ITU a zkratka G.hn vyjadřuje pojmenování domácích sítí příští generace. Jedná se o standart podporující různé typy přenosových médií, včetně elektrické rozvodné soustavy s přenosovou rychlostí až **1 Gb/s** [18].

2.3.3 Sada zařízení DefiDev/DS2

Jedná se o systém širokopásmových PLC zařízení, viz obrázek 2.7, které byly využity pro měření v laboratoři. Tato sada se dělí na centrální zařízení Head-End (HE), které komunikuje s koncovým uživatelem označovaným jako (CPE). Do této trasy lze libovolně vkládat opakovače (REP), díky kterým je možno zvýšit dosah této technologie na úkor snížení přenosové rychlosti. Mezi hlavní parametry patří jednoduchá instalace a konfigurace, přenosová rychlost až 200 Mb/s, dobrá kombinovatelnost s Wi-fi, ADSL, optikou, ethernetem a dalšími [19]. Pomocí konfiguračního rozhraní je možno nastavovat například frekvenční pásmo, IP adresy jednotlivých zařízení nebo sledovat rychlosti na fyzické vrstvě a kvalitu přenosu, tzv. SNR.

Mezi užitečné vlastnosti této sady patří, že jednotlivá zařízení jsou hardwarově stejná a pomocí rozhraní NMS můžeme určit, zda se bude jednat o HE, CPE nebo REP. Lze tak jednoduše měnit stávající topologii sítě se stejnou sadou zařízení.



Obr. 2.7: Modem DefiDev [20].

3 PLC SMART METERING SYSTÉMY

Jedná se o systémy inteligentního měření a řízení odběru elektrické energie s možností monitorování a správy infrastruktury elektrických sítí. Smart Metering systémy obsahují také systémy **AMI** (Advanced Metering Infrastructure) umožňující především obousměrný přenos mezi jednotlivými prvky systému, **AMM** (Automatic Meter Management) zajišťující správu v podobě dálkového ovládní jednotlivých zařízení a jejich konfiguraci a **AMR** (Automated Meter Reading), který je určen k dálkovému automatickému odečtu dat z elektroměrů a jiných zařízení. Mimo jiné lze tyto systémy využít pro měření odběru plynu, vody či tepla [21].

Smart Metering systémy obsahují celou řadu zařízení. Mezi nejzákladnější a nej-používanější patří jednofázové a trojfázové elektroměry, datové koncentrátoři (řídicí uzly) a případně další zařízení a programy, sloužící k monitorování a správě infrastruktury elektrických sítí. Tato kapitola se zaměřuje na komponenty dvou reálných systémů, které byly testovány v rámci této práce, konkrétně systémy **ADD** a **NES**. Tyto systémy patří mezi jedny z nejrozšířenějších po celém světě a každý z nich využívá rozdílný typ technologie PLC.

3.1 Přední výrobci Smart Metering systémů

Odvětví inteligentní distribuční soustavy zaznamenává strmý růst. Tento růst má za následek především velký konkurenční boj o dominantní postavení na trhu se Smart Metering systémy. Mimo dva testované systémy v této bakalářské práci, existuje celá řada předních výrobců těchto systémů. Výčet několika největších můžeme vidět v tabulce 3.1 [22].

Tab. 3.1: Přední výrobci Smart Metering systémů.

Název	Popis
Itron	Americká společnost. Největší výrobce inteligentních měřících přístrojů na světě.
Elster Group	Americká společnost. Zabývá se především pro bytové, komerční a průmyslové aplikace.
General Electric	Díky své velikosti na poli inteligentní sítě a energetické účinnosti, roste poptávka o jejich inteligentní měřící přístroje.
Landis+Gyr	Švýcarská společnost. Vedoucí postavení na evropském trhu s postupnou expanzí do USA.
SchiederElectric	Společnost poskytuje řešení energetické účinnosti rezidenčních budov, průmyslových objektů a datových center.

3.2 Inteligentní jednofázové měřiče

Jednofázové elektroměry AD11A.1-1-1 a MTR1000, jež byly použity v této práci, můžeme vidět na obrázku 3.1. Zápis a čtení dat z těchto elektroměrů je realizováno pomocí datového koncentrátoru, který komunikuje s obslužným PC, jež může být připojen širokou škálou rozhraní, kterými jsou například USB, M-BUS a RS-485. Mezi klíčové vlastnosti těchto elektroměrů patří především možnost nastavení tarifů elektrické energie podle kalendářního dne, svátku, či dané hodiny, zvýšená odolnost proti elektromagnetickému rušení nebo snímač otevření pouzdra. Pomocí těchto elektroměrů je možno monitorovat kvalitu napájecí soustavy, jako je aktuální napětí, proud, aktivní výkon, jalový výkon či zkreslení na dané fázi a širokou škálu dalších informací. Základní specifikace, viz. tabulka 3.2.



Obr. 3.1: Jednofázové elektroměry AD11A.1-1-1 (ADD) a MTR1000 (NES) [23][24].

Tab. 3.2: Základní specifikace jednofázových elektroměrů.

Typ	Standard	Modulace	Napětí	Stupeň krytí
AD11A.1-1-1	PRIME	BPSK, QPSK, 8PSK	230V	IP51
MTR1000	OSGP	BPSK	120-230V	IP54

3.3 Inteligentní trojfázové měřiče

Trojfázové elektroměry, viz obrázek 3.2, se liší oproti jednofázovým elektroměrům především možností připojení až tří fázových vodičů. Ostatních aspekty jsou pak téměř totožné s jednofázovými elektroměry. Není však podmínkou, že musí být připojeny všechny vodiče, v tomto případě se na displeji zařízení a také v obslužném programu zobrazí aktuálně připojené fáze.



Obr. 3.2: Trojfázové elektroměry AD13A.2-1-1 (ADD) a MTR3000 (NES) [25][26].

3.4 Datové koncentrátory

Na obrázku 3.3 můžeme vidět datové koncentrátory, přičemž koncentrátor DCM8A.3-1-1 může navíc pracovat v režimu standartního elektroměru. Datový koncentrátor je jeden ze základních komponentů používaných v automatizovaném dálkovém odečtu dat z chytrých elektroměrů. Koncentrátor shromažďuje informace a data ze všech koncových bodů, které následně posílá nadřazenému členu nebo naopak přijímá příkazy a ty posílá koncovým bodům, které tento příkaz vyhodnotí a následná data pošlou zpět koncentrátoru.

Na koncentrátor bývá připojeno větší množství zařízení, což v praxi znamená, že výsledná topologie smart metering sítě nabývá stromové struktury. Komunikace je založena na protokolu TCP, především z důvodu spolehlivosti přenosu s opakovaným zasíláním ztracených paketů. Tím se zmenší šance na ztrátu informací [27].



Obr. 3.3: Datové koncentrátoři DCM8A.3-1-1 (ADD) a DCN 3000 (NES) [28][29].

3.5 Rozhraní pro správu a konfiguraci Smart Metering systémů

Jedná se o uživatelská rozhraní, které lze využít ke kompletní konfiguraci a správě zařízení daného typu systému. V rámci námi testovaných systémů se jedná konkrétně o **NES Element Manager** a **SIMS Client**. Každé z těchto rozhraní bylo navrženo tak, aby mohlo spravovat rozsáhlé instalace s velkým počtem připojených zařízení. K rozhraním lze přistupovat jak z konfiguračního PC připojeného přímo ke koncentrátoru, respektive ke kontrolnímu uzlu, tak z jakéhokoliv jiného PC pomocí webového prohlížeče, pokud je toto rozhraní nainstalováno na obslužném serveru.

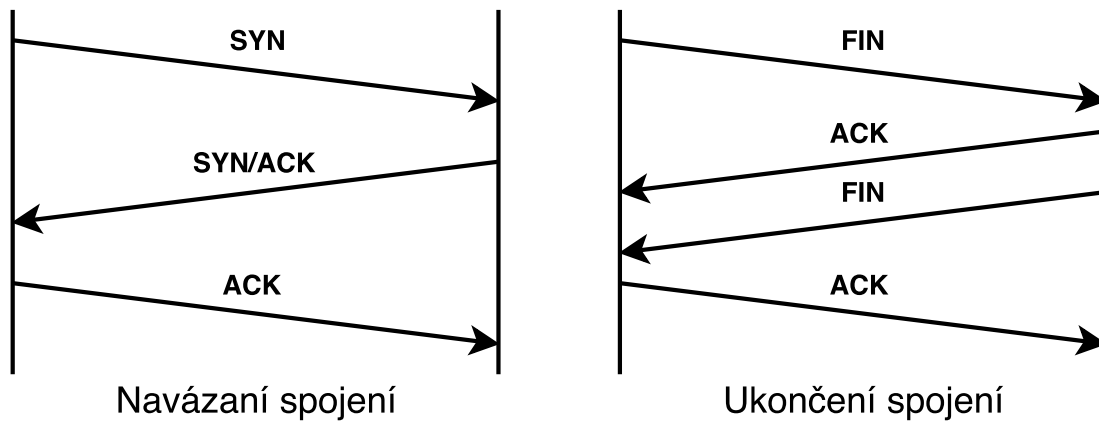
Mezi základní funkce patří výpis připojených zařízení, jejich popis, historie zpracovaných příkazů, seznam možností čtení dat, zobrazení topologie připojených zařízení, jednotlivé příkazy a další. Mimo jiné lze také vytvářet profily, které v předem daný čas a s určitou periodou opakování provádějí nastavené funkcionality [30].

Z hlediska náročnosti obsluhy patří NES Element Manager díky svému jednoduchému zpracování a podrobnému návodu k jednodušším z obou typů. Oproti tomu SIMS Client nabízí podrobnější a větší množství nastavení.

3.5.1 Komunikace mezi PC a datovým koncentrátorem

Pro vysílání jakéhokoliv příkazu nebo požadavku na elektroměr je nejprve potřeba navázat komunikaci mezi obslužným PC a datovým koncentrátorem, který následně daný příkaz nebo požadavek vysílá na elektroměr a čeká na jeho vykonání. Po vykonání posílá data zpět uživateli.

Před samotným zahájením komunikace nejprve dochází ke zjištění, zda je datový koncentrátor aktivní pomocí vyslání dotazu **request** a čekání na odpověď **reply**, princip příkazu ping. Následuje vytvoření spojení prostřednictvím protokolu TCP, reprezentováno pakety (**SYN**, **SYN/ACK**, **ACK**), přenos sekvence datových paketů různé délky a velikosti a ukončení spojení pomocí paketů (**FIN**, **ACK**). Princip navázání a ukončení spojení ukazuje obrázek 3.4.



Obr. 3.4: Vytvoření a ukončení spojení u TCP protokolu.

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Jedním z cílů této práce je seznámení se s úlohami magisterského předmětu vyšší techniky datových přenosů, které obsahují úlohy na měření dvou, respektive tří typů PLC komunikace (BB, NB – LDR, NB - HDR). Měření jednotlivých úloh obsahuje celou řadu pojmů a parametrů, kterým se v této kapitole budeme důkladně věnovat, neboť jsou nedílnou součástí správného pochopení výsledných hodnot a z nich vyplývajících grafů.

4.1 Širokopásmové PLC

V tomto měření bylo úkolem proměřit vlastnosti širokopásmových PLC modemů, jako je vliv vzdálenosti na přenosovou rychlost, vliv rušení v podobě bílého šumu na parametry přenosu a seznámení se s konfiguračním prostředím NMS, kterým se konfiguruje parametry PLC modemů.

Měření bylo prováděno v jednom z volitelných frekvenčních pásem **4-34 MHz**. Ke zjišťování přenosových rychlostí, pingu a jitteru byl využit „speedtest“ umístěný na školním privátním serveru. Tabulka 4.1 uvádí jednotlivá zapojení využita v tomto měření. Bez znalosti elektroinstalace v místě měření nebylo možné určit přesné přenosové vzdálenosti, proto byly využity zapojení reprezentující krátkou, střední a dlouho přenosovou trasu s ohledem na možnosti širokopásmové komunikace.

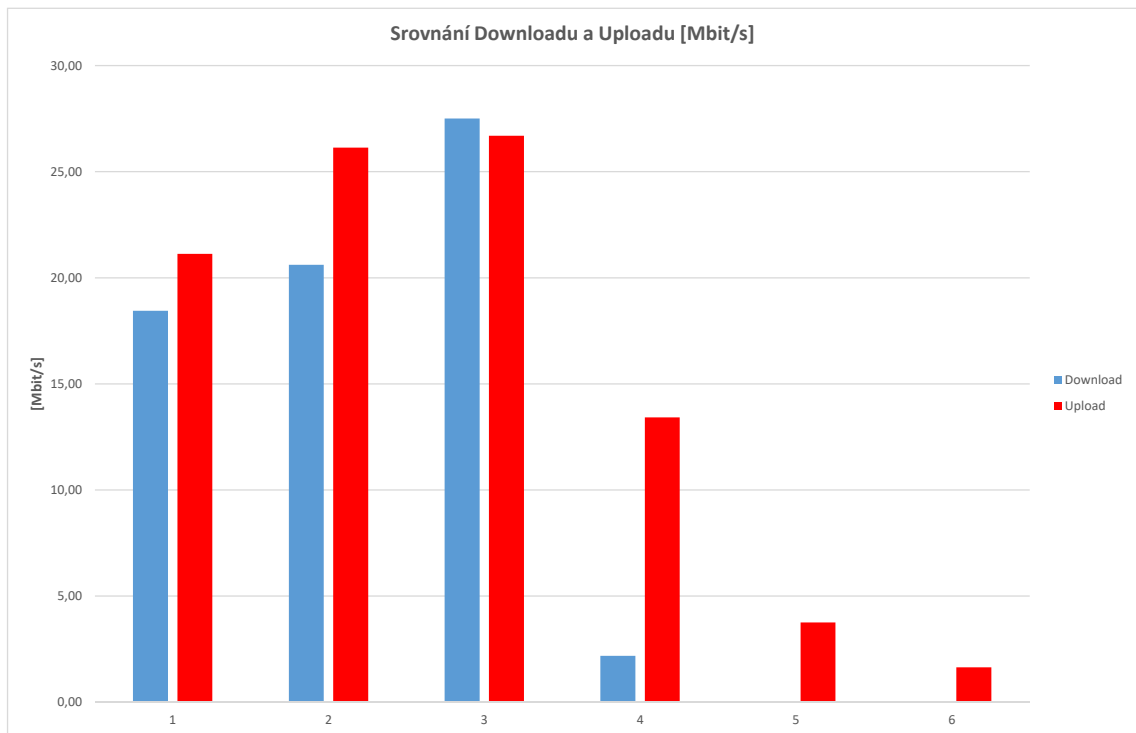
Tab. 4.1: Označení jednotlivých zapojení pro měření BB-PLC.

