

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SMART GRID SÍŤ S VYUŽITÍM PLC PRO SBĚR DAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

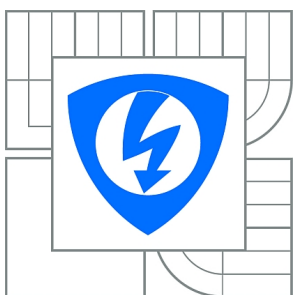
TOMÁŠ SKRÁŠEK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SMART GRID SÍŤ S VYUŽITÍM PLC PRO SBĚR DAT

SMART GRID NETWORK WITH PLC FOR DATA ACQUISITION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ SKRÁŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MLÝNEK, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Tomáš Skrášek

ID: 134401

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Smart Grid síť s využitím PLC pro sběr dat

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s PLC modemy ModemTec MT39-L1-R, moduly IC YITRAN IT700 a rádiomodemy RipEX. Navrhněte a realizujte Smart Grid síť pro dálkový sběr dat z koncových zařízení v energetice. Pro realizaci využijte PLC modemy ModemTec MT39-L1-R, moduly IC YITRAN IT700, rádiomodemy RipEX a další dostupné modemy. V této síti realizujte sadu měření rušení PLC komunikace pomocí generátoru bílého šumu PROMAX PROPOWER-1. Dále proveďte analýzu rušení, zabezpečení a dostupných rychlostí v této síti. Realizujte také sadu dlouhodobých měření PLC komunikace v průmyslovém prostředí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MOMOH, J. Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis (IEEE Press Series on Power Engineering). Wiley-IEEE Press, 2012.

[2] Rádiový modem RipEX. Online:

<<http://www.racom.eu/cz/products/radio-modem-ripex.html#specifications>>

[3] MODUL A IC YITRAN IT700. Online: <<http://www.yitran.com/index.aspx?id=3395>>

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 5.6.2013

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

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem Smart Grid sítě a výběrem komunikačního média. Dále popisuje vlastnosti PLC modemů a radiomodemů. Praktická část demonstruje využití úzkopásmových PLC modemů v prostředí s reálným rušením a dále možnosti komunikace za pomoci radiomodemů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Smart Grid síť, PLC, power line communication, úzkopásmové modemy, ModemTec, radiomodemy, Racom, RipEX

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the design of Smart Grid and selection of communication media. It also describes the characteristics of PLC modems and radio modems. Practical part shows the use of narrowband modems in an environment with real interference and also communication with radio modems.

KEYWORDS

Smart Grid, PLC, power line communication, narrowband modem, ModemTec, radio modem, Racom, RipEX

SKRÁŠEK, Tomáš *Smart Grid síť s využitím PLC pro sběr dat*: bakalářská práce. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013. 66 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

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

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

BRNO

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Mlýnkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych rád poděkoval vedoucímu firmy AR-STAL, s.r.o. Pavlu Mackovi za umožnění dlouhodobého měření ve firemních prostorech.

BRNO

.....

(podpis autora)



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

PODĚKOVÁNÍ

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

BRNO

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

Úvod	12
1 Inteligentní sítě – Smart Grid	13
1.1 Popis inteligentní sítě – Smart Grid	13
1.2 Dostupné řešení inteligentních sítí	16
1.2.1 ISAR – Smart Grid od firmy ModemTec	16
1.2.2 Gridstream – Smart Grid od firmy Landis+Gyr	17
1.2.3 Smart Grid – síť od firmy ZPA	18
2 Technologie PLC	20
2.1 Historie PLC	20
2.2 Princip PLC	20
2.3 Rozdělení PLC	21
2.3.1 Úzkopásmové PLC modemy	21
2.3.2 Širokopásmové PLC modemy	22
2.4 Druhy rušení PLC	22
3 PLC zařízení	24
3.1 Výběr PLC zařízení	24
3.2 ModemTec MT39-L1-R	24
3.3 Měřicí pracoviště	24
3.3.1 Popis měření	25
3.3.2 Měření ve stejném bodě	26
3.3.3 Vliv vzdálenosti na rychlost přenosu	27
3.4 Měření v prostředí s reálným rušením	28
4 Radiomodemy	36
4.1 Popis radiomodemů	36
4.2 Radiomodemy RipEX	36
4.3 Bridge mód	38
4.3.1 Příklad bridge módu	38
4.4 Router mód	42
4.4.1 Příklad router módu	42
4.5 Zkušební demo dvou radiomodemů RipEX	45
4.5.1 Konfigurace radiomodemů	45
4.5.2 Měření parametrů modulací	51
4.5.3 Měření parametrů modulací – bridge mód	51
4.5.4 Měření parametrů modulací – router mód	53

4.6	Laboratorní měření s radiomodemy RipEX	55
5	Souhrn výsledků měření	59
6	Závěr	60
	Literatura	61
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	63
	Seznam příloh	65
A	Obsah elektronické přílohy	66

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Klasická distribuční síť	15
1.2	Inteligentní síť - Smart Grid	15
1.3	Princip systému ISAR	16
1.4	Princip smart grid sítě od ZPA	19
2.1	Využití kmitočtového rozsahu od 9 do 148,5 kHz	22
2.2	Zdroje rušení	23
2.3	Přehled pásma od 0 do 30 MHz	23
3.1	Ilustrační foto pracoviště	25
3.2	Schéma zapojení pracoviště	25
3.3	Spektrum elektrické sítě bez injektovaného signálu	26
3.4	Spektrum elektrické sítě se zatížením PLC v pásmu 75 až 85 kHz	26
3.5	Propustnost sériové linky přijímajícího PC	27
3.6	Hlavní hala ve firmě AR-STAL, s.r.o.	28
3.7	Zapojení modemů v prvních dvou fázích měření	29
3.8	Měření v rámci jedné místnosti	29
3.9	Měření mezi dvěma místnostmi	30
3.10	Zapojení jednoho z modemů v dílnách	31
3.11	Zapojení v dílně s frézami	32
3.12	Měření v dílně s frézami	32
3.13	Měření v místnosti v hlavní hale	33
3.14	Měření v hlavní hale – zapojení vedle brusky na vrtáky	33
3.15	Měření v hlavní hale – rušení bruskou Dremel 400 Digital	34
3.16	Bruska Dremel 400 Digital – zdroj rušení	34
3.17	Měření ve svařovně #1	35
3.18	Měření ve svařovně #2	35
4.1	Detail radiomodemu	36
4.2	Bridge mód – 1. krok	38
4.3	Bridge mód – 2. krok	39
4.4	Bridge mód – 3. krok	39
4.5	Bridge mód – 4. krok	40
4.6	Bridge mód – 5. krok	40
4.7	Bridge mód – 6. krok	41
4.8	Bridge mód – 7. krok	41
4.9	Router mód – 1. krok	42
4.10	Router mód – 2. krok	43
4.11	Router mód – 3. krok	43
4.12	Router mód – 4. krok	44

4.13 Router mód – 5. krok	44
4.14 Nastavení radiomodemu skrze webové rozhraní	46
4.15 Zašifrování komunikace na radiovém kanále – pomocí klíče.	48
4.16 Zašifrování komunikace na radiovém kanále – pomocí klíčového slova.	48
4.17 Diagnostický mód - okolní radiomodemy	49
4.18 Diagnostický mód – statistiky	49
4.19 Graf teplot obou radiomodemů	50
4.20 Graf aktivity na rádiovém rozhraní	50
4.21 Závislost časové odezvy na velikosti paketu - bridge mód	52
4.22 Závislost časové odezvy na velikosti paketu – bridge mód, AES 256+FEC	52
4.23 Závislost úspěšnosti na velikosti paketu - bridge mód	53
4.24 Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – bridge mód, AES 256+FEC	53
4.25 Závislost časové odezvy na velikosti paketu – router mód, výkon 1 W	54
4.26 Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – router mód	54
4.27 Ilustrační foto pracoviště	55
4.28 Schéma zapojení radiomodemů	56
4.29 Závislost časové odezvy na velikosti paketu – router mód	56
4.30 Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – router mód	57
4.31 Schéma zapojení radiomodemů	57
4.32 Schéma zapojení radiomodemů	58
4.33 Komunikace skrze sériová rozhraní	58

SEZNAM TABULEK

1.1	Srovnání stávajících sítí s inteligentní sítí – Smart Grid	14
2.1	Rozdělení pásem	21
4.1	Povolení z ČTÚ 25 kHz / zabraná šířka pásma do 16 kHz	47
4.2	Povolení z ČTÚ 12,5 kHz / zabraná šířka pásma do 11 kHz	47
4.3	Modulace použité při měření – zabraná šířka pásma do 16 kHz	51
5.1	Rychlosti přenosu v závislosti na délce – PLC	59
5.2	Rychlosti přenosu v závislosti na modulaci – Racom RipEX	59

ÚVOD

Nynější distribuční sítě jsou v téměř nezměněné podobě využívány již přes 120 let od dob, kdy byly vytvořeny jejich základy. Mezi hlavní vlastnosti těchto sítí patří centralizovaná výroba a jednosměrný tok energie od výrobce k zákazníkovi. V poslední době se ovšem objevuje stále více alternativních zdrojů elektrické energie. Ty se svým decentralizovaným charakterem výroby liší od zdrojů založených na fosilních palivech a elektřina již vstupuje do elektrické sítě z více míst. Na takovou situaci však není stávající síť připravená. V tuto chvíli přicházejí Smart Grid sítě, které tyto problémy řeší [12]. Smart Grid sítě budou pro komunikaci využívat vícero datových médií, mezi které beze sporu patří přenos dat po silových rozvodech a rádiových vlnách.

Bakalářská práce se zabývá datovou komunikací po silnoproudém vedení a rádiovou komunikací využitelnou pro Smart Grid sítě. Praktická část demonstruje chování PLC modemů v laboratorních a reálných pracovních podmínkách. V rámci praktické části proběhne měření rychlostí a úspěšnosti přenosu dat v závislosti na prostředí a na délce přenosového média. Další část bude zaměřena na radiomodemy komunikující v licenčním pásmu. Budou změřeny jejich základní vlastnosti, mezi něž patří délky časových odezev v závislosti na použitých modulacích a úspěšnosti přenosů paketových dat. Dále budou porovnány pracovní módy radiomodemů.

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce byla vypuštěna část zabývající se PLC moduly IC YITRAN IT700. Rušení PLC komunikace pomocí generátoru bílého šumu bylo realizováno v rámci semestrálního projektu.

1 INTELIGENTNÍ SÍŤE – SMART GRID

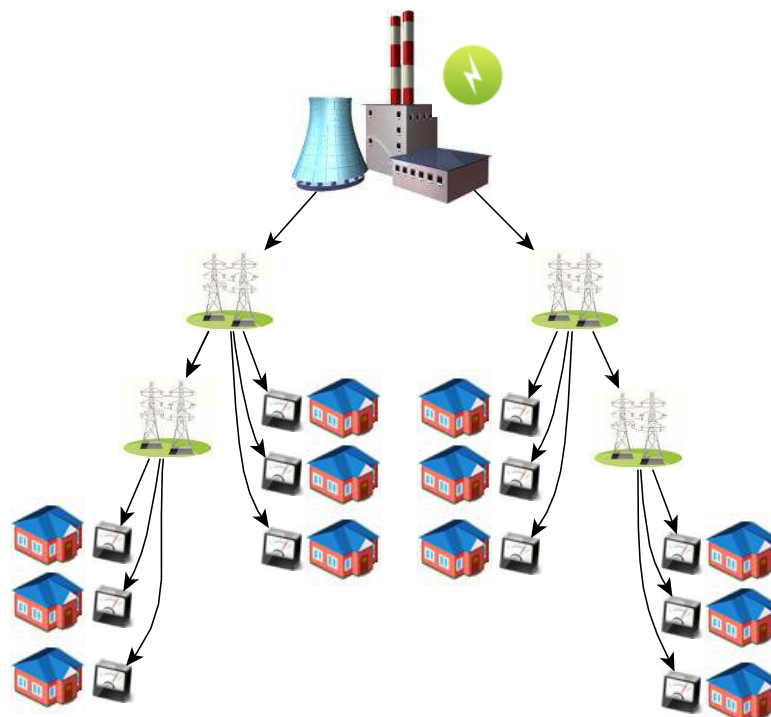
1.1 Popis inteligentní sítě – Smart Grid

Vizí Smart Grid je vybudování dynamicky řízené distribuční sítě spojující kapacitu lokálních obnovitelných zdrojů a velkých výrobců do soustavy, která nebude energii jen distribuovat. Tato síť bude sbírat a distribuovat data a bude nabízet informace o spotřebě v reálném čase. Na základě těchto dat nabídne spotřebiteli možnost měnit svůj profil spotřeby. Dále také provozovatelé soustavy budou mít možnost optimalizace distribuce energie v reálném čase. Tento princip je založen na obousměrné komunikaci mezi spotřebiči (spotřebitelem) a elektrickou sítí. Tato obousměrná komunikace umožní výrazně redukovat ztráty energie. Dnešní rozvodné firmy většinou produkují více energie z toho důvodu, aby se vykompenzovaly ztráty vznikající při přenosu a neefektivní distribuci. Ve Smart Grid sítích bude možnost energii efektivněji kontrolovat a dosahovat tak většího výkonu ze stávající sítě. Výhody, mezi něž patří dvoucestný tok dat, kontrolní a řídicí systém sledující chování sítě, tak otevírají plnohodnotnou cestu do elektrické sítě solárním, větrným a dalším alternativním zdrojům energie. Tato energie tak bude po síti přesunována tam, kde bude právě potřeba [12].