Měření širokopásmových PLC modemů	
1.	Společné zapojení v zásuvkové liště s opakovačem
2.	Společné zapojení v zásuvkové liště bez opakovače
3.	Vedlejší stůl s opakovače
4.	Vedlejší stůl bez opakovače
5.	Zásuvka na chodbě
6.	Vzdálenější zásuvka na chodbě

4.1.1 Vliv vzdálenosti na přenosovou rychlost

Cílem tohoto měření bylo zjistit závislost vzdálenosti na přenosové rychlosti. Ve sloupcovém grafu 4.1 a tabulce 4.2 můžeme vidět závislost vzdálenosti na přenosovou rychlost. V prvních dvou případech probíhalo měření při zapojení na společné zásuvkové liště a bylo dosaženo relativně dobrých přenosových rychlostí, které však

mohly být ovlivněny právě tímto zapojením, při kterém mohlo docházet k rušení jednotlivých modemů navzájem. Třetí a čtvrtý sloupec ukazují přenos na vzdálenější zásuvku v laboratoři, kde při zapojení s opakovačem bylo dosaženo dokonce vyšších přenosových rychlostí než v prvním případě. Bez použití opakovače, však byly rychlosti výrazně nižší, což potvrzuje důležitost aplikování tohoto prvku do topologie sítě při přenosu na větší vzdálenosti. Pátý a šestý sloupec ukazují měření na chodbě, kde se výrazně projevil limit přenosové vzdálenosti širokopásmové technologie, kdy bez dostatečného počtu opakovačů byla přenosová rychlost téměř nulová.



Obr. 4.1: Srovnání vlivu vzdálenosti na přenosovou rychlost BB-PLC.

Tab. 4.2: Tabulka naměřených hodnot BB-PLC.

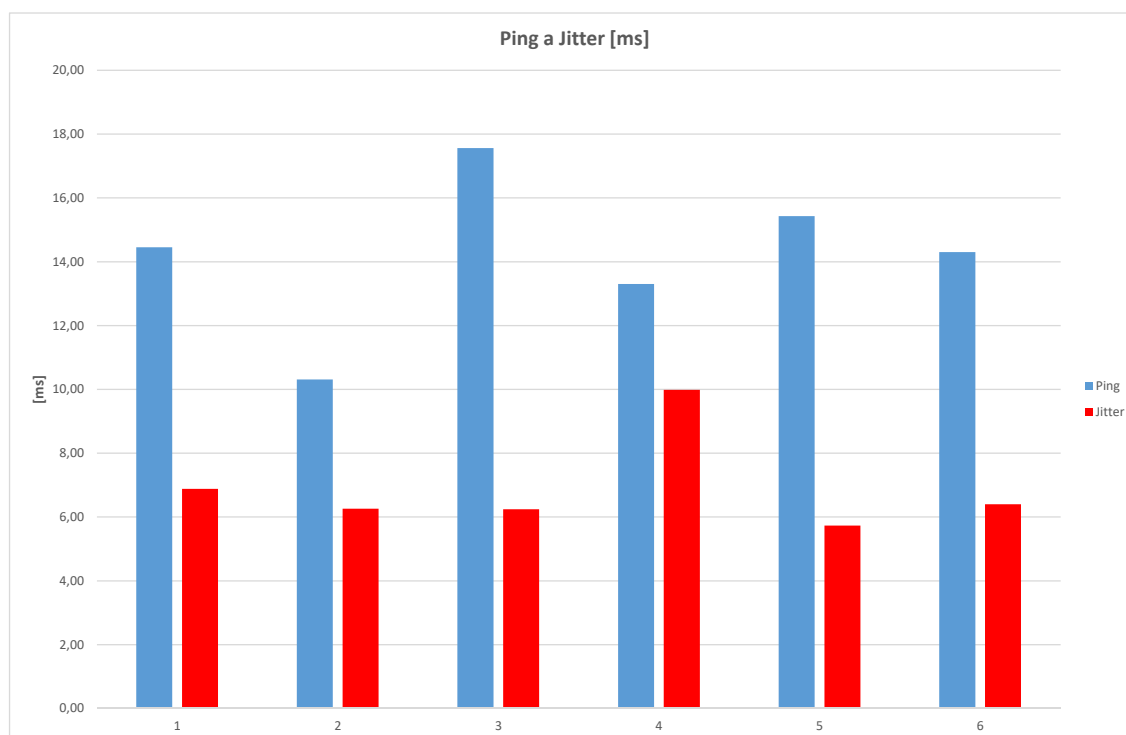
SPEEDTEST				
	Download [Mbit/s]	Upload [Mbit/s]	PING [ms]	Jitter [ms]
1.	18,44	21,12	14,45	6,88
2.	20,61	26,13	10,31	6,26
3.	27,50	26,69	17,56	6,24
4.	2,18	13,42	13,31	9,98
5.	0,00	3,75	15,43	5,73
6.	0,00	1,64	14,31	6,41

4.1.2 Vliv vzdálenosti na zpoždění

Cílem tohoto měření byla další závislost vzdálenosti, tentokrát na dva druhy zpoždění. Z grafu 4.2 můžeme vidět, že zpoždění mezi jednotlivými pakety tzv. “Jitter“ se při rostoucí vzdálenosti příliš nemění, a tudíž vzdálenost tento parametr nijak výrazně neovlivňuje. Zpoždění přenosu se lišilo znatelně víc, a bylo nejvýraznější, při měření v laboratoři na vzdálené zásuvce a také na chodbě. Přesto i tyto hodnoty pohybující se pod hranicí 20ms jsou vzhledem k použité technologii velice dobré.

Ping - udává zpoždění mezi odeslaným a přijatým signálem.

Jitter - udává zpoždění mezi jednotlivými pakety.



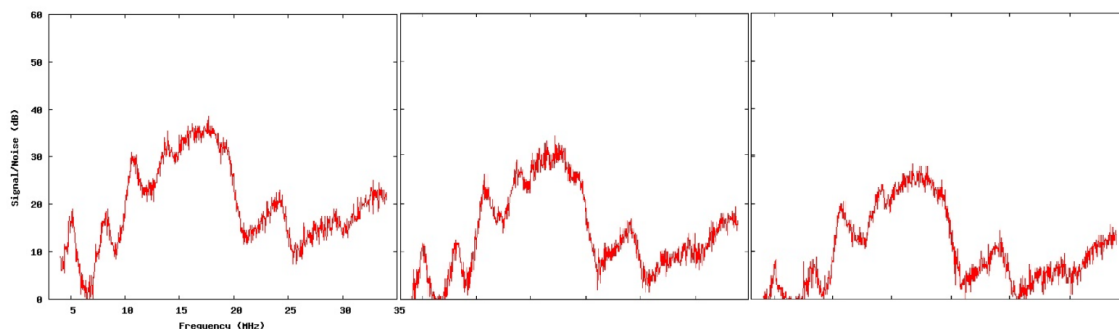
Obr. 4.2: Srovnání vlivu vzdálenosti na zpoždění BB-PLC.

4.1.3 Vliv generátoru bílého šumu na kvalitu přenosu

V tomto měření jsme zjišťovali, jak bude generátor bílého šumu PROMAX ProPower-1 ovlivňovat kvalitu přenosu, kterou v našem měření udává parametr SNR. Generátor byl připojen na společnou přenosovou trasu mezi použité modemy a pomocí regulátoru byl měněn procentuální výkon bílého šumu. Na obrázku 4.3, můžeme vidět tři průběhy, odpovídající třem úrovním bílého šumu, injektovaného do vedení. Zleva 0%, 50% a 100%. Pomocí webového rozhraní NMS jsme schopni pozorovat vliv tohoto rušení na SNR (Signal to Noise Ratio), odstup signálu od šumu. Obecně

platí, že čím vyšší SNR tím vyšší přenosové rychlosti. Tímto měřením jsme získali zcela jasné výsledky. Rozdíl mezi rušeným vedením a vedením bez rušení je poměrně znatelný, z čehož vyplývá, že rušení má na širokopásmovou komunikaci výrazný vliv a znatelně ovlivňuje kvalitu přenosu a tím i přenosovou rychlost nebo zpoždění.

Bílý šum - signál s rovnoměrnou spektrální hustotou. To znamená, že ve všech pásmech shodné šířky vykazuje stejný výkon.



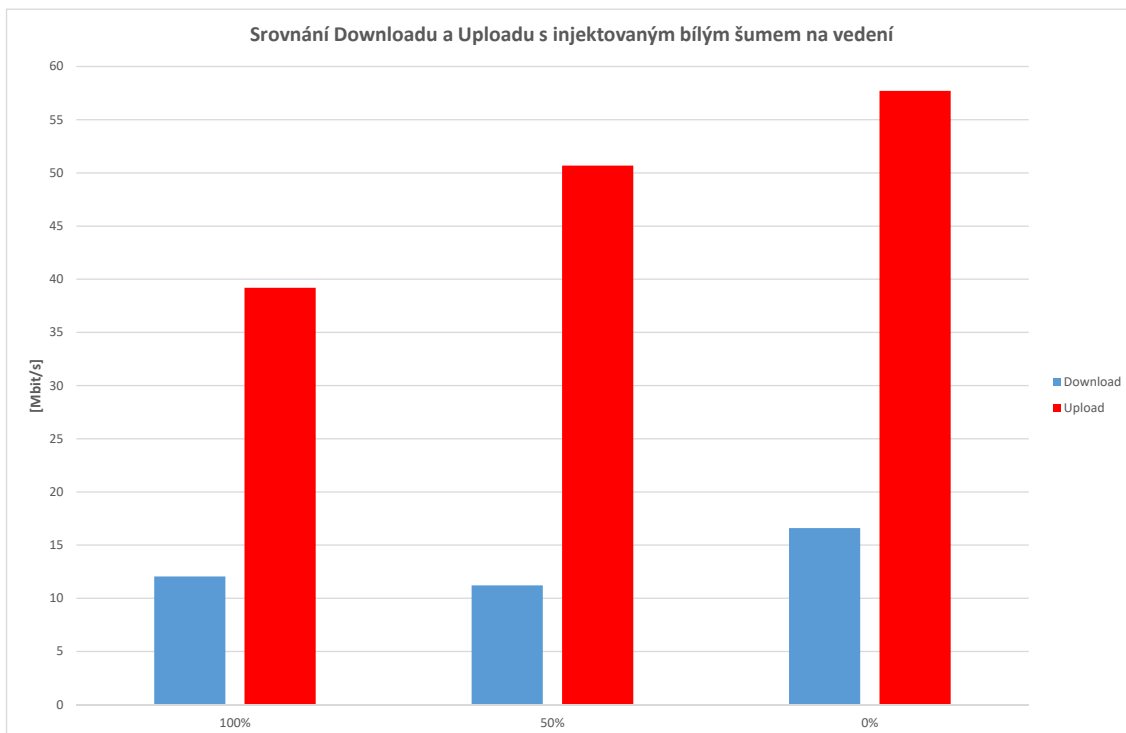
Obr. 4.3: Vliv generátoru bílého šumu na kvalitu přenosu.

4.1.4 Vliv generátoru bílého šumu na přenosovou rychlost a zpoždění signálu

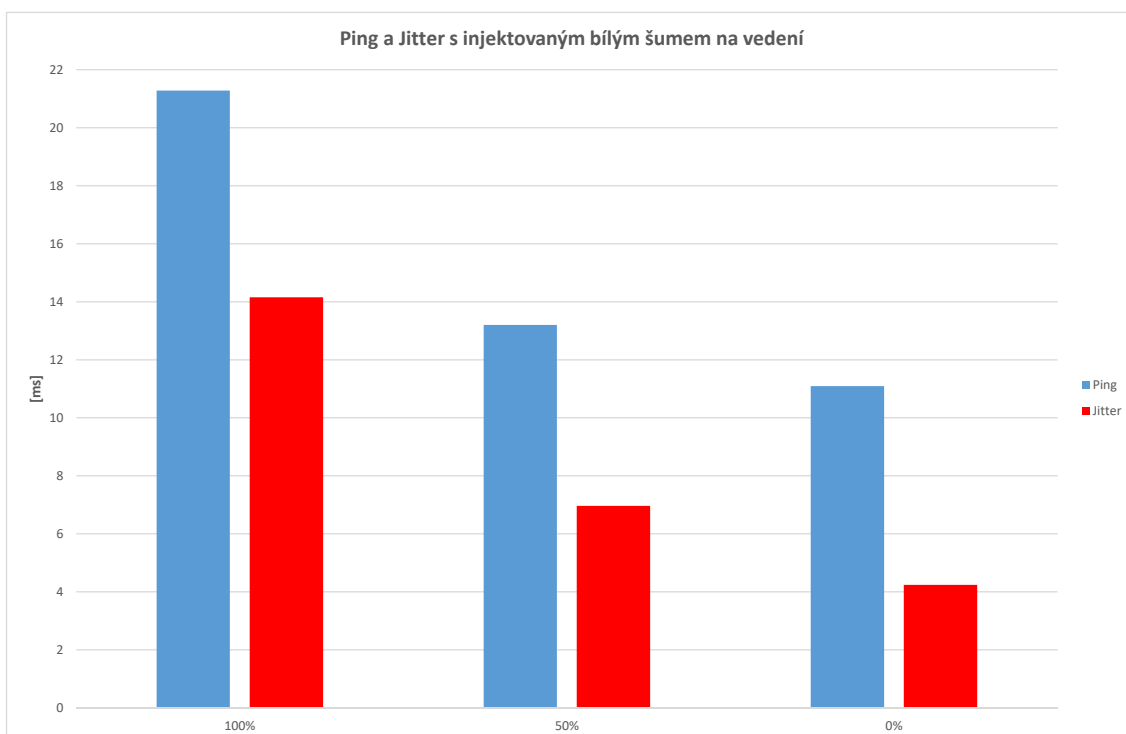
V závislosti na předchozím měření, ve kterém bylo prokázáno, že bílý šum znatelně ovlivňuje kvalitu přenosu, bylo toto měření zaměřeno na konkrétní přenosové rychlosti a zpoždění, viz tabulka 4.3, v závislosti na výkonu generátoru Promax proPower-1. V grafu 4.4 a 4.5 můžeme vidět, že bílý šum výrazně ovlivnil, jak zpoždění tak i přenosové rychlosti. Přenosová rychlost klesala s intenzitou šumu téměř v lineárním průběhu. Toto měření potvrdilo předchozí úvahu o vlivu SNR na parametry přenosu. Čím je menší odstup signálu od šumu, tím je menší i přenosová rychlost. Další měření potvrdilo, že celkové zpoždění signálu i zpoždění mezi jednotlivými pakety se také měnilo s intenzitou generátoru bílého šumu. Čím méně rušení na přenosovém médiu, tím lepší odezva signálu.

Tab. 4.3: Tabulka naměřených hodnot s injektovaným šumem na vedení.

Promax proPower-1 generátor bílého šumu				
	Download[Mbit/s]	Upload[Mbit/s]	PING[ms]	Jitter[ms]
100%	12,04	39,18	21,28	14,15
50%	11,21	50,68	13,21	6,96
0%	16,59	57,72	11,09	4,24



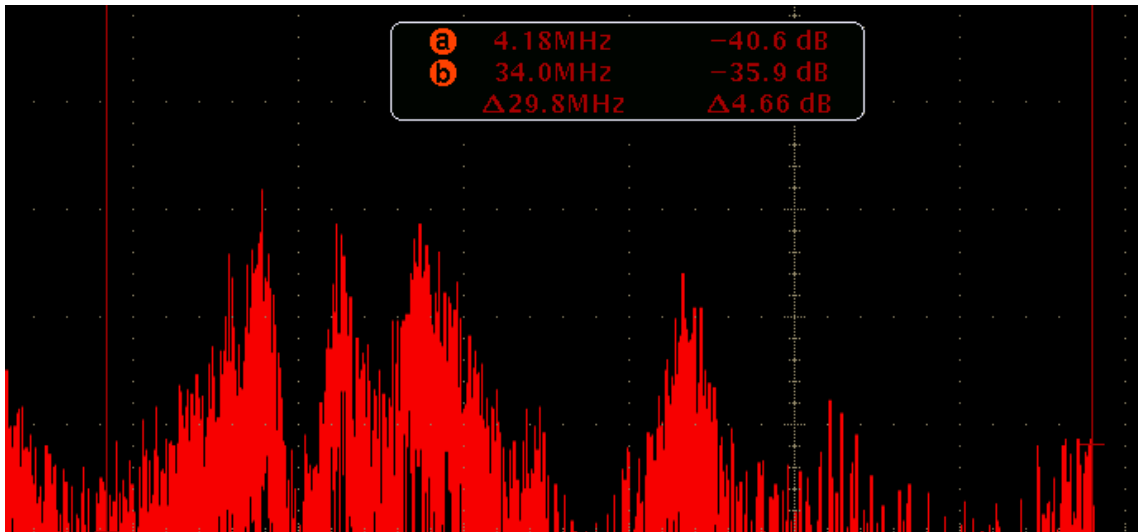
Obr. 4.4: Vliv generátoru bílého šumu na přenosové rychlosti.



Obr. 4.5: Vliv generátoru bílého šumu na zpoždění.

4.1.5 Zobrazení spektra signálu na osciloskopu s funkcí FFT

Posledním cílem měření bylo zobrazení spektra signálu ve zvoleném kmitočtovém pásmu, v tomto případě se jedná o pásmo 4 – 34 MHz. Na osciloskopu byla zapnuta matematická funkce FFT a následně upravena časová osa tak, abychom byli schopni pozorovat celé kmitočtové spektrum a zobrazili v něm jednotlivé nosné, jak je vidět na obrázku 4.6. Z obrázku můžeme zřetelně vidět, že nastavené přenosové pásmo 4 – 34 MHz, které udávají kurzory (a,b), zcela odpovídá průběhu, který se zobrazoval na osciloskopu.



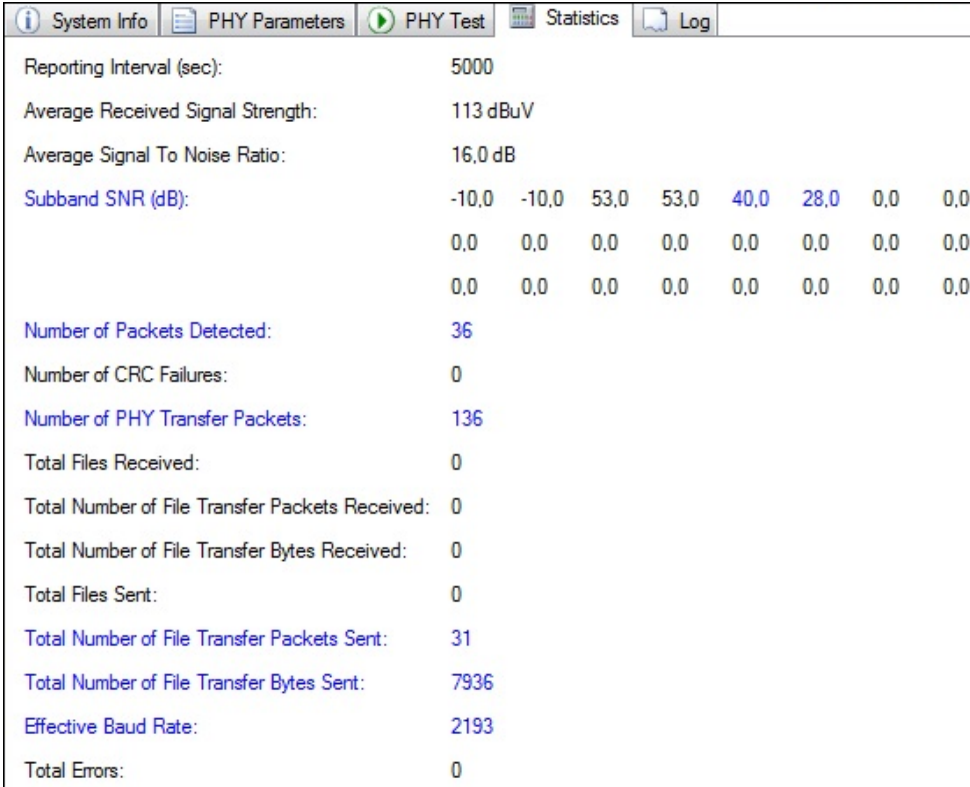
Obr. 4.6: Spektrum signálu zobrazené na osciloskopu.

4.2 Úzkopásmové PLC (NB-HDR)

Toto měření se zaměřuje na úzkopásmovou komunikaci po elektrickém vedení. Pro měření v laboratoři byla použita dvojice PLC modemů TMDSPCKIT-V3 od firmy Texas Instruments. Součástí těchto modemů je i grafické konfigurační rozhraní, pomocí kterého je možno konfigurovat různé parametry přenosu, ale má také základní ovládací a měřicí funkce, jako je posílání textových zpráv či souborů mezi jednotlivými zařízeními a zobrazení průběhů těchto přenosů. Prostředí můžeme rozdělit na dva typy, Zero a Intermediate. Veškeré informace je možno sledovat v sekci „Statistics“. Měření probíhající v tomto rozhraní splňují standardy pro G3 a PRIME komunikaci.

4.2.1 Možnosti záložky Statistics

Veškeré informace o přenosu můžeme sledovat v záložce „statistics“. Nalezneme zde údaje o síle signálu (RSSI), odstupu signálu od šumu (SNR), počtu odeslaných a přijatých paketů, přenosové rychlosti a dalších důležitých parametrech. Záložka „statistics“ se liší na straně přijímače i vysílače, je proto nutné otevřít tuto záložku v každém rozhraní zvlášť.



Reporting Interval (sec):	5000
Average Received Signal Strength:	113 dBuV
Average Signal To Noise Ratio:	16,0 dB
Subband SNR (dB):	-10,0 -10,0 53,0 53,0 40,0 28,0 0,0 0,0
	0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
	0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0 0,0
Number of Packets Detected:	36
Number of CRC Failures:	0
Number of PHY Transfer Packets:	136
Total Files Received:	0
Total Number of File Transfer Packets Received:	0
Total Number of File Transfer Bytes Received:	0
Total Files Sent:	0
Total Number of File Transfer Packets Sent:	31
Total Number of File Transfer Bytes Sent:	7936
Effective Baud Rate:	2193
Total Errors:	0

Obr. 4.7: Informace v záložce Statistics.

4.2.2 Naměřené hodnoty přenosu jednotlivých modulací

Měření probíhalo na dvou modemech, které byly propojeny pomocí prodlužovacího kabelu a každý z nich pak byl připojen pomocí USB ke společnému PC, kde probíhala konfigurace v režimu Intermediate. Naměřené hodnoty můžeme vidět v tabulce 4.4. Na výběr byla vždy jedna ze 4 dostupných modulací (ROBO, BPSK, QPSK, 8PSK). Jelikož v laboratorních podmínkách nebyl přidán do přenosové trasy žádný zdroj rušení a použité modulace jsou vesměs robustního charakteru, nevykazovala ani jedna modulace bitovou či paketovou chybovost (BER, PER). Síla signálu (RSSI) dosahovala dostatečných hodnot a spolu se SNR se její hodnoty téměř neměnily, neboť zapojení úlohy bylo ve všech případech stejné.

Nejzajímavějším parametrem byla přenosová rychlost neboli Bit Rate (BR). Obecně platí, že čím robustnější modulace, tím pomalejší přenos, ale vyšší odolnost vůči rušení. V praxi by se pak například využila modulace ROBO do prostředí s větší pravděpodobností výskytu rušivých vlivů a 8PSK do míst kde je rušení méně, ale je zde potřeba co nejvyšší přenosová rychlost.

Tab. 4.4: Tabulka naměřených hodnot NB-HDR.

	RSSI [dBuV]	SNR [dB]	BER [%]	PER [%]	BR [kbit/s]
ROBO	116	18	0	0	6,48
BPSK	116	15	0	0	25,89
QPSK	116	18	0	0	51,79
8PSK	115	18	0	0	77,69

4.2.3 PHY Test

Jednou z možností, jak proměřit jednotlivé modulační techniky je pomocí nástroje PHY Test, který je součástí konfiguračního rozhraní „Zero Configuration GUI“. Ne zobrazí nám však průběhy, a jsme také limitováni možnostmi nastavení. Jeho výhodou je právě jednoduchost a pro základní seznámení se danou technologií je dostačující. Na obrázku 4.8, můžeme vlevo vidět možnost výběru jedné z modulací a parametry pro vysílač i přijímač, vpravo pak běžící PHY test.

Choose G3 PHY Modulation:

- DROBO
- DBPSK
- DQPSK
- D8PSK

G3 PHY TX Parameters:

TX Band Selection: CENELEC
TMR: NonDesignated
COH: Off
Modulation: DROBO
TX Level: 32
Tone Mask: 0x17 24 FF FF FF FF FF 0F 00 00 00 00 00 00
TX Test Mode: Off

G3 PHY RX Parameters:

RX Band Selection: CENELEC
Block Level Interleaver: Off
AGC: On
GAIN: 12 dB
COH: Off
RX Tone Mask: 0x17 24 FF FF FF FF FF 0F 00 00 00 00 00 00
RX Test Mode: Off

Reporting Interval (sec): 2000
Subband SNR (dB): 24.0 24.0 24.0 24.0 24.0 25.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

Total Packets: 11
Packet Error Rate: 0,00000
Total Number of Bits: 11264
Bit Error Rate: 0,00000
PHY Actual Data Rate: 5632
Packets Since On: 242
FCH CRC Errors: 0

Start G3 PHY Transmit Test

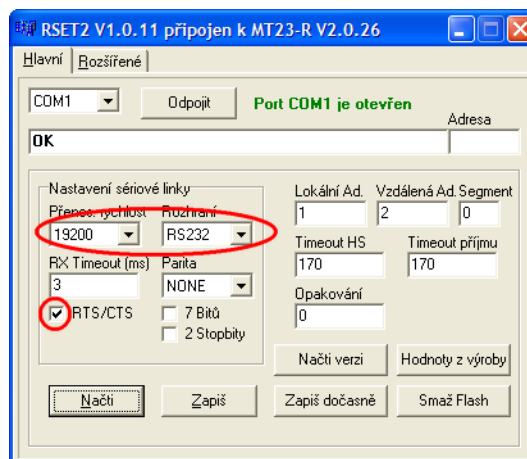
Start G3 PHY Receive Test

Obr. 4.8: Konfigurační rozhraní PHY Test.