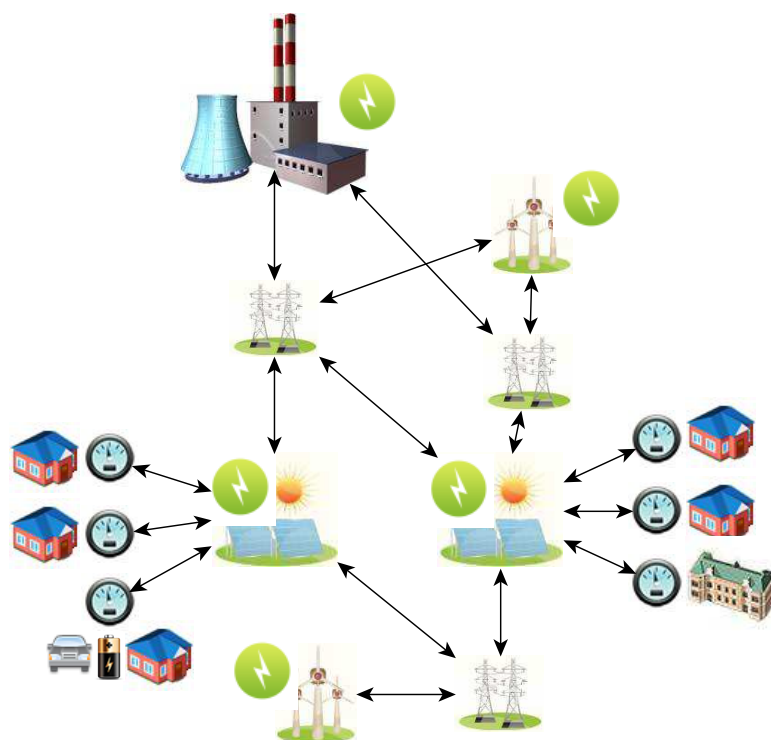
Smart Grid sítě slouží také k automatické obnově provozu po poruše a dále k vyhodnocování zatížení sítě, zvýšení kvality dodávek či k případnému přerušení v reálném čase. Každý spotřebitel je vybaven digitálními měřidly, které umožňují obousměrnou komunikaci. Podle aktuálních informací z těchto měřidel se poté sestavují cenové tarify. Spotřebitelé mohou využít specializovaných distribučních programů, které v době špičky a dražších cen automaticky upraví nastavení elektrických spotřebičů, jako jsou například boilersy pro ohřev vody. Do budoucna se počítá i s bateriemi, které budou schopné přebytečně produkovanou energii uchovat a tu pak skrze automatizované technologie uvolňovat tehdy, kdy bude potřeba. Rozdíly mezi stávající a inteligentní sítí jsou popsány v tabulce 1.1 a hierarchie sítí je ukázána na obrázku 1.1 a na obrázku 1.2 [14].

Charakteristika	Stávající síť	Inteligentní síť – Smart Grid
Aktivní účast spotřebitele	Spotřebitel není informovaný, nemá možnost reagovat na poptávku distribuované energie	Spotřebitel je informovaný, reaguje na poptávku distribuované energie
Nové produkty, služby a trhy	Omezený počet produktů, málo velkoobchodních trhů, omezené služby pro spotřebitele	Bohatá nabídka produktů, více velkoobchodních trhů, rozvoj nových trhů pro spotřebitele
Zajištění kvality elektrické energie	Zaměření na časté výpadky, pomalá odezva na problémy s elektrickou energií	Poměr kvality elektrické energie za určitou cenu, rychlé řešení problémů s elektrickou energií
Předvídání poruchy a reakce na ni (samoobnovení)	Snaha předejít další poruše, zaměření na předcházení opakování stejných poruch v budoucnosti	Automatická detekce poruchy a reakce na vzniklý problém, zaměření na prevenci, minimální důsledky pro spotřebitele
Odolnost proti kybernetickému útoku	Zranitelná, pomalá obnova	Odolnější, schopnost rychlého obnovení
Odolnost proti živelním pohromám	Zranitelná, pomalá obnova	Odolnější, rychlejší obnova

Tab. 1.1: Srovnání stávajících sítí s inteligentní sítí – Smart Grid



Obr. 1.1: Klasická distribuční síť

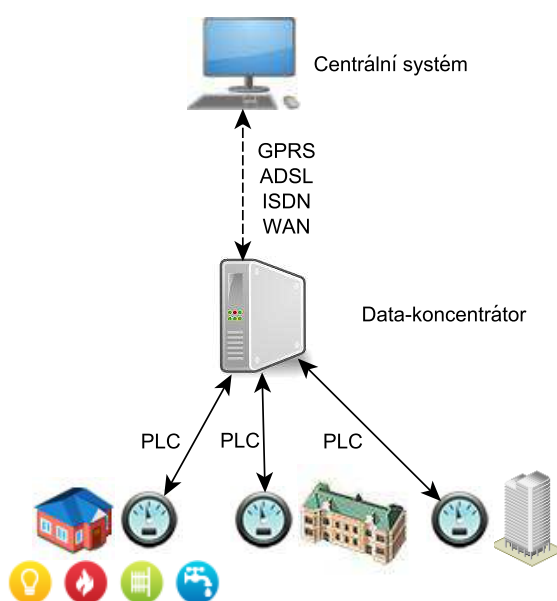


Obr. 1.2: Inteligentní síť - Smart Grid

1.2 Dostupné řešení inteligentních sítí

1.2.1 ISAR – Smart Grid od firmy ModemTec

Jedná se o systém firmy ModemTec, který slouží k měření spotřeby a řízení odběru elektrické energie. Systém poskytuje i odečet spotřebované vody, tepla a plynu. Dále umožňuje dálkový sběr dat, změnu aktuálního tarifu, dálkové odpojení / připojení spotřebiče, či detekci neoprávněných odběrů. Systém ISAR se skládá z jednotlivých měřičů energie, data-koncentrátorů a agregačního počítačového serveru s centrálním systémem. Princip systému ISAR je ukázán na obrázku 1.3 [4].



Obr. 1.3: Princip systému ISAR

Měřiče energie – skládají se z následujících měřičů:

- elektroměry (jednofázové, třífázové),
- vodoměry,
- plynoměry,
- měřiče tepla.

Jednofázový elektroměr E1S-PLC – jedná se o přímý statický elektroměr určený pro měření činné energie v dvojvodičové síti NN 230 V s frekvencí 50 Hz nebo 60 Hz. Elektroměr obsahuje komunikační PLC jednotku pro dálkový odečet naměřených hodnot. Je schopen měřit spotřebu i dodávku energie. Lze jej využít v domácnostech nebo u nízkoodběrových aplikací v průmyslu. Pro komunikaci se využívá D-BPSK modulace a pracuje na frekvencích 70 kHz až 145 kHz. Pro třífázovou soustavu je dostupný elektroměr s označením E3S-PLC.

Pokud elektroměr není vybaven PLC modulem, je možnost připojit k elektroměru s impulzním výstupem, či sériovým rozhraním externí komunikační jednotku MT-29N. Tato jednotka má k dispozici 6 vstupů pro připojení mechanických bezpotenciálových spínačů, jazýčkových nebo jiných relé. Dále je také vybavena 4 bezpotenciálovými výstupy, které tvoří spínací kontakty relé.

Data-koncentrátor – jednotka tvořící mezistupeň mezi odběrnými místy a centrálním systémem. Ukládají se zde dočasně data z komunikačních jednotek. Z data-koncentrátorů jsou data zasílána prostřednictvím optického rozhraní, telefonní linky nebo GPRS komunikace. Data-koncentrátor obsahuje tyto komponenty:

- průmyslový počítač s programovým vybavením,
- třífázový PLC modul,
- třífázový elektroměr pro měření celkové elektrické energie (případně třífázový analyzátor sítě),
- komunikační kanál GPRS (případně ethernet, LAN apod.),
- záložní zdroj pro překonání výpadku elektrické energie,
- další prvky pro bezpečnost a ovládání.

Agregační počítačový server s centrálním systémem – jedná se o „srdce“ celého systému ISAR. Server je vybaven komunikačním rozhraním pro spojení s data-koncentrátory. Na tomto místě dochází k automatickému sběru a ukládání dat. Dále slouží k aktualizaci software data-koncentrátorů. Systém analyzuje data z jednotlivých odběrných míst. Získaná data lze propojit s účetními a fakturačními systémy, systémy řízení provozu nebo informačními systémy. Server je založen na platformě Intel x86 a je vybaven optimalizovaným operačním systémem Linux. K databázi lze přistupovat pomocí zabezpečené komunikace přes webové stránky.

1.2.2 Gridstream – Smart Grid od firmy Landis+Gyr

Jedná se o systém firmy Landis+Gyr sloužící k nejmodernějšímu multimediálnímu měření. Systém poskytuje měření různých druhů energií v rámci jednoho řešení. Hodnoty z měřidel jsou odečítány v pravidelných (např. 15-ti minutových) intervalech a pomocí PLC, nebo GMS / GPRS jsou odesílány do datových koncentrátorů. Systém poskytuje pro odběratele podrobný individuální přehled spotřeby na webových stránkách. Gridstream nabízí:

- řízení odběru,
- tarifní tabulky,
- vylepšené vyrovnávání špičkového zatížení,
- komunikační kanál GPRS (případně ethernet, LAN apod.),

- hromadné dálkové ovládání řídicí spotřebu,
- časové programy.

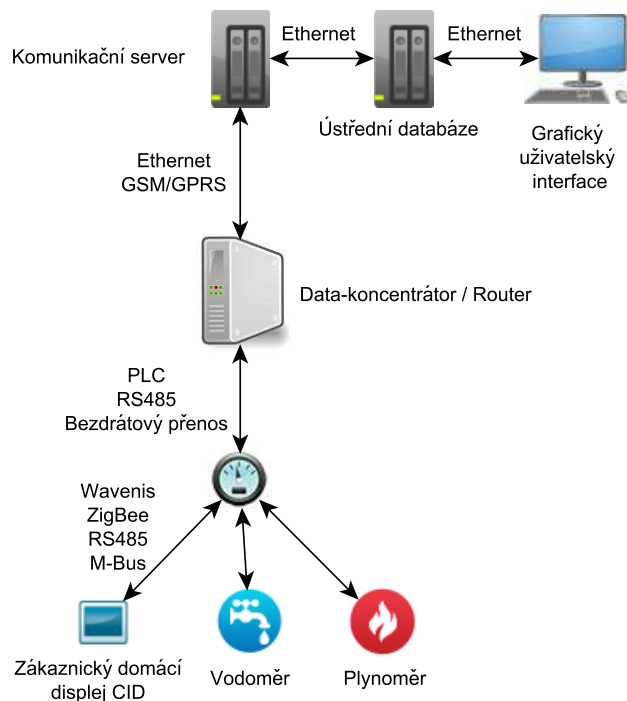
Firma Landis+Gyr nabízí velké množství chytrých elektroměrů a dalších zařízení sloužících k budování Smart Grid sítí. Jedním z nejdůležitějších je bezesporu elektroměr nové generace označovaný jako E350. Je poskytován jako jednofázový, či trojfázový. Elektroměr měří činnou i jalovou energii. Dokáže přepínat mezi 6 tarifů a je připraven pro multienergetické aplikace. To znamená, že na displeji dokáže zobrazit hodnoty z ostatních elektroměrů, plynoměrů, vodoměrů nebo měřičů tepla. Elektroměr lze rozšířit výměnným modulem, kterým se určí, pomocí jakého rozhraní bude komunikovat s data-koncentrátory. Dostupné jsou moduly umožňující komunikaci po PLC, GSM / GPRS, popřípadě ethernet [18].

1.2.3 Smart Grid – síť od firmy ZPA

Firma ZPA Smart Energy nabízí řešení Smart Grid sítě, jejímiž klíčovými vlastnostmi jsou cena a spolehlivost. Smart Grid síť nabízí tyto možnosti:

- vyčítání měřičů pravidelné / na vyžádání,
- dálkové odpojování / připojování,
- plánování řízení zátěžového profilu,
- zjišťování nepovolené manipulace / krádeže,
- přizpůsobení požadavků rezidenčního trhu v reálném čase,
- sledování výpadků a jakosti dodávky energií,
- zobrazování zákaznických informací na domácím displeji.

Komunikace v rámci domácí sítě mezi chytrým elektroměrem a zařízeními měřícími ostatní energie může probíhat přes Wavenis, ZigBee, RS485 nebo M-Bus. Z elektroměru do data-koncentrátoru jsou pak data přenášena po PLC, RS485 nebo bezdrátově. Následující přenos z data-koncentrátoru do komunikačního serveru probíhá přes ethernet nebo GSM/GPRS. Poté již komunikace s databází, či obslužnými počítači probíhá čistě po ethernetu [1]. Princip této Smart Grid sítě je znázorněn na obrázku 1.4.



Obr. 1.4: Princip smart grid sítě od ZPA

Jako elektroměr lze využít například model ZE 110.DU s komunikačním modulem, který je schopný komunikovat přes PLC, RS485 nebo RS323. Model ZE 110.DU je proveden jako jednofázový statický elektroměr. Firma ale nabízí i třífázový elektroměr s označením ZE 310.DU. Elektroměry lze doplňovat moduly, které nabízí další možnosti komunikace.

Dále k dálkovému odečtu elektronických měřidel nabízí firma ZPA Smart Energy GSM komunikátor 485COM, který je schopný přenášet data z elektronických měřidel disponujících sériovým výstupem RS485. GSM komunikátor se chová jako transparentní klient (vysílá data v nezměněné podobě). Data lze odečítat běžným mobilním telefonem nebo pomocí počítačové aplikace.

2 TECHNOLOGIE PLC

2.1 Historie PLC

Vznik technologie PLC se datuje k počátkům 20. století, kdy se v Evropě začaly spouštět systémy pro hromadné dálkové ovládání. V USA dále následovalo nasazení systému, který umožnil přenos telefonního signálu na vzdálenost 20 mil (32 km). Koncem 80. let začal vývoj technologií, které by byly schopné poskytnout širokopásmový přenos po elektrické rozvodné síti. V roce 1997 bylo ve Velké Británii uskutečněno první velké testování této technologie. O rok později již byla tato technologie předvedena široké veřejnosti na veletrhu CeBIT 1998 firmou Nor.Web DPL. Technologie byla představena pod označením DPL 1000. Po tomhle představení se očekávalo masové nasazení tohoto systému. Jenomže v roce 1999 firma Nor.Web DPL oznámila ukončení vývoje těchto zařízení. A zdálo se, že veškeré snahy o nasazení PLC jsou pryč. Naštěstí však veletrh CeBIT 2000 přinesl řešení mnoha nových firem, které neřešily problematiku tzv. „poslední míle“ neboli jak rozvést data z jednoho místa (z transformační stanice) do většího počtu míst (budov připojených na tuto transformační stanici), ale řešily rozvedení datového signálu v bytech, kancelářích atd. bez nutnosti budování nových rozvodů kabeláže. U tohoto řešení zůstala většina firem, které se v této problematice pohybují [8].

2.2 Princip PLC

Technologie PLC se zabývá přenosem datových signálů po silnoproudých rozvodech elektrické sítě. Elektrická distribuční síť používá pouze frekvenci 50 Hz a tudíž není problém využít pásma vyšších frekvencí k přenosu datových signálů. Při realizaci ovšem nastávají problémy, které vznikají rušením (např. zapínáním a vypínáním) elektrických spotřebičů připojených ve stejné rozvodné síti.

Základním princip PLC komunikace spočívá v modulaci a demodulaci signálu. Do elektrické rozvodné sítě je injektován modulovaný vysokofrekvenční signál, který se touto sítí šíří k dalším účastníkům sítě. Injektovaný signál je superponován na napájecí napětí. Příjímací zařízení oddělí signály v komunikačním pásmu a tento signál demodulují. Tím se získají původní data. Mezi nejpoužívanější způsob modulace u PLC systému se používá OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), kterou využívají systémy DS2 a Corinex. Druhý způsob modulace se nazývá GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), tento druh modulace využívá systém ASCOM. Poněvadž během přenosu může dojít k narušení přenášených dat vlivem rušení, je nezbytné, aby přijatá data byla zkontrolována pomocí kontrolního součtu CRC. To znamená, že kontrolní součet přijatých dat musí souhlasit s kontrolním součtem

odeslaných dat. Další možností, jak zefektivnit přenos dat, je použití FEC korekce. FEC korekce přidává k vysílaným datům redundantní informace, pomocí kterých je možno přijatá data do určité míry zrekonstruovat. Bezpečnost dat je dále zajištěna automatickým opakováním odesílání, potvrzováním přijatých dat, nebo redundancí vysílaných zpráv [15].

2.3 Rozdělení PLC

PLC modemy se dělí do dvou kategorií podle šířky pásma, ve kterém komunikují, a to na úzkopásmové a širokopásmové.

2.3.1 Úzkopásmové PLC modemy

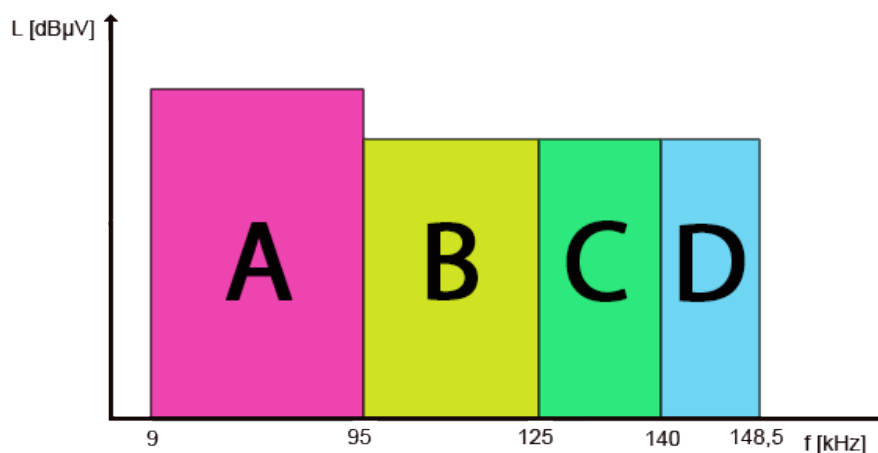
Úzkopásmová PLC jsou určena zejména pro využití v průmyslu. U úzkopásmových modemů nejsou kladeny tak vysoké nároky na přenosovou rychlost. Nejdůležitějším aspektem je zde spolehlivost, která je u úzkopásmových PLC modemů mnohem větší než u širokopásmových. V praxi se tyto modemy využívají například k dálkovému odčítání stavů elektroměrů nebo k přenosu signálů od zabezpečovacích zařízení.

Kmitočtový rozsah, ve kterém mohou úzkopásmové modemy pracovat, je určen evropskou normou CENELEC EN 50065. Ta je v platnosti od roku 1991. Norma určuje využití kmitočtového rozsahu od 3 do 148,5 kHz a má za úkol zamezit vzájemnému rušení mezi zařízeními využívajícími přenos signálu po silnoproudých rozvodech. Dále omezuje rušení citlivých elektronických zařízení připojených do elektrické sítě, ve které probíhá přenos signálu [7].

Kmitočtové pásmo, sloužící k přenosu signálu, je rozděleno do čtyř kategorií, které jsou zobrazeny v tabulce 2.1 a na obrázku 2.1 [2].

Pásmo	Frekvence [kHz]	Popis
-	3-9	Pásmo pouze pro dodavatele elektrické energie.
A	9-95	Pásmo pro dodavatele elektrické energie. (Popřípadě i odběratele.)
B	95-125	Pásmo pro privátní účely odběratelů.
C	125-140	Pásmo pro privátní účely odběratelů. (Vyžaduje protokol přístupu.)
D	140-148,5	Pásmo pro privátní účely odběratelů.

Tab. 2.1: Rozdělení pásem



Obr. 2.1: Využití kmitočtového rozsahu od 9 do 148,5 kHz

Norma dále určuje maximální úroveň signálu. Pro pásma B, C a D je maximální úroveň 122 dB μ V. Pro pásmo A je to 134 dB μ V.

2.3.2 Širokopásmové PLC modemy

Běžné širokopásmové PLC modemy využívají frekvence od 1,605 do 30 MHz. Jejich rychlosti jsou mnohonásobně vyšší než u úzkopásmových modemů (teoretická rychlost 200 Mbit/s). Nejnovější širokopásmové PLC modemy pracují na frekvencích až 150 MHz a jejich teoretické rychlosti jsou 1000 Mbit/s [13].

2.4 Druhy rušení PLC

Rušení u PLC rozdělujeme na dva druhy. Zařízení PLC může být zdrojem rušení pro ostatní zařízení v síti nebo může být rušeno jinými zařízeními [17].

Šum na pozadí – je přítomen v každé síti. Šum je způsoben superpozicí velkého počtu zdrojů rušení o nízké intenzitě. Velikost šumu je proměnná v čase. Lze jej vyjádřit pomocí spektrální hustoty výkonu. S rostoucí frekvencí tato spektrální hustota výkonu klesá.

Úzkopásmové rušení – nejčastěji má sinusový charakter s amplitudovou modulací. Mezi nejčastější zdroje úzkopásmového rušení do 150 kHz patří měniče frekvencí, zářivky, monitory a televize. U vyšších frekvencí toto rušení vzniká v důsledku rozhlasových stanic, které vysílají na středovlnném a krátkovlnném pásmu.

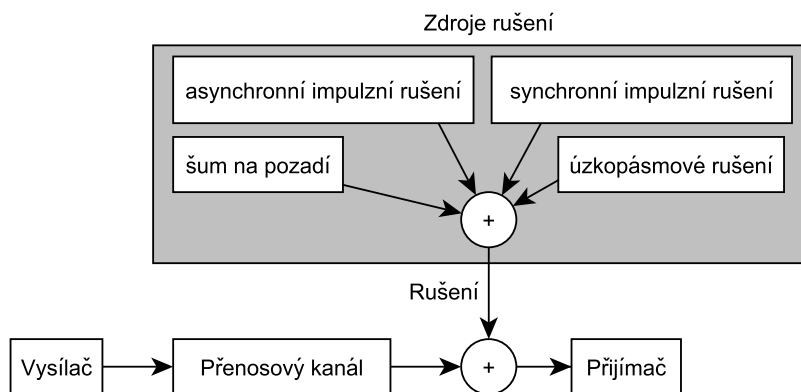
Impulzní rušení – je typické krátkými napěťovými špičkami. Tyto špičky mohou trvat od desítek μ s do jednotek ms. Nejvíce je způsobeno spínanými zdroji.

Ty se používají ve většině spotřební elektroniky jako jsou síťové adaptéry, televize, notebooky, stolní počítače, nebo audio systémy. Jejich rušení má širokopásmový charakter. Mezi další zdroje impulzního rušení patří tyristorové regulátory. Používají se k regulaci otáček nebo ve stmívačích. Tyto regulátory produkují velké impulzy s frekvencí 100 Hz.

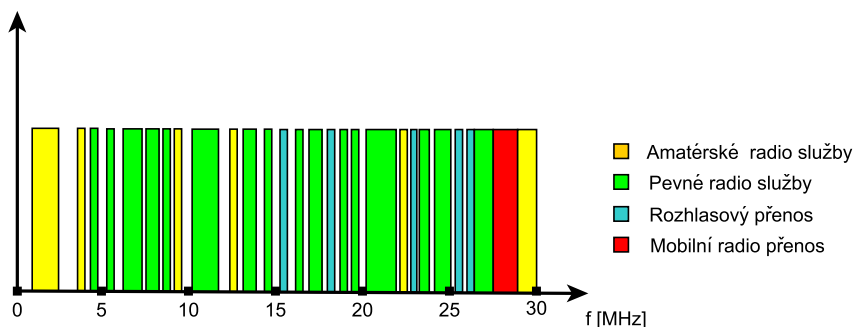
Asynchronní – je způsobováno spínacími prvky v distribuční síti

Synchronní – je způsobováno napěťovými konvertory a stmívači. Tyto shluky špiček se periodicky opakují.

Obrázek 2.2 znázorňuje případné zdroje rušení, které mohou ovlivnit přenos dat. Na obrázku 2.3 je zobrazeno zaplnění frekvenčního pásma od 0 do 30 MHz, ve kterém PLC modemy komunikují. Díky velké obsazenosti tohoto pásma zde vzniká možnost vzájemného rušení mezi jednotlivými službami.



Obr. 2.2: Zdroje rušení



Obr. 2.3: Přehled pásma od 0 do 30 MHz

3 PLC ZAŘÍZENÍ

3.1 Výběr PLC zařízení

Pro komunikaci po PLC byly zvoleny modemy od firmy ModemTec s označením MT39-L1-R. Vlastnosti těchto modemů jsou popsány v kapitole 3.2. Naměřené vlastnosti jsou uvedeny v kapitole 3.3 a v kapitole 3.4.

3.2 ModemTec MT39-L1-R

Modemy disponují sériovým portem RS232, nebo RS485. Ten může sloužit k připojení například PC, programovatelného automatu, nebo inteligentního elektroměru. Modemy mohou pracovat ve dvou režimech. A to buď v párovém režimu, kdy komunikují pouze dva modemy nebo v síťovém režimu, kdy jeden z modemů pracuje jako master a ostatní modemy pracují jako slave. Modemy využívají D-BPSK modulace.

Nastavení modemů se provádí z PC pomocí programu RSET přes sériový port RS232. Do programovatelného režimu se modem přepíná zkratováním jumperu, který se nachází pod informační LED diodou. Nosné frekvence je možné nastavit podle evropské normy CENELEC 50065-1 od 60 do 145 kHz kromě pásma „s dohodou 132,5 kHz“ [6].

Během měření byly modemy nastaveny následovně:

- Přenosová rychlost: 19 200 bit/s
- Rozhraní: RS 232
- RX Timeout: 3 ms
- Parita: žádná
- RTS/CTS: zapnuto
- Timeout HS: 170 ms
- Timeout příjmu: 170 ms
- Opakování: 3

3.3 Měřící pracoviště

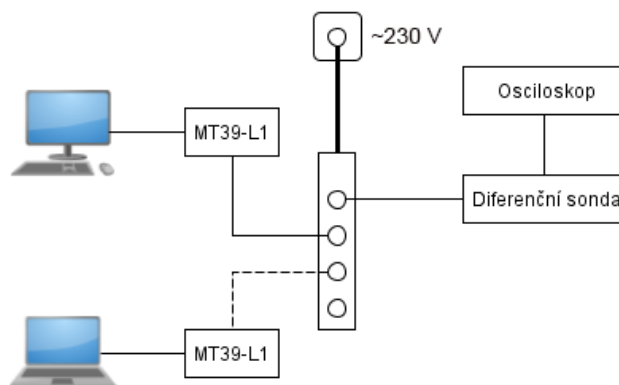
Měření na úzkopásmových modemech se odehrávalo v projektové laboratoři PA-272 ve druhém podlaží areálu FEKT VUT, Purkyňova 118. Komunikace probíhala mezi dvěma PC, vybavenými sériovými porty, přes prostředí Hyperterminálu. K zobrazení injektovaného signálu byl použit osciloskop Agilent infiniium 500 MHz 2 GSa/s, který byl zapojen do sítě 230 V přes diferenční sondu Metrix MTX 1032-C.

3.3.1 Popis měření

Schéma zapojení měřícího pracoviště je uvedeno na obrázku 3.2. Přerušovaná čára značí, že daný prvek byl zapojován v různých vzdálenostech od ostatních prvků. V obou počítačích byl spuštěn hyperterminál a přes něj byly přenášeny soubory. Přenosová rychlost byla měřena pomocí okna přenosu souboru v hyperterminálu. Na obou počítačích byl nainstalován program Serial Port Throughput Monitor, který graficky zaznamenával propustnost sériového rozhraní.