4.3 Úzkopásmové PLC (NB-LDR)

Tato úloha se zaměřuje na PLC komunikaci s jednou nosnou neboli NB-LDR. Cílem bylo navázat komunikaci, zjistit přenosové rychlosti, seznámit se s možnostmi konfigurace a zobrazit frekvenční spektrum s primární nosnou. Pro měření byly použity dva modemy od firmy Modemtec s.r.o. Modemy pracují na frekvencích 60 – 145 kHz. Jejich konfigurace probíhá pomocí programu RSET, viz obrázek 4.9, přes sériový port RS 232. Po tomto portu následně probíhá i komunikace mezi PC a modemem, který následně pomocí vazebního členu data ze sériové linky injektuje na elektrické vedení, v tomto případě na vedení nízkého napětí 230V.

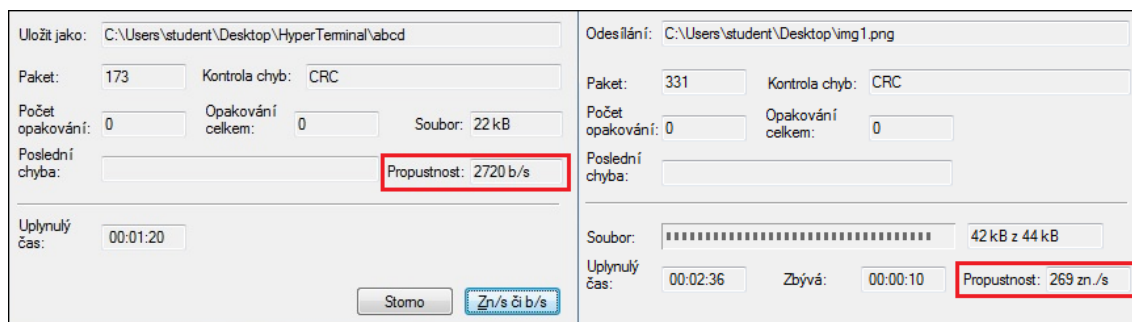
Jejich hlavní výhodou je přenos na velké vzdálenosti pomocí primární jedné nosné, případně sekundární, v případě rušení frekvence primární. Jejich nevýhodou je pak nízká přenosová rychlost v řádech několika kbit/s.



Obr. 4.9: Konfigurační program RSET.

4.3.1 Měření přenosové rychlosti pomocí HyperTerminalu

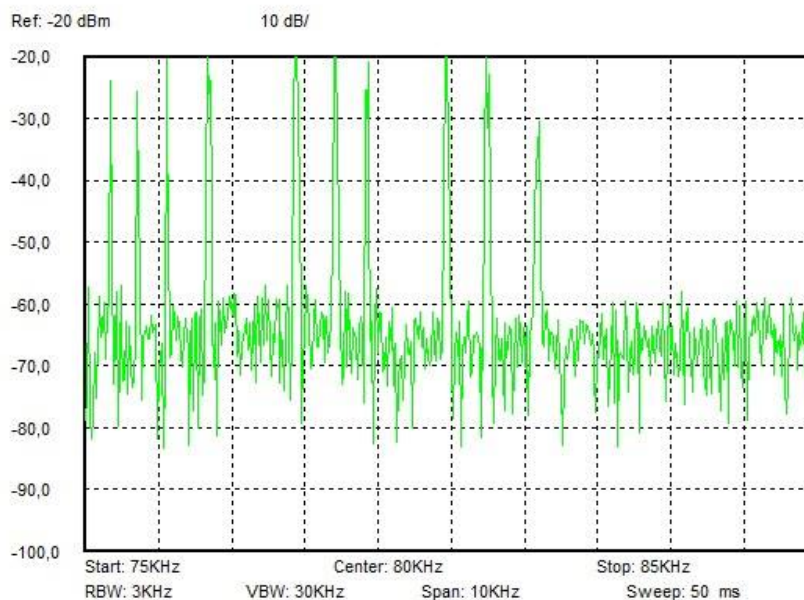
V tomto měření jsme pomocí programu HyperTerminal ověřili přenosovou rychlost těchto úzkopásmových modemů. Měření probíhalo v zapojení na jednom prodlužovacím kabelu, kde byla kromě modemů připojena také diferenční sonda propojena se spektrálním analyzátozem, pomocí kterého jsme byli schopni zobrazit spektrum, na kterém probíhal datový přenos. Na obrázku 4.10 můžeme vidět přenosovou rychlost pro download i upload. Můžeme si také všimnout volby mezi b/s nebo Zn/s, které udává přenosovou rychlost v bitech nebo ve znacích, přičemž ve volbě Zn/s je každý znak kódován 8 bity. Měření probíhalo na několika místech v laboratoři i mimo ni, v prostorách chodby před laboratoří. Komunikace probíhala ve všech případech bezproblémově, čímž se potvrdila vysoká vzdálenost přenosu této technologie.



Obr. 4.10: Přenosová rychlost zobrazená pomocí programu HyperTerminal.

4.3.2 Zobrazení spektra úzkopásmové komunikace na kmitočtu 75 – 85 kHz

Úkolem tohoto měření bylo zobrazit spektrum na kmitočtu 75 - 85 kHz, což je jeden z kmitočtů, na kterém pracuje námi měřený úzkopásmový modem od firmy Modem-Tec s.r.o. Pomocí spektrálního analyzátoru a diferenční sondy METEX MTX 1032-C, která slouží k připojení analyzátoru do silnoproudé sítě, jsme zobrazili „špičky“ signálu přenášených úzkopásmovými modemy. Nejdříve jsme pomocí přiloženého návodu ke spektrálnímu analyzátoru nastavili požadované kmitočtové spektrum, poté jsme pomocí programu Hyper-Terminal začali vysílat znaky a zachytávali jejich průběhy na frekvenčním analyzátoru, viz. obrázek 4.11.



Obr. 4.11: Spektrum signálu zobrazené pomocí spektrálního analyzátoru.

4.4 Testování Smart Metering systémů

Toto měření se zabývalo možnostmi konfigurace a správy inteligentních elektroměrů, zobrazením probíhající komunikace a dobou trvání jednotlivých příkazů nebo požadavků. Každý příkaz nebo požadavek byl několikrát změřen, aby se eliminovala možnost neočekávané chyby, která by mohla ovlivnit výsledky tohoto měření. K zobrazení komunikace byl použit program **Wireshark**, ke zbylým výsledkům pak přímo prostředím NES Element Manager a ADD SIMS client.

Pro přehlednění zpracovaných výsledků je níže uveden chronologický seznam prováděných měření týkající se této kapitoly.

Krátkodobá měření PLC komunikace

- Doba trvání základních příkazů
- Objem přenášených dat pomocí protokolu TCP
- Čtení dat z elektroměru

Vliv vzdálenosti a rušení na kvalitu přenosu PLC

- Měření v laboratoři na krátkou vzdálenost
- Měření v laboratoři na vzdálenost 150 metrů
- Měření v multimediální místnosti s rušením

Výsledky měření z multimediální místnosti

- Obnovení elektroměru po výpadku napájení
- Srovnání modulací DBPSK a D8PSK s rozdílnými výkony

4.4.1 Krátkodobá měření PLC komunikace

Základní konfigurační příkazy

Cílem tohoto měření bylo získání základních znalostí o fungování dvou rozdílných Smart Metering systémů. Pomocí konfiguračních rozhraní byly vyvolávány jednotlivé příkazy z uživatelského PC směrem k datovému koncentrátoru. Měření bylo prováděno na jednofázových elektroměrech dvou různých výrobců. Cílem bylo zjistit dobu potřebnou k vykonání jednotlivých příkazů a analyzovat datový provoz v programu Wireshark.

V tabulce 4.5 můžeme vidět značný rozdíl mezi jednotlivými technologiemi v čase potřebném pro vykonání příkazů. Důvodem tohoto rozdílu je především odlišný princip komunikace, kdy systém NES komunikuje na základě systémové plánovače, v předem daných časových intervalech, zatímco systém ADD tyto příkazy vykonává okamžitě na základě vysoké priority. Tento časový rozdíl bylo možné eliminovat zadáním příkazu „Start communication“ v prostředí NES. Po zadání tohoto příkazu

s vysokou prioritou se příkazy, které čekaly ve frontě, vykonaly do několika sekund. Měření tím potvrdilo, že doba nutná k vykonání základních konfiguračních příkazů je u obou systémů skoro stejná, je však nutné správně ovládat dané konfigurační rozhraní. Publikace [31] zaměřující se na implementaci více jak 100 tisíc Smart metrů využívajících technologii PRIME potvrzuje výsledky tohoto měření, neboť doba nutná pro vykonání požadavku byla 3,39s, což je čas téměř shodný s námi naměřenými hodnotami systému ADD využívajícího stejnou technologii.

Tab. 4.5: Doba trvání základních příkazů.

NES			ADD		
Příkaz	Status	Čas [s]	Příkaz	Status	Čas [s]
Připojení relé	Provedeno	246	Připojení relé	Provedeno	3
Odpojení relé	Provedeno	308	Odpojení relé	Provedeno	3
Připojení zátěže	Provedeno	348	Podsvícení ON	Provedeno	3
Start komunikace	Provedeno	2	Podsvícení OFF	Provedeno	2

Objem přenášených dat pomocí protokolu TCP

Toto měření se zabývalo velikostí přenášených dat v TCP streamu pro základní ovládací příkazy. Důležitost těchto dat se využije především, pokud je elektroměr nebo datový koncentrátor vybaven LTE modulem, díky kterému je možné vzdálené ovládání. Pro měření byl použit program Wireshark, s možností zobrazení konkrétních paketů nebo celého streamu.

V tabulce 4.6 můžeme vidět srovnání velikostí jednotlivých příkazů. Systém ADD využívající protokol PRIME vykazuje několikrát větší objem datové přenosu, což je dáno strukturou dat DLMS a vysokou režíí přenosu [32]. Pro každý z těchto dotazů bylo provedeno několik stejných měření, přičemž bylo zjištěno, že v některých případech se objem dat mírně lišil, což mohlo být způsobeno například zpětným dočítáním chybějících hodnot z elektroměru.

Tab. 4.6: Velikost přenášených dat jednotlivých příkazů.

NES		ADD	
Příkaz	TCP stream [kB]	Příkaz	TCP stream [kB]
Připojení relé	0,841	Připojení relé	5,98
Odpojení relé	0,838	Odpojení relé	5,98
Připojení zátěže	0,916	Podsvícení ON	3,86
Start komunikace	0,585	Podsvícení OFF	2,89

Čtení dat z elektroměru

Tato část se zaměřuje na možnost čtení dat z elektroměrů. Pro měření byly opět použity jednofázové elektroměry. Čtení dat z elektroměru se provádí v konfiguračním rozhraní. Požadavky byly vybírány tak, aby byly společné pro oba systémy a mohlo tak proběhnout co nejpřesnější porovnání dvou technologií. Před samostatným čtením je nejprve nutné vybrat požadovaný elektroměr z aktuálně připojených zařízení, následně vybrat libovolný počet požadavků na čtení dat z výběrového menu a tento výběr potvrdit. Cílem bylo zjistit, jak dlouho se budou jednotlivé požadavky vykonávat a jak velký bude datový přenos.

Výsledky měření zobrazuje tabulka 4.7. První tři naměřené hodnoty se zaměřují na samostatné požadavky, poslední z měřených hodnot „Power Quality“ je kombinací více dílčích požadavků, konkrétně těchto: Active Energy Import, Active Energy Export, Frequency, Battery Voltage a Nominal Voltage. Na základě měření bylo zjištěno, že systém ADD vykonával požadavky rychleji, avšak velikost přenášených dat byla vyšší z důvodů popsaných v předchozím měření.

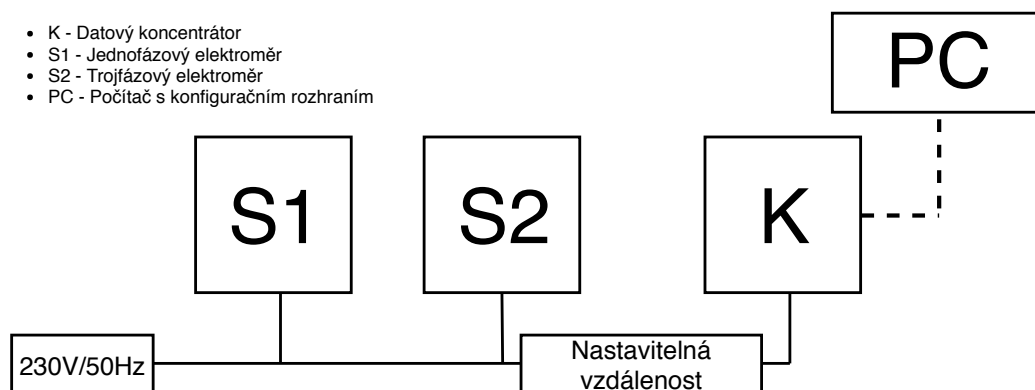
Jelikož ani jeden systém nenabízí nástroj pro sledování přenosové rychlosti, můžeme se odkázat na tabulku 4.4 z předchozího měření, podle které lze určit orientačně přenosové rychlosti systému ADD pro jednotlivé modulace a obrázek 4.10 ukazující možnou přenosovou rychlost systému NES vzhledem k použité technologii.