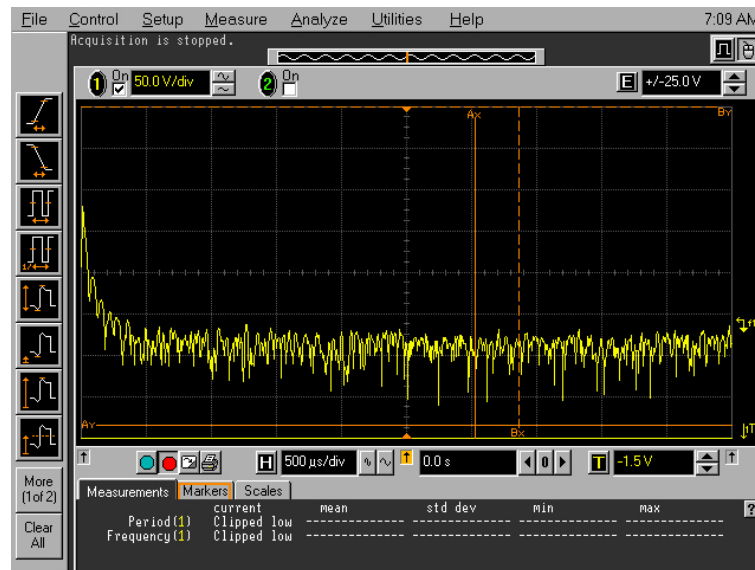
Obr. 3.1: Ilustrační foto pracoviště



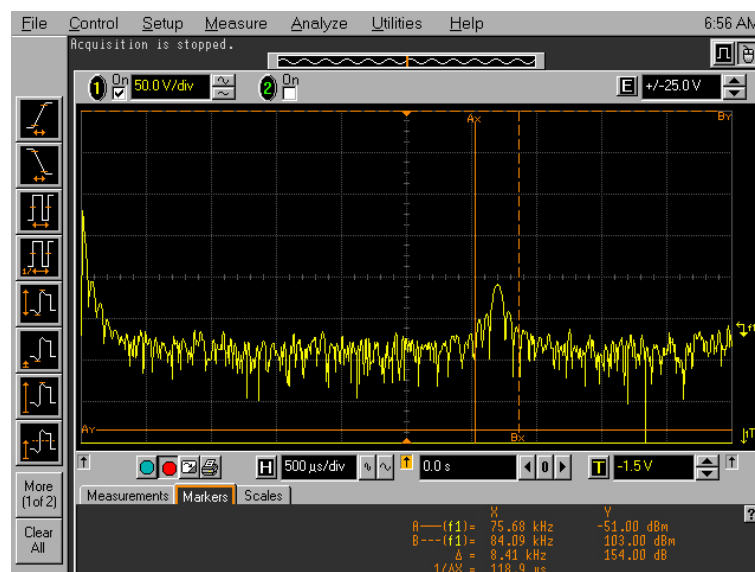
Obr. 3.2: Schéma zapojení pracoviště

3.3.2 Měření ve stejném bodě

Během tohoto měření se zjišťovala nejvyšší možná rychlost přenosu a propustnost úzkopásmových PLC modemů při nejlepších možných podmínkách (přenosová cesta byla 1 m). Na obrázku 3.3 je zobrazeno frekvenční spektrum bez PLC komunikace. V následujících krocích bylo zapnuto přenášení souborů mezi počítači. Na obrázku 3.4 je již vidět zatížené pásmo od 75 do 85 kHz (tyto frekvence odpovídají pásmu „A“ podle normy ČSN EN 50065).

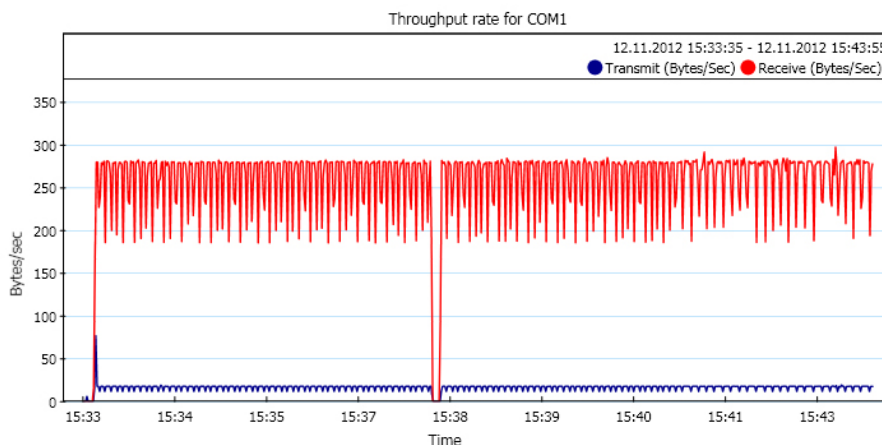


Obr. 3.3: Spektrum elektrické sítě bez injektovaného signálu



Obr. 3.4: Spektrum elektrické sítě se zatížením PLC v pásmu 75 až 85 kHz

Během přenosu byla přes hyperterminál naměřena rychlost 270 B/s. Tato rychlost odpovídá i rychlosti, kterou lze vyčíst z obrázku 3.5, jenž zobrazuje propustnost sériového rozhraní na přijímajícím počítači. V čase 15:38 je viditelný výpadek přenosu a následné navázání komunikace. Tento výpadek mohl být způsobený například zapnutím varné konvice nebo počítače. Červená křivka znázorňuje rychlost přijímaných dat a modrá linka znázorňuje potvrzování doručených dat.



Obr. 3.5: Propustnost sériové linky přijímajícího PC

3.3.3 Vliv vzdálenosti na rychlost přenosu

1. měření – vzdálenost 20 metrů: Vzdálenost 20 metrů se u rychlostí téměř neprojevila. Přenos probíhal opět rychlostí kolem 270 B/s. Pokles injektovaného signálu byl nepatrný. Během přenosu 32 kB obrázku nastal jeden výpadek komunikace. Po navázání komunikace vše pokračovalo bez problému a přenos byl dokončen.

2. měření – vzdálenost 60 metrů: Při měření na vzdálenost 60 metrů nastal také jeden výpadek komunikace. Ta byla opět bez problému navázána a přenos dokončen. Rychlost zůstala neměnná a pohybovala se okolo 270 B/s.

3.4 Měření v prostředí s reálným rušením

Pro energetický management, řízení spotřeby a systémy dálkového odečtu energií je podle Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2009/72/ES nutné uvažovat různé druhy komunikačních tras. Jedna z možných komunikačních tras připadá i na PLC. Závěry odborné literatury [3] říkají, že chytré sítě budou ke komunikaci využívat několik datových sítí. Z tohoto důvodu bylo pro ověření rušení komunikace nutné ověřit PLC v reálných podmínkách.

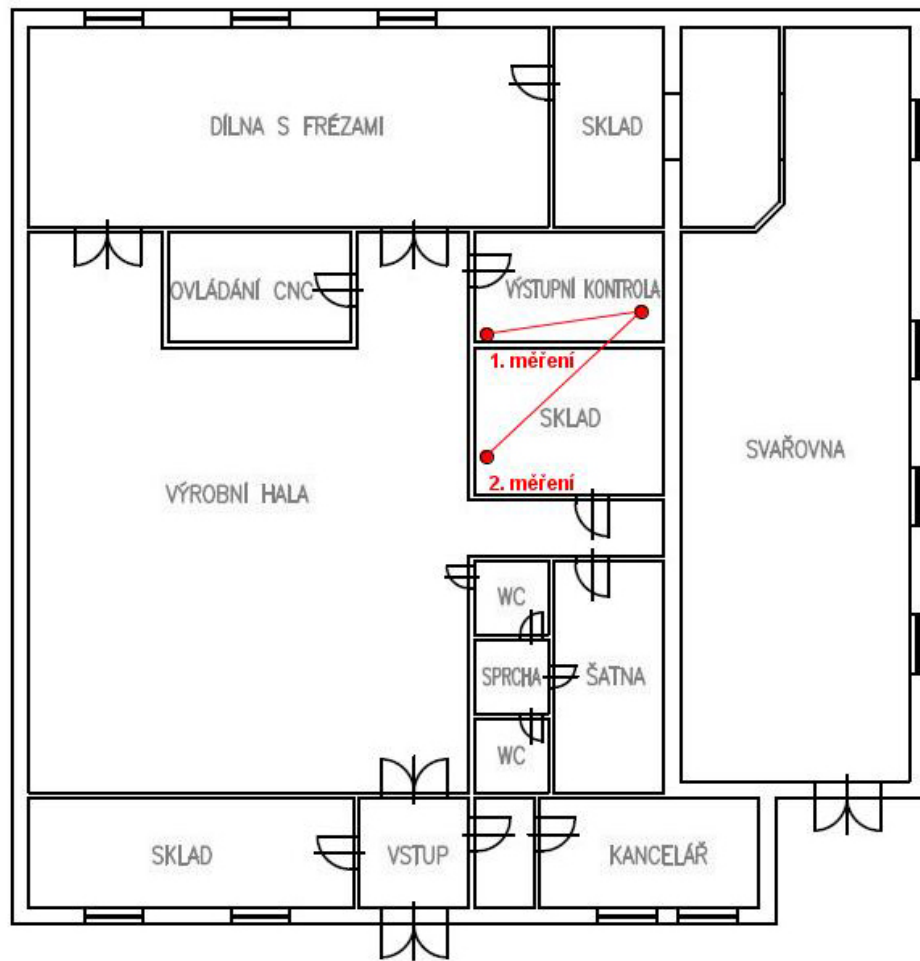
Měření v prostředí s reálných rušením bylo uskutečněno ve firmě AR-STAL, s.r.o., která se od roku 1999 věnuje zakázkové strojní výrobě. Firma disponuje prostory 1200 m². Výrobní hala se nachází v České republice ve městě Napajedla, asi 15 km od města Zlín. Firma je vybavena 6 frézami, dvěma obráběcími CNC centry, horizontální vyvrtávačkou, třemi soustruhy, soustružnickým poloautomatem, dvěma sloupcovými vrtačkami a dvěma lisami. Dále také svářečským vybavením a nespočtem brusek. Ukázka z firmy, kde probíhalo měření je na obrázku 3.6.



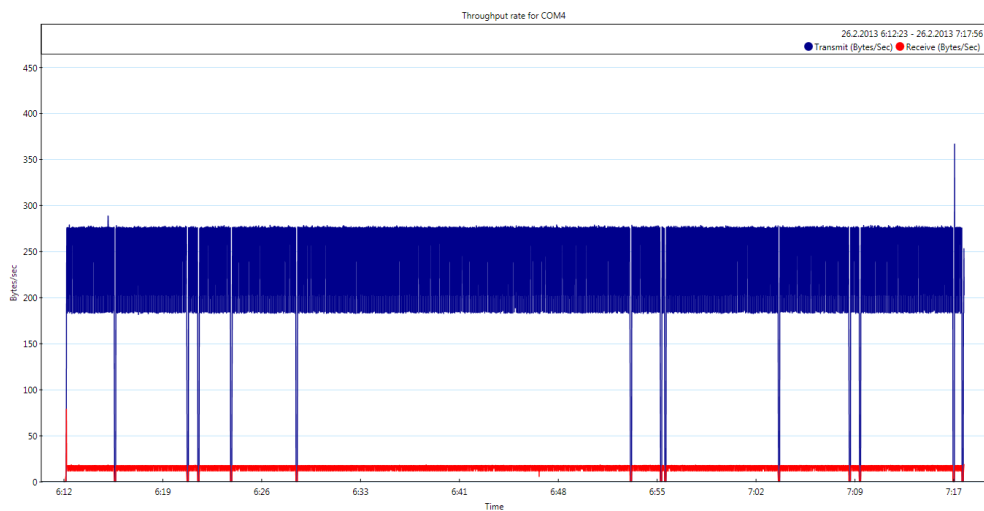
Obr. 3.6: Hlavní hala ve firmě AR-STAL, s.r.o.

1. měření:

V první fázi bylo měření uskutečněno v rámci jedné místnosti (kontrolovny kvality výrobků), která se nachází v těsné blízkosti s hlavní dílnou. V místnosti byl zapojen jeden stolní počítač, digitální výškoměr a dvojice přenosných počítačů, mezi nimiž komunikace probíhala. Délka přenosového vedení činila 10 metrů a přenos trval 1 hodinu a 5 minut. Rychlost byla stejná jako při laboratorních podmínkách – 270 B/s. Během přenosu nastalo 12 výpadků komunikace, tento počet je ovšem odpovídající délce měření. Zapojení je znázorněno na obrázku 3.7. Průběh komunikace je zobrazen na obrázku 3.8.

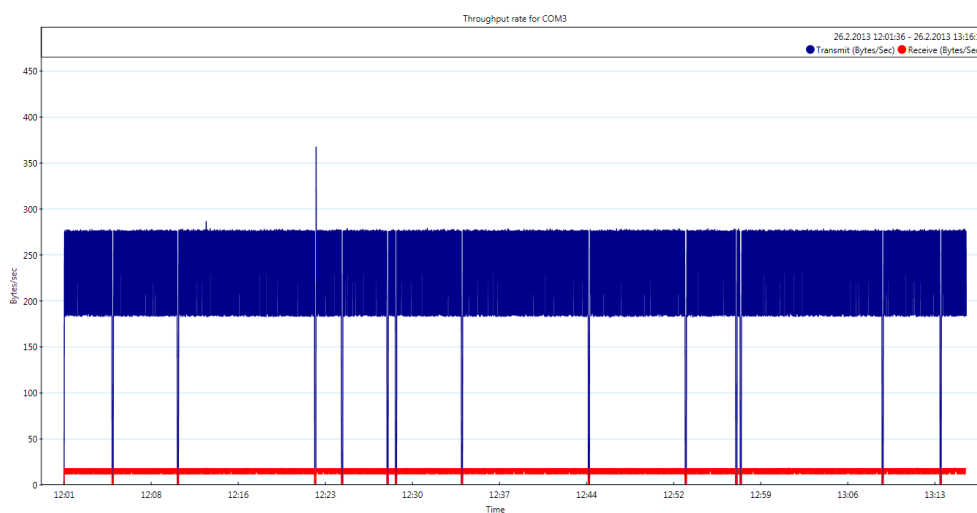


Obr. 3.7: Zapojení modemů v prvních dvou fázích měření



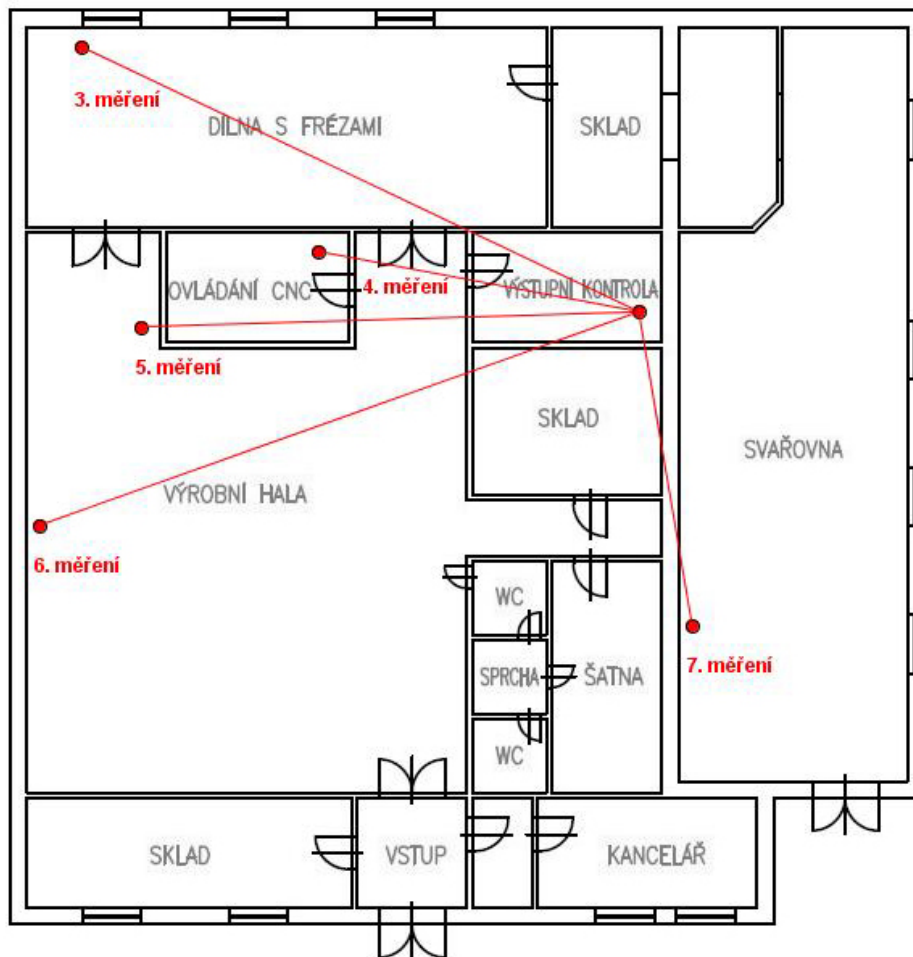
Obr. 3.8: Měření v rámci jedné místnosti