Tab. 4.7: Velikost přenášených dat jednotlivých požadavků.

Požadavek	NES		ADD	
	Čas [s]	TCP stream [kB]	Čas [s]	TCP stream [kB]
Local Date Time	5	0,937	6	6,032
Active TOU	9	1,517	7	4,401
Firmware Version	11	0,709	6	5,905
Power Quality	11	0,928	13	13,103

4.4.2 Vliv vzdálenosti a prostředí na přenos PLC

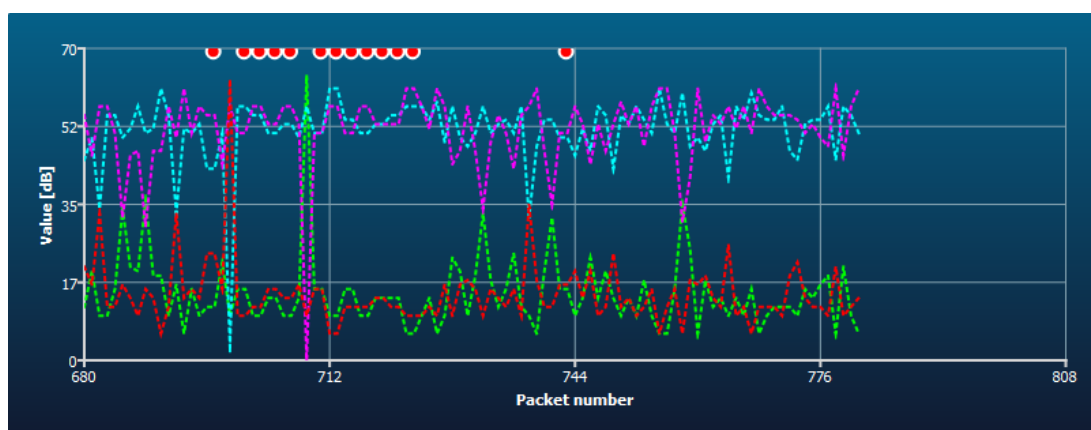
Cílem této části bylo ověřit, jak se projeví změna vzdálenosti mezi koncentrátorem a daným elektroměrem. Jelikož systém NES využívá pouze jedinou modulaci BPSK a nelze u něj měnit vysílací výkon, bude se tato část věnovat pouze systému společnosti ADD, který umožňuje měnit až tři dostupné modulace a také vysílací výkon. Pro měření byla zvolena topologie, kterou můžeme vidět na obrázku 4.12. Součástí jednotlivých měření jsou také zachycené průběhy odstupů signálu od šumu pořízené nástrojem pro měření SNR.



Obr. 4.12: Schéma zapojení elektroměrů.

Měření v laboratoři na krátkou vzdálenost

První měření probíhalo v laboratoři při zapojení koncentrátoru a elektroměrů na vzdálenost menší než jeden metr. Na tuto vzdálenost se nijak neprojeví změny modulací a samotný přenos byl bezproblémový. Na obrázku 4.13 můžeme vidět průběh naměřeného SNR na dané přenosové trase, který byl v průměru 52,9 dB. Platí, že čím vyšší je odstup signálu od šumu, tím lepší je i kvalita samotného přenosu. Červené body v průběhu znázorňují IP datagramy, které byly ztraceny například z důvodu rušení jiným přístrojem zapojeného na stejné přenosové trase. Tyto krátkodobé výpadky jsou vždy doprovázeny strmým poklesem SNR.

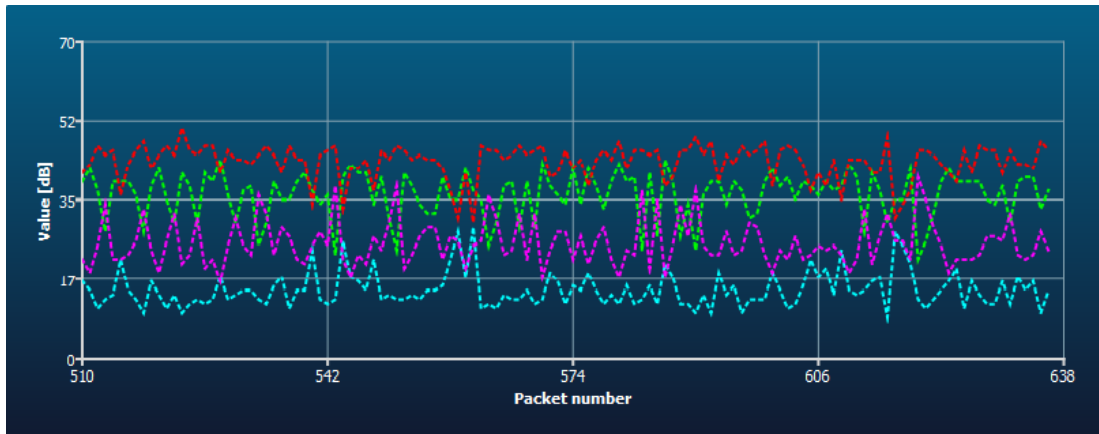


Obr. 4.13: Průběh SNR laboratoř krátká vzdálenost.

Měření v laboratoři na vzdálenost 150 metrů

Druhé měření probíhalo v laboratoři při zapojení koncentrátoru a elektroměrů na vzdálenost 150 m, přičemž 100 m tvořily prodlužovací kabely a zbylých 50 m pak zásuvkový obvod v prostorách před laboratoří. Ani na tuto vzdálenost se nijak neprojeví změny modulací a naměřené hodnoty se jen velice nepatrně lišily od pře-

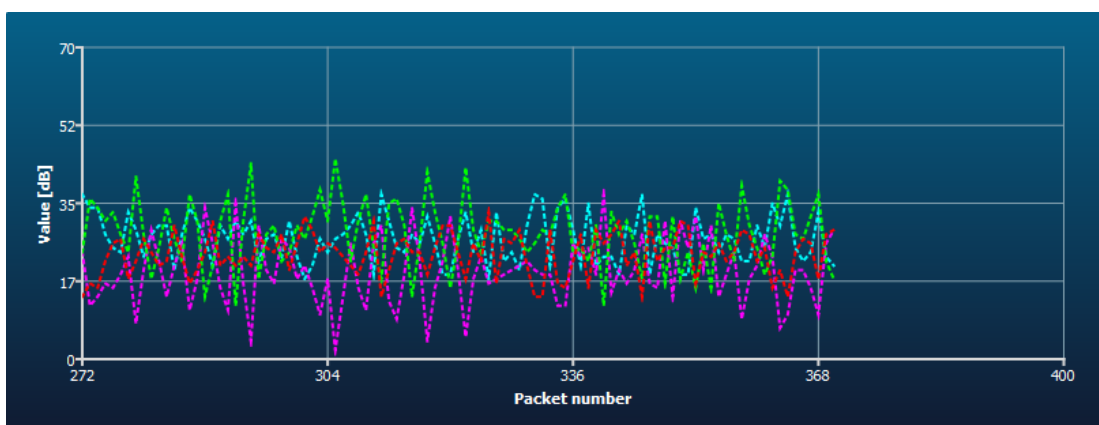
dešlého měření. Na obrázku 4.14 pak můžeme vidět průběh naměřeného SNR na prodloužené přenosové trase, který byl znatelně nižší než v předchozím měření, v průměru 25,6 dB. Nebyly zaznamenány žádné ztracené IP datagramy, což bylo zapříčiněno především tím, že na dané přenosové trase nebyly připojeny žádné další přístroje.



Obr. 4.14: Průběh SNR na vzdálenost 150 m.

Měření v multimediální místnosti s rušením

Poslední z měření probíhalo v multimediální místnosti. Díky velkému množství připojených zařízení do rozvodné soustavy jako jsou spínané zdroje, televizní obrazovky a další, byly v této místnosti hodnoty SNR v průměru 19,9 dB s častými výpadky. Na obrázku 4.15 můžeme vidět průběh s velice častými poklesy SNR, což mělo za následek výše zmiňované výpadky. Na základě tohoto měření byla v této místnosti realizována další dvě měření, kterým se věnuje kapitola 4.4.3, neboť se zde mohly nejvíce projevit vlastnosti jednotlivých modulací a nastaveného vysílacího výkonu.



Obr. 4.15: Průběh SNR v multimediální místnosti.

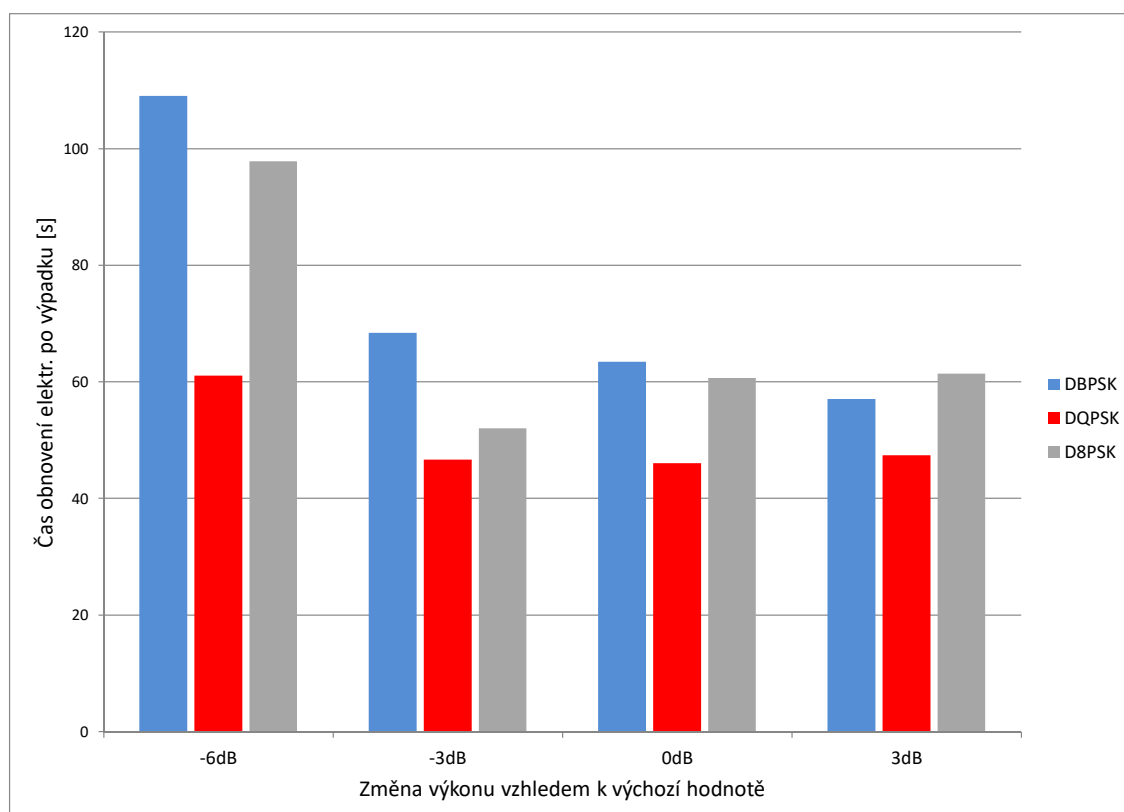
4.4.3 Výsledky měření z multimediální místnosti

Obnovení elektroměru po výpadku napájení

V grafu 4.16 můžeme vidět závislost použité modulace a měnícího se vysílacího výkonu na času obnovení elektroměru po výpadku napájení. Hodnota výkonu se nastavovala zvyšováním nebo snižováním výkonu vzhledem k výchozí hodnotě dané výrobcem, není výrobcem uváděna. Pro každý sloupec z grafu bylo provedeno pět měření, tyto hodnoty byly následně zprůměrovány a vyneseny do grafu.

S rostoucím výkonem se snižovala doba potřebná pro obnovení komunikace. Nejpomaleji navázání komunikace probíhalo u dvoustavové modulace s nejnižším možným vysílacím výkonem, konkrétně 109 s, naopak jako nejrychlejší, a v daných podmínkách nejstálejší, se ukázala čtyřstavová modulace DQPSK s nejnižším dosaženým časem obnovení 46 s. U modulace D8PSK se projevil vliv rušení, díky kterému byla ve většině případů pomalejší než méněstavová modulace DQPSK.

Na základě naměřených hodnot bylo zjištěno, že v reálném provozu by se jako nejvhodnější modulace použila DQPSK, která vykazovala velice stále výsledky i při změnách výkonu a v prostředí multimediální místnosti, viz 4.15, ve které bylo zjištěno velice malé SNR s častými výpadky komunikace.



Obr. 4.16: Obnovení elektroměru po výpadku v závislosti na modulaci a výkonu.