2. měření: V další fázi probíhala komunikace mezi dvěma sousedními místnostmi. První modem byl zapojen jako při prvním měření v kontrolně. Druhý modem byl zapojen ve skladě, ve kterém byl spuštěn stolní počítač. Délka přenosového vedení byla 50 metrů, poněvadž druhý modem byl zapojen přes 35 metrovou prodlužovací šňůru. Měření trvalo 1 hodinu a 15 minut. Rychlost zůstala nezměněna, tedy - 270 B/s. Počet výpadků komunikace byl odpovídající délce měření – 13 výpadků. Průběh komunikace je zobrazen na obrázku 3.9. Zapojení modemů je znázorněno na obrázku 3.7.



Obr. 3.9: Měření mezi dvěma místnostmi

V dalších měřeních byl jeden z modemů přemístován do různých dílen. První modem byl ponechán na stejném místě jako u předcházejících měření a umístění druhého modemu je zřejmé z obrázku 3.10.



Obr. 3.10: Zapojení jednoho z modemů v dílnách

3. měření: Modem byl zapojen v dílně, ve které se pracuje na čtyřech klasických frézách, dvou klasických soustruzích a jednom CNC soustruhu. Dílna je dále vybavena čtyřmi vrtacími soustavami. Dílna společně s PLC modemem je vidět na obrázku 3.11. Vzdálenost mezi komunikujícími modemy byla 80 metrů. Komunikace probíhala 15 minut a během této doby nastalo 5 výpadků, což je více než obvykle. Tyto výpadky byly nejspíše způsobeny impulzním rušením, které vzniká při sepnutí některé z vrtacích soustav. Toto rušení je popsáno v kapitole 2.4. Rychlost komunikace byla 270 B/s. Průběh komunikace je zobrazen na obrázku 3.12.

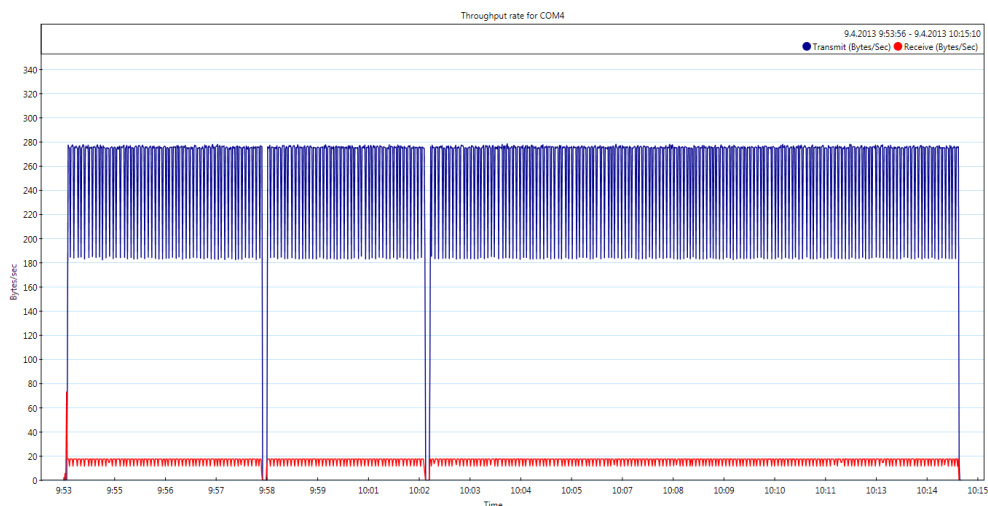


Obr. 3.11: Zapojení v dílně s frézami



Obr. 3.12: Měření v dílně s frézami

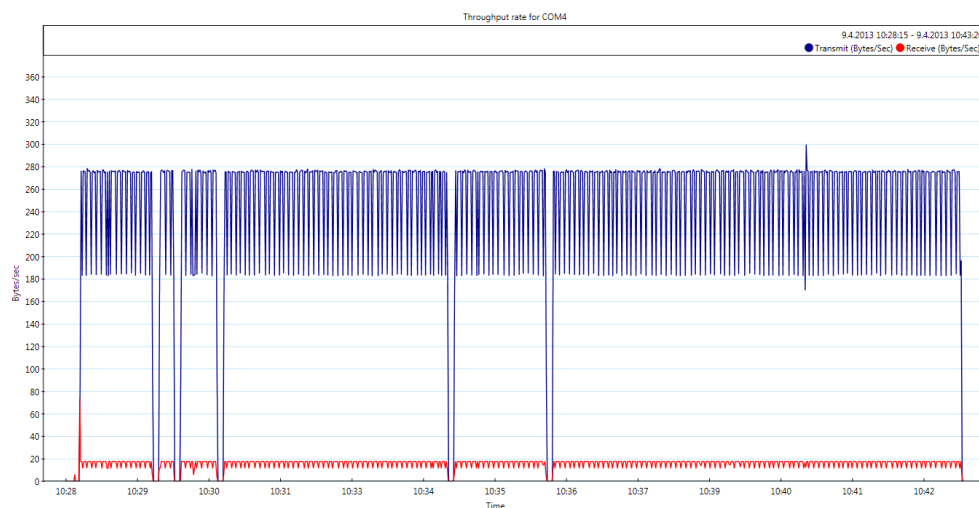
4. měření: Při tomto měření byl PLC modem umístěn v místnosti, která je součástí hlavní haly. Z této místnosti se programují dvě hlavní CNC centra, tudíž je zde umístěn stolní počítač. Délka přenosového vedení činila 25 metrů. Měření trvalo 15 minut a během této doby nastaly 2 výpadky. Rychlost zůstala na hodnotě 270 B/s. Průběh komunikace je zobrazen na obrázku 3.13.



Obr. 3.13: Měření v místnosti v hlavní hale

5. měření:

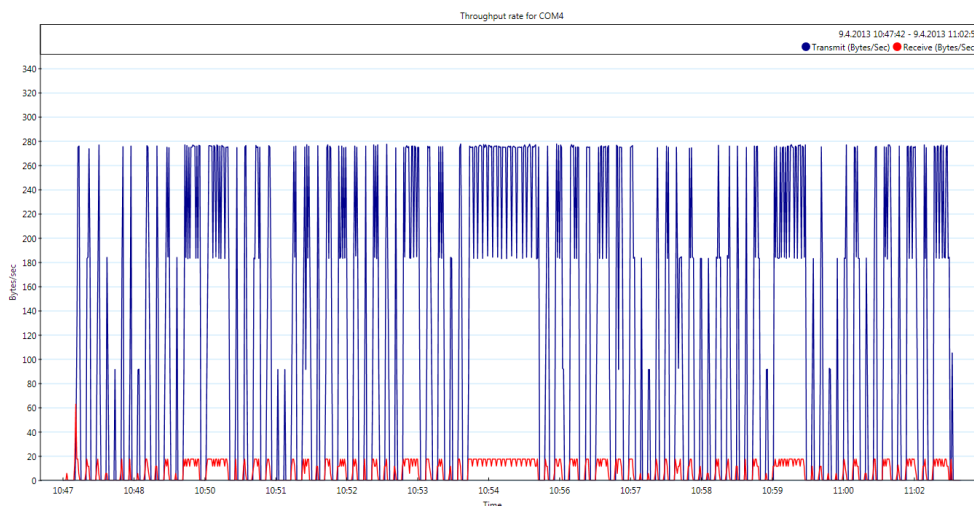
Při tomto měření byl PLC modem zapojen v hlavní hale hned vedle brusky na vrtáky ve vzdálenosti 35 metrů od vysílacího modemu. Během 15-ti minutového měření došlo k 5 výpadkům komunikace, které mohla způsobit právě zmíněná bruska. Rychlost byla opět 270 B/s. Průběh je zobrazen na obrázku 3.14.



Obr. 3.14: Měření v hlavní hale – zapojení vedle brusky na vrtáky

6. měření: Během tohoto měření byl PLC modem zapojen u vertikální frézy v hlavní hale. Délka přenosového vedení byla 100 metrů. Rychlost přenosu kolísala mezi hodnotou 270 B/s a 180 B/s. Při přenosu docházelo k neustálým výpadkům komunikace, které jsou zobrazeny na obrázku 3.15. V polovině měření, v čase 10:54 probíhal přenos několik okamžiků naprosto bez problému. Na základě tohoto bez-

problémového přenosu bylo zjištěno, že komunikaci ovlivňuje malá bruska Dremel 400 Digital, která je na obrázku 3.16. Bruska má maximální příkon 140 W a její otáčky jsou v rozmezí 5 000 – 33 000 ot/min.



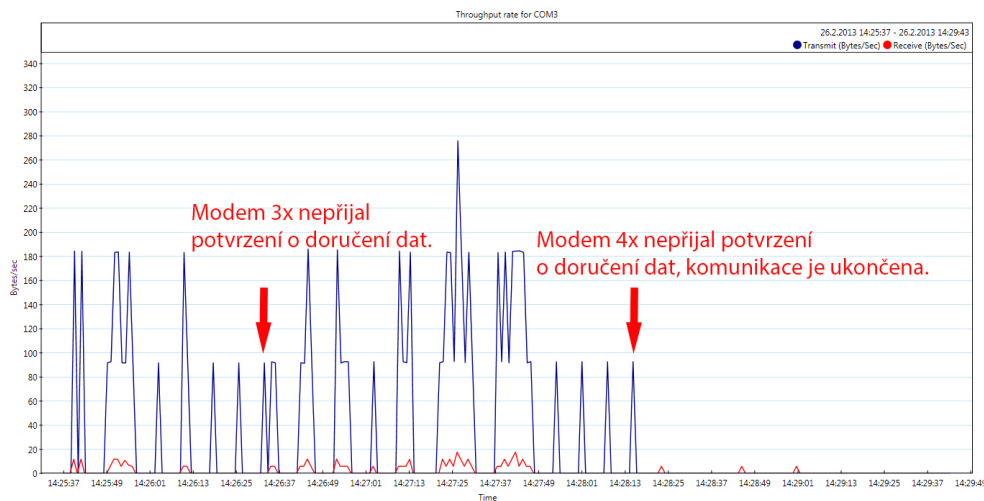
Obr. 3.15: Měření v hlavní hale – rušení bruskou Dremel 400 Digital



Obr. 3.16: Bruska Dremel 400 Digital – zdroj rušení

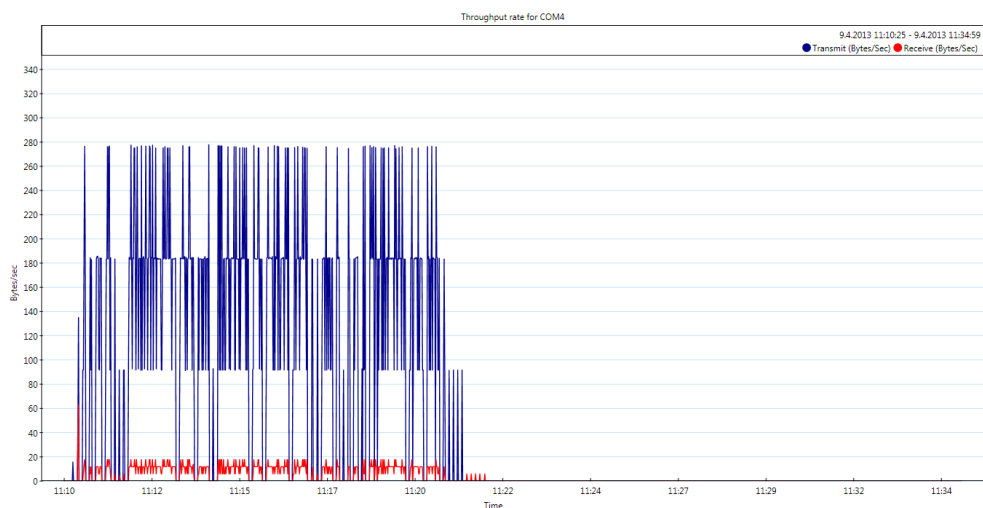
7. měření: Poslední měření bylo uskutečněno v dílně, ve které se svařuje. Kvůli neúspěchu při prvním pokusu bylo toto měření opakováno. První pokus trval pouze 4 minuty a jeho průběh je zobrazen na obrázku 3.17. Vzdálenost mezi modemy byla 35 metrů. Rychlost se pohybovala kolem 180 B/s, popř. 90 B/s. V čase 14:26:20 nastala situace, kdy vysílací modem nepřijal potvrzení o doručení dat. Situace se opakovala ještě dvakrát, poté komunikace pokračovala. V čase 14:27:49 však nastala tato situace znovu a opakovala se tentokrát třikrát. Vysílací modem tedy čtyřikrát nepřijal žádné potvrzení a komunikaci ukončil chybovým hlášením. V dílně byly

zapnuty dvě úhlové brusky, jedna vibrační bruska a jedna vrtačka. Brusky a vrtačka nejspíše zapříčinily impulzní rušení v čase jejich sepnutí a vypnutí. Rušení mohlo zapříčinit i odsávání, které v této dílně běží nepřetržitě.



Obr. 3.17: Měření ve svařovně #1

Druhé měření v této dílně je zobrazeno na obrázku 3.18. Rychlost komunikace kolísala mezi 270 B/s, 180 B/s a 90 B/s. Při tomto měření nebyly v dílně zapnuty žádné brusky ani vrtačky. Zapnuto bylo pouze odsávání. V čase 11:21 se začaly používat brusky a vysílající modem nepřijal žádné potvrzení o doručení paketů, tudíž byla komunikace ukončena.



Obr. 3.18: Měření ve svařovně #2

4 RADIOMODEMY

4.1 Popis radiomodemů

Komunikace po optickém vlákně, či GSM / GPRS nemusí být vždy dostupná na všech místech, z nichž je nezbytné získávat potřebné údaje. Proto je v těchto lokalitách vhodné použít radiomodemy. Ty pracují na licencovaných, či nelicencovaných pásmech a jejich hlavní předností je velký komunikační dosah. Jako zástupci této kategorie byly vybrány radiomodemy RipEX od firmy Racom. Tyto jednotky pracují v licencovaném pásmu a jsou schopné komunikovat na vzdálenosti až 50 km, přičemž u nich není potřeba přímé viditelnosti.

4.2 Radiomodemy RipEX



Obr. 4.1: Detail radiomodemu

Jedná se o radiomodemy, patřící do nejvyšší kategorie, které firma Racom nabízí. A to zejména pro svou datovou rychlost, důraz na detail, spolehlivost, výkon a kvalitu. Rádiová část je tvořena softwarově definovaným rádiem a modemová část využívá operační systém Linux. Modem je ukázán na obrázku 4.1.

Díky extrémní spolehlivosti lze modem použít v aplikacích, které požadují zaručenou dobu odezvy. Mezi takové aplikace patří například Telemetrie & SCADA, Smart Grid, nebo transakční sítě pro loterie a platební terminály.

Každý rádiový modem RipEX může pracovat ve třech režimech, jako master, slave, nebo jako repeater. Tyto funkce lze jednoduše nastavit přes webové rozhraní [9]. Dále modem RipEX může pracovat ve dvou módech:

- **Router mód:** Modem pracuje jako standardní IP router, který disponuje rádiovým a ethernetovým rozhraním a dalšími dvěma COM porty.

- **Bridge mód:** V tomto režimu modem přeposílá přijatá data z jakéhokoliv rozhraní na příslušná rozhraní všech jednotek. Například paket přijatý na COM rozhraní je ve vzdálených jednotkách vyslán na oba porty COM 1 a COM 2, tudíž je možno připojit 2 RTU.

Datové rychlosti: Datové rychlosti se odvíjí v závislosti na kanálové rozteči a použité modulaci:

- 83 kb/s při kanálové rozteči 25 kHz
- 42 kb/s při kanálové rozteči 12,5 kHz
- 11 kb/s při kanálové rozteči 6,25 kHz

Modemy jsou vybaveny funkcí Stream mode, která slouží k tomu, aby vysílání do rádiového kanálu začalo bez čekání na konec přijímaného paketu na COM => nulová latence.

Bezpečnost:

- Modemy využívají licenční rádiová pásma
- FEC – metoda zjišťování a opravy chyb vzniklých při přenosu
- CRC32 – kontrola integrity dat na rádiovém kanálu
- AES256 šifrování
- Firewall – filtrování adres
- Přístup k nastavení přes HTTPS
- Optimalizovaný protokol pro potvrzování paketů na rádiovém kanále

Pokrytí:

- Pásma 160, 300, 400, 900 MHz
- Vzdálenost jednoho skoku až do 50 km, není nutná přímá viditelnost
- Vysílací výkon 0,1 – 10 W
- Citlivost:
 - 93 dBm / 83 kb/s / 25 kHz / BER 10e-6
 - 110 dBm / 10 kb/s / 25 kHz / BER 10e-6

Podporované protokoly:

- Modbus, IEC101, DNP3, Comli, DF1, Profibus, IEC104, Modbus TCP
- Zařízení obsahuje Modbus RTU / TCP převodník
- Zařízení obstarává převod sériového protokolu na TPC (UDP) a naopak

Druhy modulací:

- Lineární: 16DEQAM, D8PSK, $\pi/4$ DQPSK, DPSK
- Exponenciální (FM): 4CPFSK, 2CPFSK

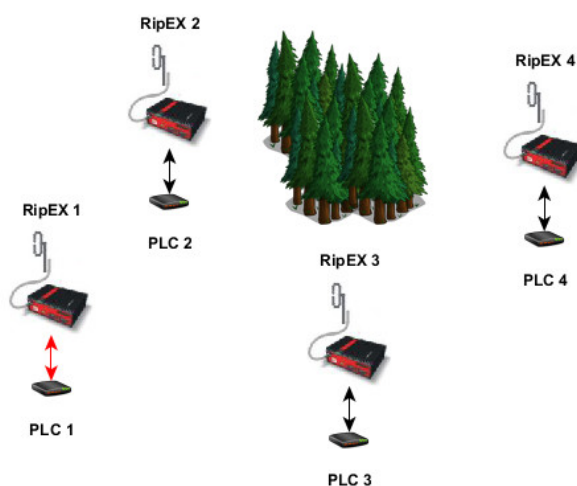
4.3 Bridge mód

V bridge módu jsou pakety přijaté z jakéhokoliv rozhraní rozeslány na odpovídající rozhraní všech jednotek v síti. Například pakety přijaté na rozhraní COM jsou vysílány na všechny rozhraní COM 1 a COM 2 na ostatních RipEX jednotkách. Každá z jednotek může být nastavena jako opakovač. Jedná se o transparentní síť. V síti jsou implementovány bezpečnostní mechanismy, které zabraňují vzniku cyklické smyčky na rádiovém kanálu. Tato smyčka by mohla vzniknout v situaci, kdy opakovač přijme paket od jiného opakovače [9].

4.3.1 Příklad bridge módu

1. krok:

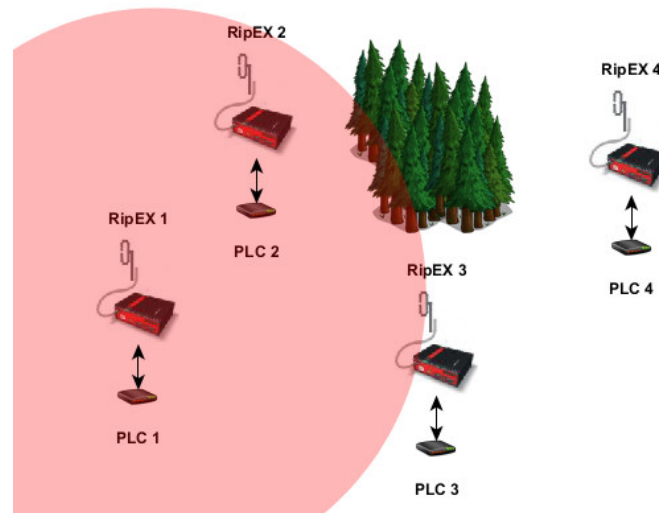
PLC 1 vyšle paket se žádostí o připojení k PLC 2 skrze sériové rozhraní COM 1.



Obr. 4.2: Bridge mód – 1. krok

2. krok:

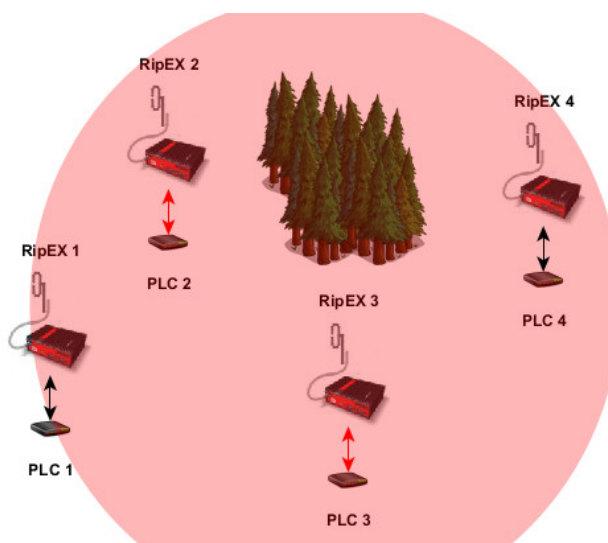
Modem RipEX 1 vyšle všesměrově tento paket přes rádiový kanál. RipEX 2 a RipEX 3 tento paket přijmou. RipEX 4 tento paket však nepřijme, poněvadž není v dosahu vysílání jednotky RipEX 1.



Obr. 4.3: Bridge mód – 2. krok

3. krok:

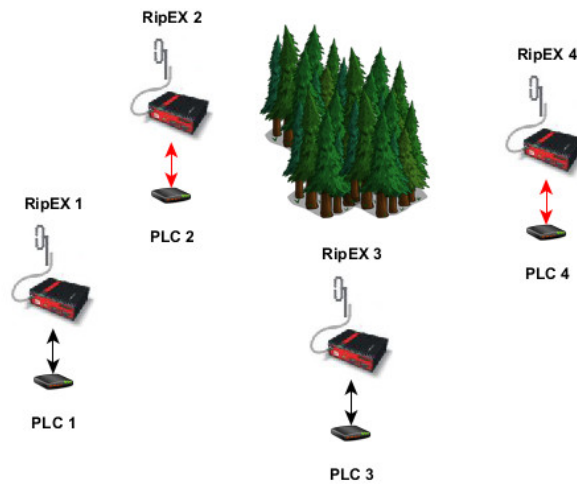
RipEX 2 a RipEX 3 vyšlou tento paket na svá sériová rozhraní COM 1 a COM 2. Paket je adresovaný pro PLC 2, které jediné odpoví. RipEX 3 je nastaven jako opakovač a tento paket přepošle skrze rádiové rozhraní. Paket je tak přijat všemi RipEX jednotkami.



Obr. 4.4: Bridge mód – 3. krok

4. krok:

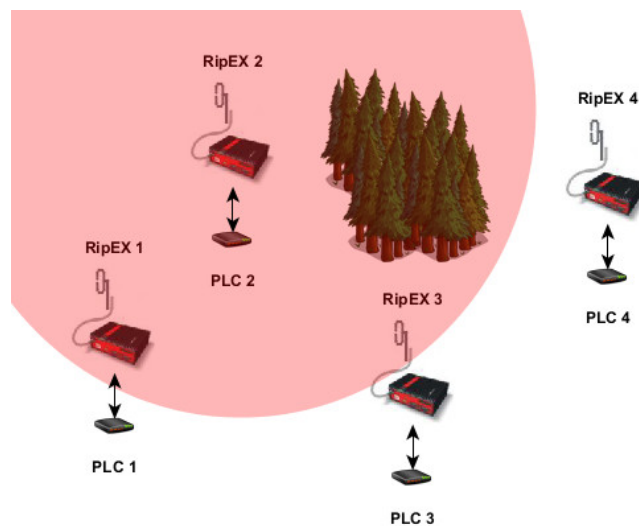
RipEX 4 přeošle zopakovaný paket na svá sériová rozhraní COM 1 a COM 2. PLC 4 však nijak nereaguje, poněvadž je paket adresovaný pro PLC 2. RipEX 1 a RipEX 2 nepošílají opakovaný paket na svá sériová COM rozhraní, protože tento paket již na svá rozhraní odeslaly (RipEX 2), nebo přijaly (RipEX 1).



Obr. 4.5: Bridge mód – 4. krok

5. krok:

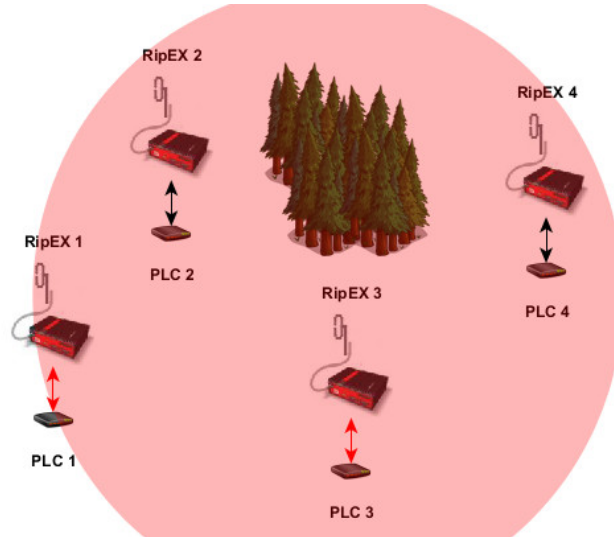
RipEX 2 vyšle všesměrově paket s odpovědí přes rádiový kanál. Paket je přijatý modemy RipEX 1 a RipEX 3.