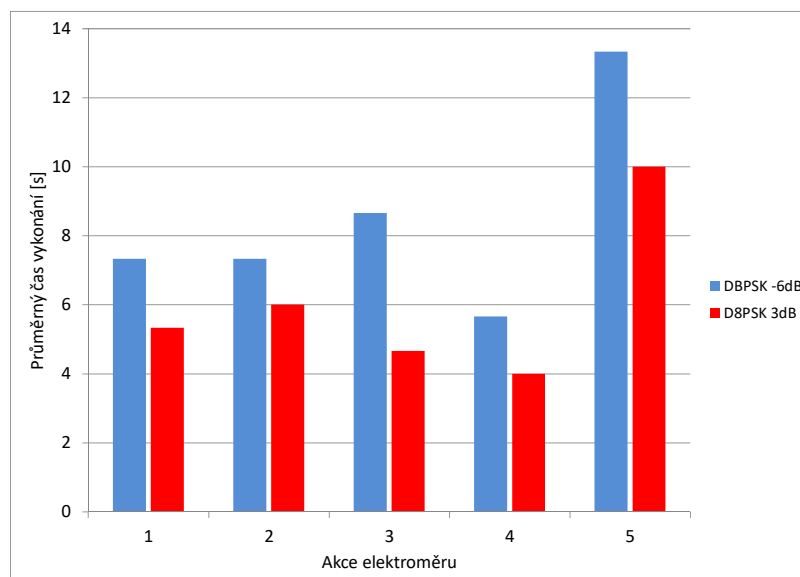
Srovnání modulací DBPSK a D8PSK s rozdílnými výkony

Toto měření se zaměřuje na srovnání DBPSK modulace s nejnižším nastavitelným vysílacím výkonem a D8PSK modulace s nejvyšším možným nastavitelným výkonem. Tímto srovnáním byl dosažen největší možný rozdíl mezi přenosovými rychlostmi, respektive dobou nutnou pro vykonání požadavků. Jednotlivé příkazy vykonávané v rámci měření a použité v grafu 4.17 můžeme vidět v tabulce 4.8.

Tab. 4.8: Příkazy vykonávané v rámci měření.

	DBPSK -6dB	D8PSK 3dB
Akce elektroměru	Čas [s]	Čas [s]
1 Připojení elektroměru	7,3	5,3
2 Odpojení elektroměru	7,3	6,0
3 Podsvícení ON	8,7	4,7
4 Podsvícení OFF	5,7	4,0
5 PowerQuality	13,3	10,0

V grafu 4.17 můžeme vidět, že modulace D8PSK vykazovala rychlejší datový přenos ve všech provedených měřeních v průměru o 28,81%, což potvrdilo námi předpokládané výsledky, jelikož se jedná o vícestavovou modulaci, která je schopná přenášet větší objem dat. Takto malé rozdíly v časech vykonávání požadavků jsou však zanedbatelné, neboť důležité u těchto systémů je především, zda se požadavek vykonal správně. Měření tedy prokázalo, že změna modulací a výkonu nemá na **spolehlivost komunikace** žádný vliv.



Obr. 4.17: Srovnání DBPSK a D8PSK s rozdílnými výkony.

4.5 Metodika testování Smart Metering systémů

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat metodiku měření dvou reálných Smart Metering systémů. Bylo nutné vybrat taková měření, která byla proveditelná v laboratorním prostředí a s dostupnými zařízeními. Jednotlivá měření byla převzata z kritérií veřejné zakázky E.ON Distribuce, a.s. [33].

Metodika testování byla rozdělena na několik základních částí: **základní testy funkčnosti, reakce na nestandardní situace, výpadek komunikace, topologické změny, dlouhodobé testy funkčnosti**. V těchto částech pak byla testována různá kritéria Smart Metering systému, podle postupu uvedeného u každého testu a jsou zde také výsledky podle daných kritérií příslušného měření. Některé z testů nemohly být realizovány především z důvodu absence příslušného hardwaru či softwaru (FW upgrade, Výměna koncentrátoru, TOU tabulky - základní nastavení). V publikaci [34] je popsána obdobná metodika testování s popisem testovaných kritérií, bohužel však bez výsledků testování.

Na konci kapitoly pak bude uveden závěrečný souhrn, na základě kterého bude zhodnocen výsledek měření a rozhodnuto, který ze dvou systémů je na základě dané metodiky lepší.

Pro přehlednost je níže uveden chronologický seznam prováděných testů.

Základní testy funkčnosti

- Test číslo 1.1 - Testování datového přenosu z elektroměru přes koncentrátor do odečtové (datové) centrály.
- Test číslo 1.2 - Synchronizace času - zimní a letní čas.
- Test číslo 1.3 - Externí synchronizace času přes centrálu.
- Test číslo 1.4 - Synchronizace času koncentrátoru přes NTP.
- Test číslo 1.5 - Breaker/odpínač.
- Test číslo 1.6 - Třífázový elektroměr - testování odpojení vodičů.

Reakce na nestandardní situace

- Test číslo 2.1 - Ochrana elektroměru - alarmy na nestandardní události.

Výpadek komunikace

- Test číslo 3.1 - Testování koncentrátoru - přeposílání dat centrále po výpadku komunikace.

Topologické změny

- Test číslo 4.1 - Nový elektroměr.
- Test číslo 4.2 - Změna stavu elektroměru.

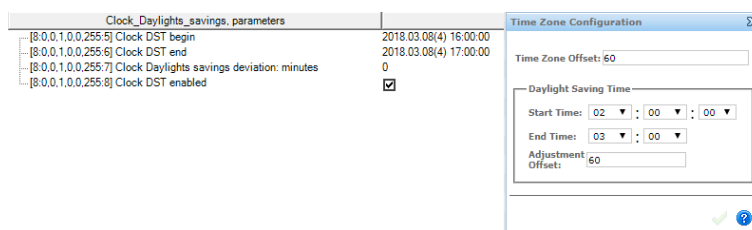
Dlouhodobé testy funkčnosti

- Test číslo 5.1 - 24 hodinový test dostupnosti.
- Test číslo 5.2 - Dlouhodobý test funkčnosti - 72 hodinový test.

4.5.1 Základní testy funkčnosti

Test číslo	1.1	Název	Testování datového přenosu z elektroměru přes koncentrátor do odečtové (datové) centrály
Popis a postup	Testování dálkového sběru dat: <ul style="list-style-type: none"> • Vyčtení dat a parametrizace vzdáleně na požádání přes datový kanál v centrále. 		
Kritéria (ano/ne)	Jsou přijatá data a parametrizace přes datový kanál stejná jako vyčtená data z elektroměru?		
Výsledek	ADD - Vyčtená data a parametrizace jsou totožná s přijatými. NES - Vyčtená data a parametrizace jsou totožná s přijatými.		

Test číslo	1.2	Název	Synchronizace času - zimní a letní čas
Popis a postup	Systém by měl umět nastavit, kdy dojde k změně času (letní/zimní). Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Vzdáleně nastavit změnu času na poslední neděli v březnu. • Změnit datum na poslední neděli v březnu a čas na 01:45. • Vyčkat do změny 02:00 → 03:00 a prověřit provedení změny. 		
Kritéria (ano/ne)	Došlo ke změně zimního času na letní?		
Výsledek	ADD - Nedošlo ke změně zimního času na letní. NES - Ano, došlo ke změně zimního času na letní.		



Obr. 4.18: Nastavení změny zimního na letní čas u systémů ADD a NES.

Test číslo	1.3	Název	Externí synchronizace času přes centrálu
Popis a postup	<p>Elektroměr musí být schopen provést synchronizaci času na základě příkazu z odečtové centrály či odečtového SW.</p> <p>Hodiny reálného času (RTC) musí být možno synchronizovat prostřednictvím: ručního terminálu, parametrizačního SW, odečtové (datové) centrály.</p> <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Změna času elektroměru pomocí parametrizačního SW o 10 minut. • Vyžádat synchronizaci času elektroměru na centrále a ověření synchronizace času elektroměru s centrálou. 		
Kritéria (ano/ne)	Došlo k synchronizaci času elektroměru s centrálo, kde za synchronizovaný čas je považován čas nelišící se o více jak 20s.		
Výsledek	<p>ADD - Čas elektroměru nelze změnit, synchronizace s centrálou neproběhla.</p> <p>NES - Čas elektroměru byl změněn, synchronizace s centrálou neproběhla.</p>		

Test číslo	1.4	Název	Synchronizace času koncentrátoru přes NTP
Popis a postup	<p>Koncentrátor by měl automaticky synchronizovat čas přes NTP protokol.</p> <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nastavení synchronizace času z NTP serveru. • Odpojit koncentrátor od napájení na 5 minut. • Připojit koncentrátor k napájení. 		
Kritéria (ano/ne)	Došlo k synchronizaci času koncentrátoru pomocí NTP protokolu?		
Výsledek	<p>ADD - Došlo k synchronizaci na rozhraní, nikoli však na samotném displeji koncentrátoru.</p> <p>NES - Nepodporuje synchronizaci pomocí NTP protokolu.</p>		

Test číslo	1.5	Název	Breaker / Odpínač
Popis a postup	<p>Odečtová centrála by měla umět povolit/zakázat lokální a vzdálené odpojení elektroměru a dálkové uvolnění tlačítka a připojení elektroměru místně.</p> <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nastavit možnost vzdáleného odpojení a zakázat lokální zapojení/odpojení elektroměru. • Vzdáleně odpojit elektroměr. • Pokusit se lokálně zapojit elektroměr. • Vzdáleně nastavit možnost lokálního zapnutí a elektroměr zapnout lokálně. 		
Kritéria (ano/ne)	Došlo k požadovaným nastavením/konfiguraci zapojení/odpojení elektroměru vzdáleně či lokálně?		
Výsledek	<p>ADD - Elektroměr lze odpojit/zapojit pouze vzdáleně.</p> <p>- Provedení povelu odpojení/zapojení elektroměru trvalo několik sekund.</p> <p>NES - Elektroměr lze odpojit/zapojit vzdáleně i lokálně.</p> <p>- Provedení povelu trvalo několik sekund po zadání povelu "Start Communication".</p> <p>-Po zakázání lokálního připojení nešlo připojit elektroměr lokálně, při povolení této možnosti ano.</p>		

Test číslo	1.6	Název	Třífázový elektroměr - testování odpojení vodičů
Popis a postup	<p>Třífázový elektroměr by měl fungovat a zaznamenat událost při chybějící jedné nebo dvou fází.</p> <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Odpojit fázový vodič • Zaznamenat událost o odpojení vodiče v daném čase. • Vyzkoušet zda elektroměr stále funguje, provést odečet. • Zaznamenat událost o odpojení vodiče v daném čase. • Provést test s odpojením dvou fázových vodičů. 		
Kritéria (ano/ne)	Funguje elektroměr po odpojení fázového či fázových vodičů? Zaznamenal elektroměr událost o odpojení/zapojení vodiče, se správným časovým razítkem?		
Výsledek	<p>ADD - Elektroměr po odpojení fázových vodičů funguje.</p> <p>- Událost odpojení zaznamenána v alarmech.</p> <p>NES - Elektroměr po odpojení fázových vodičů funguje.</p> <p>- Událost o odpojení nezaznamenána v centrále.</p>		

4.5.2 Reakce na nestandardní situace

Test číslo	2.1	Název	Ochrana elektroměru - alarmy na nestandardní události
Popis a postup	Testování sejmutí krytu elektroměru (pokud konstrukce dovoluje). Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Naparametrovat elektroměr na zápis těchto logů. • Odstranit kryt elektroměru a zaznamenat čas odstranění. • Zpátky nasadit kryt elektroměru. • Zkontrolovat navázání spojení s elektroměrem. 		
Kritéria (ano/ne)	Jsou po vyčtení v deníku událostí zaznamenávány události sejmutí krytu? Byly tyto události zobrazeny na displeji po dobu trvání?		
Výsledek	ADD - Událost sejmutí krytu zaznamenána v alarmech. - Událost zobrazena na displeji elektroměru. NES - Událost sejmutí krytu zaznamenána v logu elektroměru. - Událost zobrazena na displeji elektroměru.		

End of Billing Cycle Billing Data Available	18-05-03 00:16:41
Device Continuous Delta Load Profile Data Available Data	18-05-02 19:04:23
Device Tamper Detected	18-05-02 16:22:30
Device Access Lockout Override	18-05-02 16:22:30
Gateway Detected Device Phase Inversion	18-05-02 16:00:03
✔ StrongDCField_Cur	No
✘ TerminalCover	Opened
✔ TerminalCover_Cur	Closed
✘ UnderLimitVoltageL1Sag1	Yes
✘ UnderLimitVoltageL1Sag2	Yes
✘ UnderLimitVoltageL1Sag3	Yes

Obr. 4.19: Událost sejmutí krytu u systému NES a ADD.

4.5.3 Výpadek komunikace/napájení

Test číslo	3.1	Název	Testování koncentrátorů - přeposílání dat centrále po výpadku komunikace
Popis a postup	<p>Elektroměr musí být schopen dodat naměřená data do odečtové centrály. Elektroměr musí být schopen dodat naměřená fakturační data do odečtové centrály.</p> <p>Elektroměr má mít schopnost uchovávat data 90 dní.</p> <p>Elektroměr by měl být schopný zaslat chybějící data po výpadku komunikace s centrálou během pravidelného odečtu.</p> <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Odpojit komunikaci mezi koncentrátorem a centrálou. • Znova zapojit komunikaci po 36 hodinách. 		
Kritéria (ano/ne)	<p>Po znovu zapojení komunikace je elektroměr schopný zaslat chybějící data do centrály či odečtového SW?</p> <p>Byla přijata všechna chybějící data, nebyla žádná data zahozena?</p>		
Výsledek	<p>ADD - Po obnovení komunikace elektroměr zaslal všechna data do odečtové centrály.</p> <p>NES - Po obnovení komunikace elektroměr zaslal všechna data do odečtové centrály.</p>		

Name		Date
Device Delta Load Profile		18-05-22 13:00:25
Device Delta Load Profile		18-05-22 07:01:47
Device Delta Load Profile		18-05-22 01:01:01
Device End of Cycle Billing Data		18-05-22 00:00:24

Filters: Full data No data Part. data Subscribe				
#	Date:	13.ActiveEnergyExport	23.ActiveEnergyImport	107.InstCurrentL1
2	5/18/2018	15m/D	15m/D	15m
3	5/19/2018	15m/D	15m/D	15m
4	5/20/2018	15m/D	15m/D	15m
5	5/21/2018	15m/D	15m/D	15m

Obr. 4.20: Zasílání dat po výpadku komunikace u systému NES a ADD.

4.5.4 Topologické změny

Test číslo	4.1	Název	Nový elektroměr
Popis a postup	Koncentrátor by měl být schopný automaticky objevovat nové elektroměry. Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Připojení nového elektroměru a záznam času připojení. • Ověření detekce nového elektroměru v centrále a záznam času. 		
Kritéria (ano/ne)	Je centrála schopna automaticky detekovat nový elektroměr do 15 minut pro neparаметrované elektroměry a do 6 hodin pro parametrované elektroměry? Jaký je čas od připojení po detekci na centrále?		
Výsledek	ADD - Cyklicky hledá nové elektroměry každých 6 hodin. NES - Elektroměr detekován po 7 hodinách.		

Test číslo	4.2	Název	Změna stavu elektroměru
Popis a postup	Centrála by měla být schopná automaticky detekovat změnu stavu elektroměrů a koncentrátorů - online/offline. Stav offline znamená, že není elektroměr/koncentrátor dostupný. Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Odpojení elektroměru/koncen., který byl centrálou rozpoznán. • Ověření změny stavu elektroměru/koncen. v centrále - offline. • Připojení odpojeného elektroměru/koncentrátoru. • Ověření změny stavu elektroměru/koncen. v centrále - online. 		
Kritéria (ano/ne)	Je centrála schopna automaticky detekovat stav elektroměru a koncentrátoru (online/offline)?		
Výsledek	ADD - Centrála není schopna detekovat stav online/offline připojených zařízení. NES - Centrála je schopna detekovat změnu stavu elektroměru i koncentrátoru. Detekce na centrále trvala po znovu připojení 7 minut u elektroměru a 15 minut u koncentrátoru.		

4.5.5 Dlouhodobé testy funkčnosti

Test číslo	5.1	Název	24 hodinový test dostupnosti
Popis a postup	Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Zapsat seznam připojených elektroměrů k centrále. • Ověřovat stav připojených elektroměrů v centrále po 1 hodině • Každou hodinu provést vzdálený odečet stavů registrů a dat profilů v online režimu na požádání. 		
Kritéria (ano/ne)	Byly všechny elektroměry dostupné po 24 hodin? Byly veškeré odečteny na požádání přeneseny správně? Nejpozději do 6 hodin po provedení posledního odečtu.		
Výsledek	ADD - Všechny elektroměry byly dostupné po 24 hodin. -Část odečtů byla přenesena neúplně. NES - Všechny elektroměry byly dostupné po 24 hodin. -Všechny odečty byly přeneseny správně.		

Test číslo	5.2	Název	Dlouhodobý test funkčnosti - 72 hodinový test všech 10 elektroměrů
Popis a postup	Elektroměr musí být schopen dodat naměřená data do odečtové centrály či odečtového SW. Elektroměr by měl být schopný zaslat data do centrály a odečtového SW při pravidelném odečtu v 0:00 hodin. Postup: <ul style="list-style-type: none"> • Parametrizace všech elektroměrů pro dálkový sběr dat v 00:00 hodin. 		
Kritéria (ano/ne)	Bylo ze 100% elektroměrů odečteno 100% dat do 6:00 hodin v každém testu?		
Výsledek	ADD - Odečet proběhl každý den, bez časového razítka. NES - Každý den proběhl odečet do 1 minuty, od zahájení odečtu.		

4.5.6 Souhrn výsledků metodiky testování

V tabulce 4.9 můžeme vidět přehledný souhrn výsledků vykonávaných měření v rámci stanovené metodiky. Pro přehlednost jsou zde uvedeny vysvětlivky pro výsledky testů v závislosti na daných kritériích:

- **S - Splněno**
- **N - Nesplněno**
- **Č - Částečně splněno**

V prováděných testech dopadl lépe systém NES, který dosáhl 75% úspěšnosti, oproti systému ADD, jenž dosáhl 50% úspěšnosti. Ve výsledcích jsou zahrnuty také částečně splněné testy, kdy systém byl schopen splnit pouze část požadovaných kritérií. Pro účely této práce je tato informace vhodná, ale při reálné aplikaci těchto systémů by se částečně splněná kritéria považovala za nesplněná.

Závěrem lze tedy říci, že vhodnějším systémem pro aplikaci do reálného prostředí je dle prováděné metodiky systém NES. V kapitole **Krátkodobá měření PLC komunikace** systém NES sice dosahoval nepatrně delších časů pro čtení dat z elektroměru, důležité však je, že bylo vše správně vykonáno. Jedním z důležitých faktorů je také přehlednost uživatelského prostředí, který je u systému NES řešen přehledněji a uživatelsky přívětivěji, a proto konfigurace nutná pro vykonávání testů trvala znatelně kratší dobu než u systému ADD.

Tab. 4.9: Výsledky metodiky testování dvou reálných Smart Metring systémů.

Test	Název testu	Výsledky:	
		ADD	NES
1.1	Testování datového přenosu z elektroměru přes koncentrátor do odečtové (datové) centrály.	S	S
1.2	Synchronizace času - zimní a letní čas.	N	S
1.3	Externí synchronizace času přes centrálu.	N	Č
1.4	Synchronizace času koncentrátoru přes NTP.	Č	N
1.5	Breaker/odpínač.	Č	S
1.6	Třífázový elektroměr - testování odpojení vodičů.	S	Č
2.1	Ochrana elektroměru - alarmy na nestandardní události.	S	S
3.1	Testování koncentrátoru - přeposílání dat centrále po výpadku komunikace.	S	S
4.1	Nový elektroměr.	S	S
4.2	Změna stavu elektroměru.	N	S
5.1	24 hodinový test dostupnosti.	Č	S
5.2	Dlouhodobý test funkčnosti - 72 hodinový test.	S	S

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo získání základních znalostí o problematice PLC, porovnání jednotlivých typů této technologie, určení výhod a nevýhod jednotlivých PLC technologií.

Na základě vypracované teorie a návodů k laboratorním úlohám předmětu Vyšší techniky datových přenosů byla realizovaná sada měření. První z měření se zabývalo širokopásmovou PLC technologií, která poskytuje přenosové rychlosti řádově desítky až stovky Mb/s, ale má kratší komunikační dosah a horší odolnost vůči rušení. Toto měření potvrdilo veškeré aspekty tohoto typu přenosu. Při zapojení na společné zásuvkové liště a zásuvce na vedlejším stole byly přenosové rychlosti výrazně vyšší, než při měření na vzdálenějších zásuvkách na chodbě, kde už se výrazně projeví limity komunikačního dosahu. Dále byla testována odolnost vůči rušení pomocí generátoru bílého šumu PROMAX ProPower-1, který byl zapojen ve společné topologii mezi jednotlivé modemy a výrazně ovlivnil parametr SNR a s tím spojené přenosové rychlosti a zpoždění. Posledním bodem bylo zobrazení spektra signálu na osciloskopu s funkcí FFT, kde nastavené přenosové pásmo 4-34 MHz přesně odpovídalo zobrazenému frekvenčnímu spektru na osciloskopu.

Další z měření se zabývalo úzkopásmovou technologií s vysokou datovou rychlostí. Cílem bylo především seznámení se s konfiguračním prostředím a jeho možnostmi a změření parametrů přenosu při použití několika typů modulací. Jednotlivé přenosové rychlosti a s nimi spojené parametry vyšly podle očekávání a teoretických předpokladů.

Třetí měření ze sady laboratorních úloh bylo zaměřeno na úzkopásmovou technologii s nízkou datovou rychlostí. Naměřené přenosové rychlosti i komunikační dosah plně odpovídal tomuto typu přenosu, stejně jako spektrum signálu zobrazené na kmitočtech 75 - 85 kHz. Výstupem tohoto měření byly základní poznatky o tomto způsobu přenosu, které byly následně užitečné pro měření inteligentních elektroměrů.

Poslední část práce se zabývala realizací sady krátkodobých měření dvou reálných Smart Metering systémů a návrhem metodiky testování, s cílem rozhodnout, který ze dvou systémů je dle autora vhodnější. Nejprve proběhlo měření zabývající se dobou nutnou pro vykonání jednotlivých konfiguračních příkazů a objemem přenášených dat, které prokázalo, že doba nutná pro vykonání těchto příkazů je několik sekund u obou systémů, při správném nastavení konfiguračního rozhraní. Objem přenášených dat se výrazně lišil v závislosti na použité technologii. Obdobně probíhalo i další měření, které se zabývalo čtením dat z elektroměrů a výsledky byly velice podobné předchozímu měření. Následně byl zjišťován vliv vzdálenosti a prostředí na kvalitu přenosu, při kterém byly testovány tři různé přenosové trasy a jejich hodnota SNR. Na základě těchto měření, bylo vybráno prostředí multimediální místnosti s

průměrnou hodnotou SNR 19,9 db s častými výpadky, ve kterém se mohly nejvýrazněji projevit změny dostupných modulací a vysílacího výkonu. V tomto prostředí byla následně zjišťována doba nutná pro obnovení elektroměru po výpadku napájení za použití různých modulací a výkonů, přičemž rozdíly byly v některých případech znatelné, s časy lišícími se řádově o desítky sekund. V žádném z případů však nedošlo k selhání navazování spojení, což je pro tyto systémy nejdůležitější. Posledním ze sady krátkodobých měření bylo srovnání modulace DBPSK a D8PSK s rozdílnými výkony, kde modulace D8PSK dosahovala v průměru o 28,81 % rychlejší časy vykonávání požadavků, avšak i v tomto případě je směrodatná především spolehlivost komunikace, která byla vždy 100 %.

Metodika navržená pro testování dvou reálných Smart Metering systémů obsahovala celkem dvanáct testů rozdělených do pěti kategorií pokrývajících širokou škálu různých kritérií. Provedené testy ukázaly že systém NES splnil kritéria testů v 75 % případů, zatímco systém ADD jen v 50 %. Vzhledem k přehlednějšímu a uživatelsky přívětivějšímu konfiguračnímu rozhraní systému NES, ve kterém provedení všech testů trvalo znatelně kratší dobu a dosáhl také lepších výsledků v provedené metodice, by autor práce navrhl pro reálné nasazení systém NES.

LITERATURA

- [1] ZEMAN, Václav a Petr MLÝNEK. *Vyšší techniky datových přenosů*. 1. vydání. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2014 [cit. 11. 12. 2017]. ISBN: 978-xxxxxx.
- [2] Standard: CENELEC - EN 50065-1. *IEEE GlobalSpec* [online]. 2011 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://standards.globalspec.com/std/1379982/cenelec-en-50065-1>>.
- [3] Binary Phase Shift Keying (BPSK) – Modulation and Demodulation *Gaussianwaves* [online]. 2010 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://www.gaussianwaves.com/2010/04/bpsk-modulation-and-demodulation-2/>>
- [4] *Digital Communication - Phase Shift Keying* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_phase_shift_keying.htm>
- [5] LONWORKS. *Real Time Automation* [online]. 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://www.rtaautomation.com/technologies/lonworks/>>
- [6] HomePlug C and C - Command and Control Standard. *Yitran* [online]. 2009 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.yitran.com/index.aspx?id=3375>>
- [7] MT39-L1-ver. R: Modul PLC komunikace. *ModemTec* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <http://www.modemtec.cz/MT39-L1-R-datasheet_český.pdf>
- [8] Úloha 3A *ModemTec MT39-L1-ver.R* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://moodle.vutbr.cz/enrol/index.php?id=176190>>
- [9] *QPSK Modulation* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/quadrature-phase-shift-keying-qpsk-modulation/>>
- [10] PRIME (Powerline Intelligent Metering Evolution). *PRIME Alliance* [online]. 2013 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.prime-alliance.org>>
- [11] G3-PLC Benefits. *G3-PLC Alliance* [online]. 2016 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.g3-plc.com/what-is-g3-plc/g3-plc-benefits/>>
- [12] G3-PLC Overview. *G3-PLC Alliance* [online]. 2016 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.g3-plc.com/what-is-g3-plc/g3-plc-overview/>>

- [13] Texas Instruments Power Line Communication Developers Kit - V3. *Texas Instruments* [online]. 1995-2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/tool/TIDM-TMDSPLCKIT-V3#descriptionArea>>
- [14] *Modem TMDSPCKIT-V3* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/tool/TIDM-TMDSPLCKIT-V3#descriptionArea>>
- [15] HRASNICA, H., HAIDINE, A., LEHNERT, R. *Broadband Powerline Communications: Network Design*. 1. vyd: John Wiley Sons, 2004, 290 s., ISBN: 978-0-470-85741-0
- [16] PHY Basics: How OFDM Subcarriers Work. *Revolution Wi-Fi* [online]. 2015 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2015/3/how-ofdm-subcarriers-work>>
- [17] IEEE Std 1901-2010 - IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks. *IEEE Standards Association* [online]. 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://standards.ieee.org/findstds/standard/1901-2010.html>>
- [18] ITU-T G.hn New home networking standard. *IEEE Xplore* [online]. 2009 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5273821/>>
- [19] Informace pro uživatele systému PowerLine - Defidev/DS2. *Aspa* [online]. 2001-2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <http://www.aspa.cz/doc/d/o/c/predstaveni_technologie_defidev.pdf>
- [20] *Modem AMH-200f* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://defidev.eicero.cz/produkty/amh-200f/>>
- [21] Petr MLÝNEK. *Komunikační technologie pro chytré sítě v energetice*. Habilitační práce. Brno, Vysoké učení technické v Brně, 2015 [cit. 21. 05. 2018].
- [22] Smart Metering – List of Top Smart Energy Meter Manufacturers. *Green World Investor* [online]. 2011 [cit. 11. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<http://www.greenworldinvestor.com/2011/05/10/smart-metering-list-of-top-smart-energy-meter-manufacturers-growing-smaller-as-consolidation-gains-pace/>>
- [23] *Single Phase Smart Meter* [online]. [cit. 18. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<http://addgrup.com/products/classic-meters>>
- [24] Generation 4 MTR 1000. *Networked Energy Services* [online]. 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <https://www.networkedenergy.com/uploads/datasheet/003-0527-01F_IEC_GEN4_MTR1000_DATASHEET.pdf>