Obr. 4.6: Bridge mód – 5. krok

6. krok:

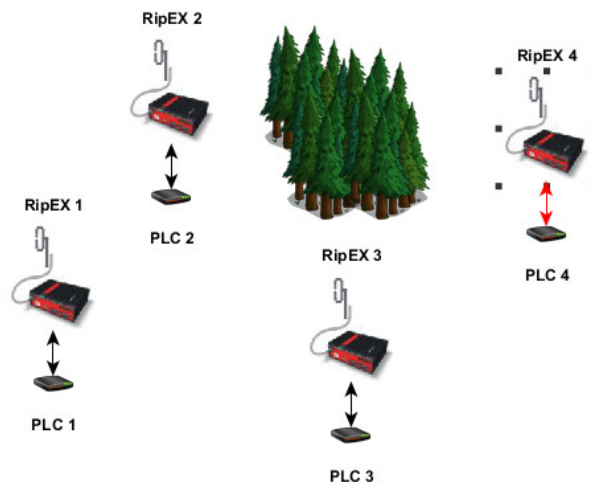
RipEX 1 a RipEX 3 pře pošlou přijatý paket na svá COM rozhraní, reaguje však pouze PLC 1. RipEX 3 zároveň tento paket vyšle skrze své rádiové rozhraní.



Obr. 4.7: Bridge mód – 6. krok

7. krok:

RipEX 4 pře pošle přijatý paket na svá COM rozhraní, ale PLC 4 nijak nereaguje. RipEX 1 a RipEX 2 nepošílají opakovaný paket na svá sériová COM rozhraní, protože tento paket již na svá rozhraní odeslaly v předchozím kroku.



Obr. 4.8: Bridge mód – 7. krok

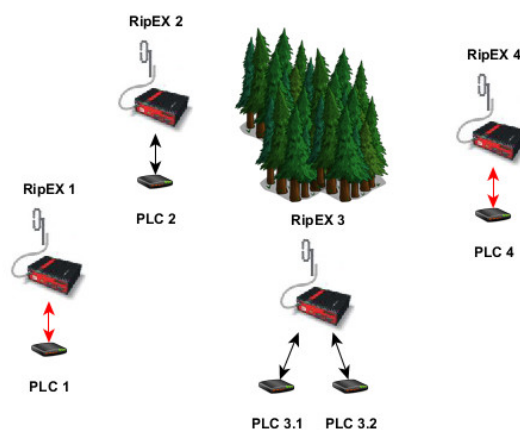
4.4 Router mód

Modemy RipEX fungují v router módu jako standardní IP router s dvěma rozhraními (rádiové a ethernetové) a dvěma zařízeními připojenými přes COM porty. Modemy jsou vybaveny sofistikovaným antikolizním protokolem na rádiovém kanále, který kontroluje každý paket. Na rozdíl od bridge módu má router mód mechanismus potvrzování přijetí paketů a pokud se paket ztratí, je přeposlán znova. Dále nabízí implementaci sériových protokolů SCADA. Mezi další výhody router módu patří DHCP server, implementace firewallu, shaping (funkce zpoždování paketů z ethernetového rozhraní vůči pomalejšímu rádiovému rozhraní), či podpora VLAN [9].

4.4.1 Příklad router módu

1. krok:

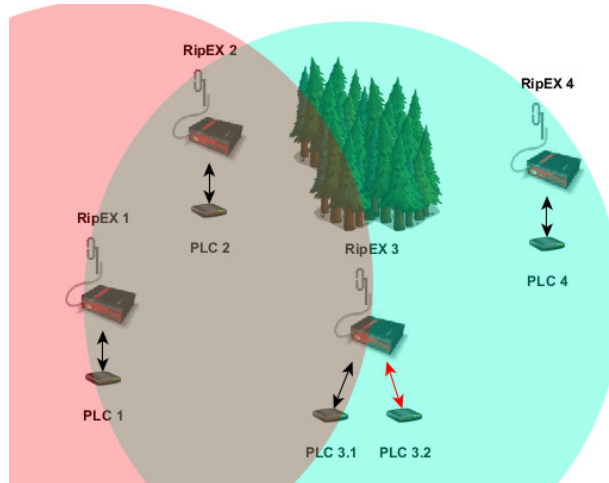
PLC 1 vyšle paket s žádostí o připojení k PLC 3.2 skrze sériové rozhraní COM 1, zároveň PLC 4 vyšle paket s žádostí o připojení k PLC 3.1 skrze sériové rozhraní COM 1.



Obr. 4.9: Router mód – 1. krok

2. krok:

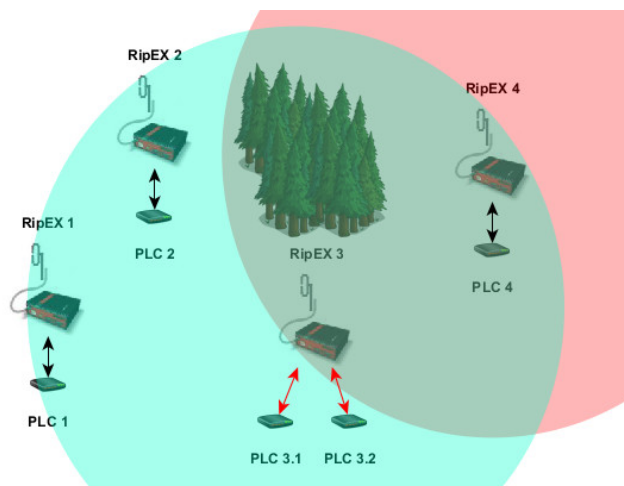
Modem RipEX 1 vyšle paket adresovaný pro RipEX 3 přes rádiové rozhraní. RipEX 3 přijme tento paket, zkontroluje integritu dat a vyšle zpětné potvrzení o správném doručení. Současně je paket odeslán na PLC 3.2 skrze rozhraní COM 2. RipEX 2 přijme tento paket také, ale nereaguje, poněvadž není adresován pro něj.



Obr. 4.10: Router mód – 2. krok

3. krok:

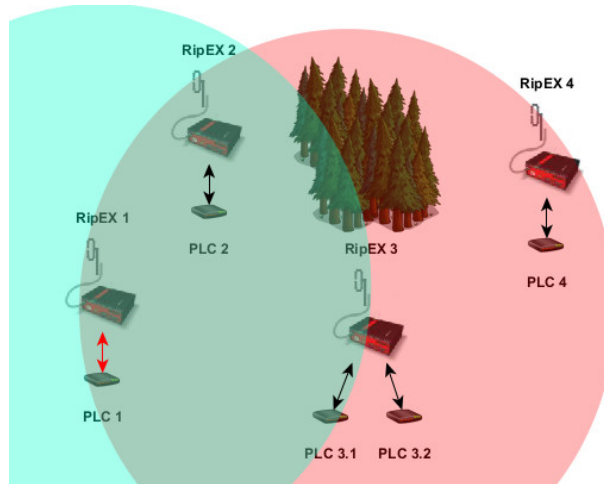
RipEX 4 čeká, až bude předchozí komunikace na rádiovém kanálu dokončena (díky antikoliznímu mechanismu). Poté začne vysílat pakety určené pro PLC 3.1. RipEX 3 tyto pakety přijme, zkontroluje integritu dat a vyšle potvrzení o úspěšně přijatých datech. Následovně je paket odeslán skrze rozhraní COM 1 pro PLC 3.1. Současně PLC 3.2 vysílá odpověď skrze rozhraní COM 2 do jednotky RipEX 3.



Obr. 4.11: Router mód – 3. krok

4. krok:

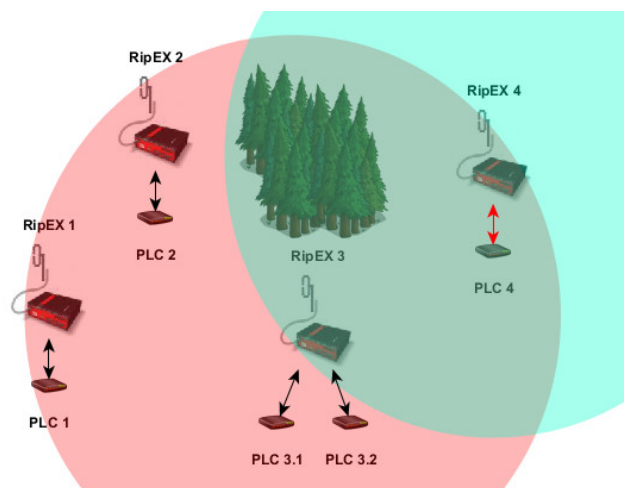
RipEX 3 poté, co dokončí odesílání pro RipEX 4, začne vysílat pakety určené pro PLC 1. RipEX 1 tyto pakety přijme, zkontroluje integritu dat a vyšle potvrzení o úspěšně přijatých datech. Následně jsou tato data odeslána skrze rozhraní COM 1 do PLC 1.



Obr. 4.12: Router mód – 4. krok

5. krok:

Jakmile RipEX 3 ukončí vysílání pro RipEX 1, pokračuje s vysíláním pro PLC 4 připojené na RipEX 4. Následně RipEX 4 odešle potvrzení o přijatých datech a komunikace je ukončena.



Obr. 4.13: Router mód – 5. krok

V případě, že by modem PLC 1 připojený skrze RipEX 1 chtěl komunikovat s PLC 4, veškerá komunikace by probíhala skrze radiomodem RipEX 3, který podle routovací tabulky přešle příchozí pakety na RipEX 4 a naopak.

4.5 Zkušební demo dvou radiomodemů RipEX

Firma Racom nabízí vyzkoušení běžící sítě se dvěma radiomodemy RipEX skrze vzdálený přístup. Přistupovat k nim lze za pomoci identifikačních údajů, které firma Racom nabízí po dobu jednoho týdne. Tyto dva radiomodemy jsou dostupné na následujících adresách:

- RipEX-A: <https://89.190.53.163:8001>
- RipEX-B: <https://89.190.53.163:9001>

Skrze vzdálený přístup byly zjištěny možnosti nastavení radiomodemů a dále byly změřeny přenosové parametry při použití v bridge módu a router módu v závislosti na použitých modulacích.

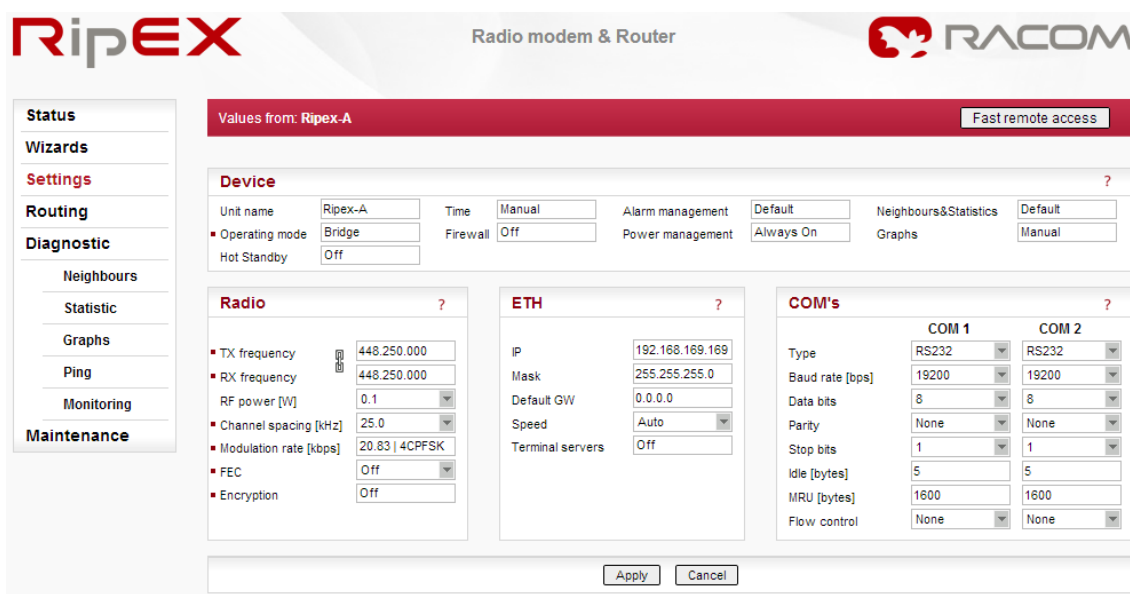
4.5.1 Konfigurace radiomodemů

V demo režimu bylo možné měnit téměř všechny parametry těchto radiomodemů kromě IP adres ethernetového rozhraní, poněvadž při změně IP adresy by došlo k ukončení vzdáleného přístupu. Dále bylo zakázáno nastavovat výkon radiomodemu (RF power) na více než 2 W a to z důvodu, že při větším výkonu by bylo nutné použití přídavného chlazení [11].

Veškerá nastavení probíhají skrze webové rozhraní, které je vidět na obrázku 4.14.

Hlavní menu je rozděleno do několika částí:

- **Status přístroje (Status)** – Zobrazuje základní informace a aktuální nastavené hodnoty zařízení.
- **Průvodce připojení (Wizards)** – Provede v několika krocích nastavení radiomodemu.
- **Nastavení (Settings)** – Popsáno dále v textu.
- **Směrovací tabulky (Routing)** – Slouží k vytváření a editaci směrovacích tabulek. (Dostupné pouze v router módu.)
- **Diagnostický režim (Diagnostic)** – Popsáno dále v textu.
- **Údržba (Maintenance)** – Slouží k zálohování / obnovování konfigurace, vkládání licencí, aktualizaci software.



Obr. 4.14: Nastavení radiomodemu skrze webové rozhraní

Nastavení (Settings): nastavení radiomodemu bylo rozděleno do několika částí:

- **Hlavní nastavení zařízení (General):** V nastavení rozhraní rádiového kanálu byl důležitým bodem výběr modulační metody a kanálové rozteče. Na výběr byly dostupné tyto modulační metody:
 - 2CPFSK (10,42 kb/s)
 - 4CPFSK (20,83 kb/s)
 - DPSK (20,83 kb/s)
 - PI-4DQPSK (41,67 kb/s)
 - D8PSK (62,50 kb/s)
 - 16DEQAM (80,33 kb/s)

V České Republice ovšem nelze použít všechny typy modulací. Český telekomunikační úřad (ČTÚ) vychází z podmínky, že zabraná šířka pásma pro kanálovou rozteč 25 kHz je maximálně 16 kHz. Pro kanálovou rozteč 12,5 kHz pak 11 kHz. V tabulce 4.1 a v tabulce 4.2 jsou popsány možnosti nastavení RipEX modemů na území ČR [10].