- [25] *Three Phase Smart Meter* [online]. [cit. 18. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<http://addgrup.com/products/classic-meters>>
- [26] *IEC CT Smart Meter Device* [online]. [cit. 18. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<https://networkedenergy.com/en/products/iec-ct-smart-meter>>
- [27] DCN 3000 Data Concentrator. *Networked Energy Services* [online]. 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <https://www.networkedenergy.com/uploads/datasheet/003-0526-01B_DCN-3000_DATA_SHEET.pdf>
- [28] *Data Concentrator Meter ADD* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<http://addgrup.com/products/communication-equipment>>
- [29] *DCN 3000 Data Concentrator* [online]. [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <<https://www.networkedenergy.com/en/products/DCN-3000>>
- [30] NES System Software. *Networked Energy Services* [online]. 2017 [cit. 11. 12. 2017]. Dostupné z URL: <https://www.networkedenergy.com/uploads/datasheet/003-0462-01E_NES_SYS_SW_DATA_SHEET.pdf>
- [31] IEEE Xplore Digital Library *Performance Results from 100,000+ PRIME Smart Meters Deployment in Spain* [online]. 2017 [cit. 21. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.lib.vutbr.cz/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6485974>>
- [32] DLMS User Association *WHAT IS DLMS/COSEM* [online]. 2017 [cit. 21. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<http://www.dlms.com/information/whatisdlmscosem/index.html>>
- [33] E.ON Distribuce, a.s. *Smart metering pilotní projekt, Zadávací dokumentace - Příloha č. 5a* [online]. 2017 [cit. 21. 05. 2018]. Dostupné z URL: <<https://stavebnionline.cz/Profily/profil.asp?Typ=2&ID=136&IDZak=7015>>
- [34] Jiří VODRÁŽKA, Martin VYCPÁLEK, Stanislav VOTRUBA. *Metodika pro hodnocení komunikační části pilotních projektů*. Konference ČK CIRED, 2015 [cit. 21. 05. 2018].

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BB	BroadBand
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
FFT	Fast Fourier Transform
HDR	High Data Rate
HE	Head - End
LDR	Low Data Rate
LTE	Long Term Evolution
NES	Networked Energy Services
NN	Nízke napětí
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSGP	Open Smart Grid Protocol
PER	Packet Error Rate
PLC	Power Line Communication
PRIME	Powerline Intelligent Metering Evolution
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
REP	Repeater
RSSI	Received Signal Strength Indication
SNR	Signal to Noise Ratio
TCP	Transmission Control Protocol
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

SEZNAM PŘÍLOH

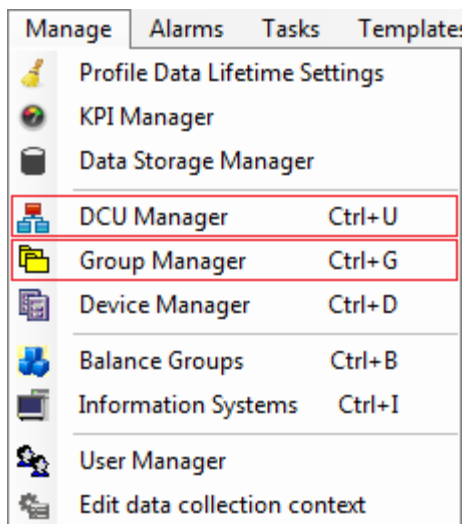
A	Návod k základnímu ovládní systému SIMS od společnosti ADD	61
A.1	Důležité položky hlavního menu	61
A.2	Možnosti konfigurace, čtení a zobrazování dat	62
B	Komunikace zachycena pomocí programu Wireshark	65

A NÁVOD K ZÁKLADNÍMU OVLÁDÁNÍ SYSTÉMU SIMS OD SPOLEČNOSTI ADD

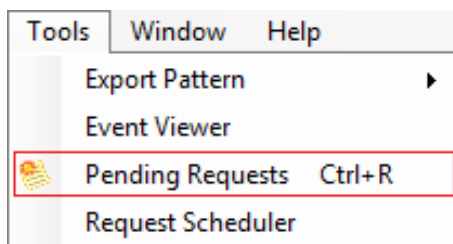
Příloha této bakalářské práce obsahuje stručný návod k ovládání konfiguračního rozhraní Smart Metering systému od společnosti ADD. Jsou zde popsány nejpoužívanější části tohoto rozhraní včetně vysvětlení, k čemu daná část slouží.

A.1 Důležité položky hlavního menu

V záložce „Manage“ se nachází dvě základní ovládací možnosti: **DCU Manager** umožňující správu všech dostupných datových koncentrátorů a **Group Manager**, který umožňuje spravovat skupiny zařízení a slouží ke čtení dat a možnosti konfigurace těchto zařízení. Podrobnějšímu popisu se bude věnovat následující kapitola.



Záložka „Tools“ nabízí možnost **Pending Requests**. Zde je možno sledovat zadané příkazy, jejich průběh, čas zadání, prioritu, na jaké zařízení byl příkaz poslán a další. Zasiílané příkazy jsou rozděleny podle aktuálního stavu na **Pending**, **Sent**, **Cancellation**, **Delayed**, **Finished**, **Scheduled**.



#	Device Id	Logical Id	Created	Generate timeout	Receive time	Priority	PriorityEx
1	11912794	ADX0011912794	1/4/2018 3:55 PM	1/4/2018 7:55 PM	1/4/2018 3:55 PM	no	189
2	11912794	ADX0011912794	1/4/2018 3:55 PM	1/4/2018 7:55 PM	1/4/2018 3:55 PM	no	189
3	11912794	ADX0011912794	1/4/2018 3:56 PM	1/4/2018 7:56 PM	1/4/2018 3:56 PM	no	189
4	11912538	ADX0011912538	1/4/2018 3:58 PM	1/4/2018 7:58 PM	1/4/2018 3:58 PM	no	189

A.2 Možnosti konfigurace, čtení a zobrazování dat

Možnost čtení dat a konfigurace zařízení nalezneme v záložce **Tools** → **Group Manager** → **Metering Points Groups** zde vybereme jedno, či celou skupinu zařízení a kliknutím pravým tlačítkem myši na vybrané zařízení a následně na **Device Configuration** se zobrazí okno s možnostmi konfigurace. Černé položky jsou nastavitelné parametry, modré jsou přímé akce, jako například **připojení relé**.

The screenshot shows a software interface for device configuration. On the left, there is a tree view of configuration parameters under the 'Configuration' tab. The 'PowerQualityEventLog' parameter is selected and highlighted in blue. On the right, a detailed view of the 'PowerQualityEventLog_parameters' is shown, displaying a list of capture objects and their values. The interface includes buttons for 'Set' and 'Get' at the bottom right, and a status bar at the bottom indicating 'Executed 1 operation(s) from 1'.

Pro rychlé a přehledné odečítání aktuálních hodnot elektroměru slouží možnost **Tools** → **Group Manager** → **Metering Points Groups** → **Online Request**. Zde je možno vybrat dané zařízení, následně pomocí ikony žlutého blesku otevřít možnosti čtení, vybrat jeden či více požadavků a výběr potvrdit tlačítkem „OK“. Po dokončení požadavku se zobrazí doba vykonávání a výsledek čtení. Data lze následně uložit, či vymazat.

Device ID: 11912538 Logical ID: ADX0011912538

Maximum sending attempts: 3 (on temporary failure error) parse states:

5/4/2018 2:05:02 PM Sent 2 request(s) to ADX0011912538 (timeout - 2:13:02 PM)

5/4/2018 2:05:08 PM 2 response(s) received from 11912538, ADX0011912538
 LocalDate: 07 E2 05 04 05 [2018.05.04(5)]
 LocalTime: 0C 05 23 00 [12:05:35.000]

5/4/2018 2:41:20 PM Sent 1 request(s) to ADX0011912538 (timeout - 2:49:20 PM)

5/4/2018 2:41:26 PM 1 response(s) received from 11912538, ADX0011912538
 ActiveTOU: 31 30 31 [101]

5/4/2018 2:42:53 PM Sent 1 request(s) to ADX0011912538 (timeout - 2:50:53 PM)

5/4/2018 2:42:56 PM 1 response(s) received from 11912538, ADX0011912538
 ActiveTOU: 31 30 31 [101]

Select parameters dialog:

- Idif
- IdiffControlThreshold
- InstantaneousActivePowerExport
- InstantaneousActivePowerImport
- InstCurrentL1
- InstCurrentL2
- InstVoltageL1
- LocalDate
- LocalTime
- Select All

Další z možností tohoto prostředí je zobrazit informace o dostupných datových koncentrátorech. Toto okno zobrazíme pomocí **Tools** → **DCU Manager**. Zde lze zjistit název datového koncentrátoru, verzi firmwaru, připojená zařízení k danému koncentrátoru, události registrované koncentrátorem, lokální IP adresu a další. Užitečnou vlastností je také možnost ověření komunikace mezi centrálou a zařízením pomocí příkazu **PING**.

ADX0000B82761 Refresh Search Ping Request info from DCU

Version ADX0000B82761 Devices History Last State EventLogs

Name/Version: DCU \ 7.11.29.32155 SOM Version : lv0:SOM2e v.7.4.1.18#
 Software Version : 8.0.10.4 IP\SystemTitle : <http://192.168.0.1/>
 Store Time : 11/24/2017 9:07:12 AM
 Router Hard1/Hard2 : 310000 \ 120061C0

Additional description:

Firmware History Updates

#	Name	Ver	Rtr Version	Router Hard1	Router Hard2	Time	SOM Ver.
1	DCU	7.11.29.32155	8.0.10.4	310000	120061C0	11/24/2017 9:07...	lv0:SOM2e v.7.4....

Pro čtení dat z elektroměru podle daného profilu a z libovolného časového intervalu slouží nástroj View Data, dostupného z **Tools** → **Group Manager** → **Metering Points Groups** → **View Data**. Zde se nastaví období, ze kterého se mají data číst, následně profil, který určuje jaké data se budou z elektroměru číst a následně se volba potvrdí stisknutím zelené šipky. Po stisku ikony pro editaci lze libovolný profil upravit přidáním či odebráním dané možnosti čtení, či vytvořit zcela nový.

#	Serial_No	DateTime	ActiveEnergyExport	ActiveEnergyImport
1	11912794	3/1/2018 12:00:00 AM	8,299.00	13,378.00
2	11912794	3/1/2018 12:15:00 AM	8,299.00	13,378.00
3	11912794	3/1/2018 12:30:00 AM	8,299.00	13,378.00
4	11912794	3/1/2018 12:45:00 AM	8,299.00	13,378.00
5	11912794	3/1/2018 1:00:00 AM		
6	11912794	3/1/2018 1:15:00 AM		
7	11912794	3/1/2018 1:30:00 AM		
8	11912794	3/1/2018 1:45:00 AM		

Pro uživatele je zde také připravena nápověda, která obsahuje popis všech důležitých částí konfiguračního rozhraní, včetně přesných chronologických návodů k daným konfiguracím. Uživatel může v nápovědě hledat podle **klíčového slova** nebo jednoduše vybrat hledanou informaci z přehledného **seznamu**, či si hledanou věc přidat do oblíbených a tím urychlit následující vyhledávání.

Contents	Index	Search	Favorites
<ul style="list-style-type: none"> 📄 Title 📄 Basic terms and abbreviations 📄 Purpose of the document 📁 1. Functionality of the user interface <ul style="list-style-type: none"> 📄 1.1. Launch of the program 📄 1.2. File menu 📄 1.3. View menu 📄 1.4. Alarms menu 📄 1.5. Manage menu 📄 1.6. Tasks menu 📄 1.7. Templates menu 📄 1.8. Tools menu 📄 1.9. Window menu 📄 1.10. Help menu 📄 1.11. How to assign priorities to SIMS commands 📄 1.12. How to change settings of the user interface 📁 2. User account management 📁 3. Creating templates and profiles <ul style="list-style-type: none"> 📄 3.1. How to create or modify templates for scheduled adjustment of meter set 📄 3.2. How to create or modify templates for data viewing 📄 3.3. How to create or modify templates for data export 📄 3.4. How to create or modify the list of formulas for balance groups 📄 3.5. How to create or modify transformer profiles 📄 3.6. How to export or import templates 📁 4. DCU management 			

B KOMUNIKACE ZACHYCENA POMOCÍ PROGRAMU WIRESHARK

Součástí této přílohy budou i soubory **pcapng** zachycující komunikaci mezi odečtovou centrálou a datovým koncentrátorem, pro jednotlivá měření z kapitoly **Krátodobá měření PLC komunikace**.

Všecké soubory budou umístěny na přiloženém CD.