Kanálová rozteč	Schválení	Mod. rychlost	Modulace	Emisní kód
[kHz]		[kb/s]		
25	CE	10,42	2CPFSK	13K8F1DBN
25	CE	20,83	4CPFSK	14K2F1DDN
12,5	CE	10,42	DPSK	11K9G1DBN
12,5	CE	20,83	$\pi/4$ -DQPSK	11K9G1DDN
12,5	CE	31,25	D8PSK	11K9G1DEN
12,5	CE	41,67	16DEQAM	11K9D1DEN

Tab. 4.1: Povolení z ČTÚ 25 kHz / zabraná šířka pásma do 16 kHz

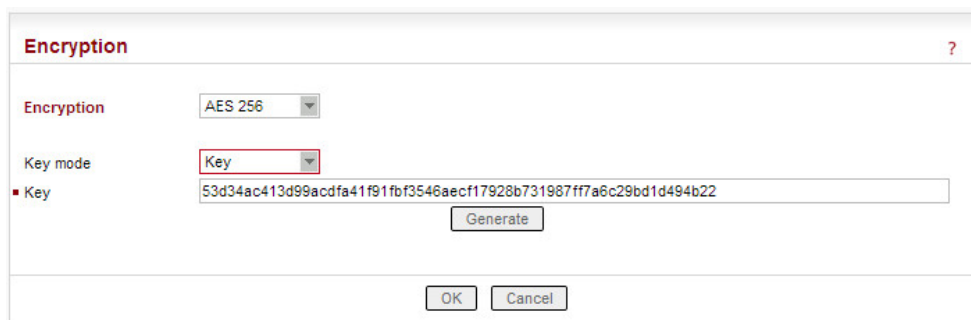
Kanálová rozteč	Schválení	Mod. rychlost	Modulace	Emisní kód
[kHz]		[kb/s]		
12,5	CE	5,21	2CPFSK	7K00F1DBN
12,5	CE	10,42	4CPFSK	7K00F1DDN
12,5	FCC	17,36	$\pi/4$ -DQPSK	10K0G1D
12,5	FCC	26,04	D8PSK	10K0G1D
12,5	FCC	34,72	16DEQAM	10K0D1D

Tab. 4.2: Povolení z ČTÚ 12,5 kHz / zabraná šířka pásma do 11 kHz

Dalším důležitým nastavením rádiového rozhraní byl výběr kmitočtového pásma, na kterém zařízení budou komunikovat. Radiomodemy RipEX mohou pracovat v těchto licencovaných kmitočtových pásmech:

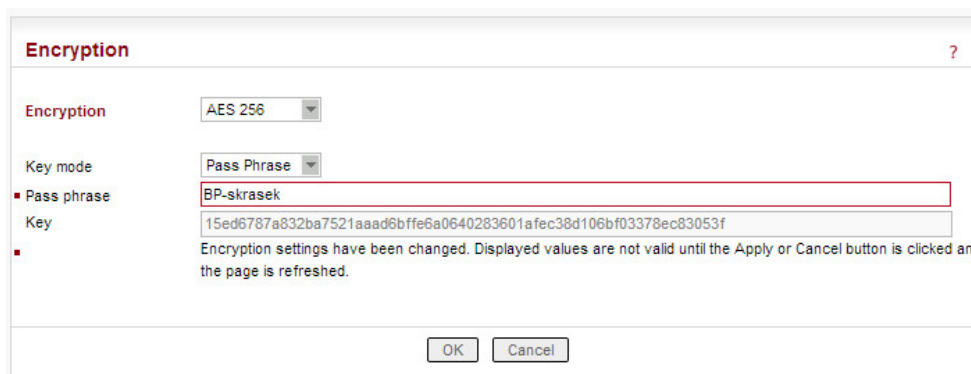
- 135 – 154 MHz
- 154 – 174 MHz
- 300 – 320 MHz
- 320 – 340 MHz
- 340 – 360 MHz
- 368 – 400 MHz
- 400 – 432 MHz
- 432 – 470 MHz

Dále v nastavení bylo možné zapnout či vypnout FEC korekci (metodu zjišťování a opravy chyb vzniklých při přenosu), optimization (službu, která zabraňuje zahlcování rádiového kanálu - pouze v router módu) a encryption (šifrování). Délka časové odezvy (měřeno pomocí nástroje PING) se použitím šifrování prodlouží průměrně o 0,015 sekundy oproti přenosu bez šifrování. Šifrování lze provést dvěma způsoby. První způsob spočívá v opsání vygenerovaného klíče do všech komunikujících jednotek a je zobrazen na obrázku 4.15.



Obr. 4.15: Zašifrování komunikace na radiovém kanále – pomocí klíče.

Druhý způsob spočívá v použití klíčového slova, na základě kterého se vygeneruje kód. Toto klíčové slovo je potřeba zadat do všech komunikujících radiomodemů. Šifrování pomocí klíčového slova je zobrazeno na obrázku 4.16.



Obr. 4.16: Zašifrování komunikace na radiovém kanále – pomocí klíčového slova.

- **Nastavení ethernetového rozhraní (ETH):** Zde lze nastavit IP adresu, masku sítě, výchozí bránu, rychlost připojení, ale také terminal servers (jedná se o funkci, která umožňuje připojení zařízení se sériovým rozhraním k RipEX přes LAN síť, je to virtuální náhrada pro zařízení používané jako sériovo-TCP převodníky).
- **Nastavení sériových rozhraní (COM's):** U COM rozhraní lze nastavit typ připojení (RS232, RS485), přenosovou rychlost, datové bity, paritu, stop bity, čas idle (pauza mezi přijímanými bajty), MRU (maximální velikost přijatých dat - příchozí rámec je ukončen při dosažení nastavené velikosti i v případě, že tok dat pokračuje) a kontrolu toku.

Diagnostický mód (Diagnostic): V tomto módu lze zobrazit sousední zařízení, statistiky všech dostupných rozhraní, grafy, monitoring všech rozhraní a příkaz PING. Na obrázku 4.17 jsou zobrazeny statistiky okolních radiomodemů (Neighbours) včetně lokální jednotky.

Neighbours													
Date	Log start	2013-04-30 15:27		Last upd.	2013-04-30 21:38		Log uptime	06:10:11		Log save period	Manual		
IP		Received headers		RSS	DO	TxLost	Ucc	Temp	PWR	VSWR	Packets [Rx/Tx]		
		Count		[dBm]		[%]	[V]	[°C]	[W]		ETH	COM1	COM2
This unit	Last	-	-	-	-	0	13.3	39.3	0.8	1.5	0 /	0 /	0 /
	Avg	-	-	-	-	0.00	13.07	39.30	0.80	1.50	0	0	0
192.168.169.170	Last	15	-62	239	-	0	28.6	37.3	0.9	2.0	0 /	0 /	0 /
	Avg	-	-62.23	240.46	-	0.00	28.60	37.30	0.90	2.00	0	0	0
RADIO BROADCAST	Last	4277	-62	227	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA /	NA /	NA /
	Avg	-	-62.02	228.81	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Obr. 4.17: Diagnostický mód - okolní radiomodemy

V menu statistik (Statistic) jsou zobrazeny kompletní údaje o přenesených paketech a jejich velikostech na jednotlivých rozhraních jednotky a na rádiovém rozhraní sousedních radiomodemů. Tyto statistiky jsou zobrazeny na obrázku 4.18.

Statistic																
Date	Log start	2013-04-30 15:27		Last upd.	2013-04-30 21:42		Log uptime	06:14:13		Log save period	Manual					
Radio																
IP	Rx Tx	DATA				RADIO PROTOCOL								TOTAL		
		Packets		Bytes		Duplicates	Data error		Rejected		Control packets		Packets			
		count	count/s	total	avg	count	%	count	%	count	%	count	%	count	Bytes	B/s
TOTAL	Rx	4389	0.20	1873399	426.8	0	0.00	0	0.00	-	-	15	0.34	4404	1874239	83.47
	Tx	7844	0.35	3255791	415.1	0	0.00	0	0.00	2	0.03	16	0.20	7860	3256671	145.04
192.168.169.170	Rx	4379	0.20	1872769	427.7	0	0.00	0	0.00	-	-	15	0.34	4394	1873609	83.45
	Tx	7774	0.35	3251365	418.2	0	0.00	0	0.00	2	0.03	0	0.00	7774	3251365	144.81
RADIO BROADCAST	Rx	10	0.00	630	63.0	0	0.00	0	0.00	-	-	0	0.00	10	630	0.03
	Tx	70	0.00	4426	63.2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	16	18.60	86	5306	0.24

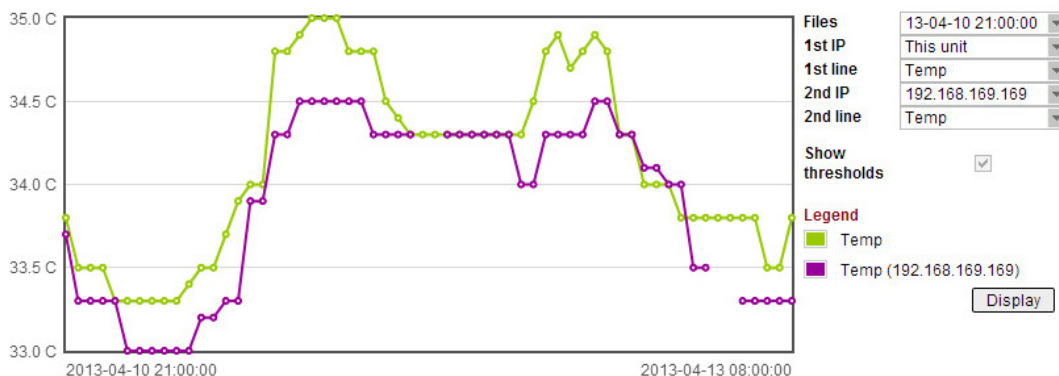
IP error	Header error	False sync.
[count]	[count]	[count]
0	0/0	0

ETH & COM					
	Rx Tx	Packets total		Bytes	
		count	count/s	total	avg
ETH	Rx	0	0	0	-
	Tx	0	0	0	-
COM1	Rx	0	0	0	-
	Tx	0	0	0	-
COM2	Rx	0	0	0	-
	Tx	0	0	0	-

ETH Protocols					
	Rx Tx	Packets total		Bytes	
		count	count/s	total	avg
Modbus TCP	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-
Terminal Server 1	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-
Terminal Server 2	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-
Terminal Server 3	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-
Terminal Server 4	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-
Terminal Server 5	Rx	NA	-	NA	-
	Tx	NA	-	NA	-

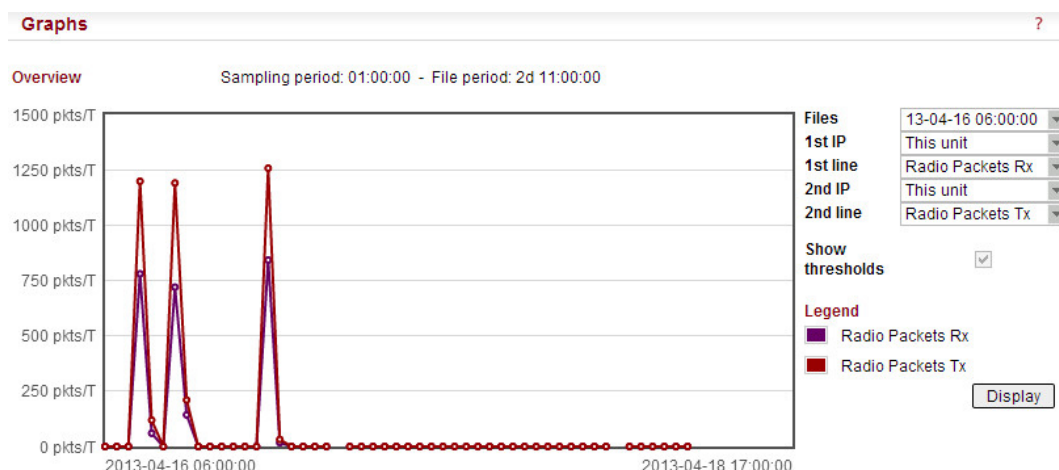
Obr. 4.18: Diagnostický mód – statistiky

Grafy (Graphs) jsou schopny zobrazovat údaje nejen ze své jednotky, ale také z komunikujících jednotek. Na obrázku 4.19 je zobrazen graf s teplotami přístrojů. Zelený průběh zachycuje teploty na lokálním přístroji, zatímco fialový průběh zobrazuje teploty na vzdáleném přístroji s IP adresou 192.168.169.169.



Obr. 4.19: Graf teplot obou radiomodemů

Zobrazovat v grafech lze výkony zařízení, jejich napájecí napětí a teploty zařízení. Dále lze zobrazit statistiky rádiového, ethernetového a sériového rozhraní. U rádiového modulu je možné zobrazit odeslané, přijaté, duplikované, opakované, ztracené a odmítnuté pakety a dále také pakety, u kterých došlo k narušení dat. U ethernetového a sériového rozhraní lze zobrazit pouze odeslané a přijaté pakety. Na obrázku 4.20 lze vidět odeslané a přijaté pakety na jednom z modemů. Odeslané pakety jsou zobrazeny červenou linkou, zatímco přijaté pakety jsou zobrazeny linkou fialovou. Zobrazená komunikace ukazuje zvýšenou aktivitu ve třech místech grafu, kdy byl použit příkaz PING z této jednotky na sousední.



Obr. 4.20: Graf aktivity na rádiovém rozhraní

4.5.2 Měření parametrů modulací

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.5.1, v České Republice je možné využít pouze některé modulace [10]. V této kapitole byly změřeny časové délky a úspěšnosti odezev všech typů modulací s kanálovou roztečí 12,5 kHz podle ČTÚ se zabranou šířkou pásma do 16 kHz. V následujících kapitolách 4.5.3 a 4.5.4 jsou uvedena tato jednotlivá měření:

- Bridge mód (kapitola 4.5.3):
 - velikost časové odezvy v závislosti na velikosti paketu
 - velikost časové odezvy v závislosti na velikosti paketu, použití FEC+AES
 - úspěšnost odezvy v závislosti na velikosti paketu
- Router mód (kapitola 4.5.4):
 - velikost časové odezvy v závislosti na velikosti přenášeného paketu
 - úspěšnost odezvy v závislosti na velikosti paketu

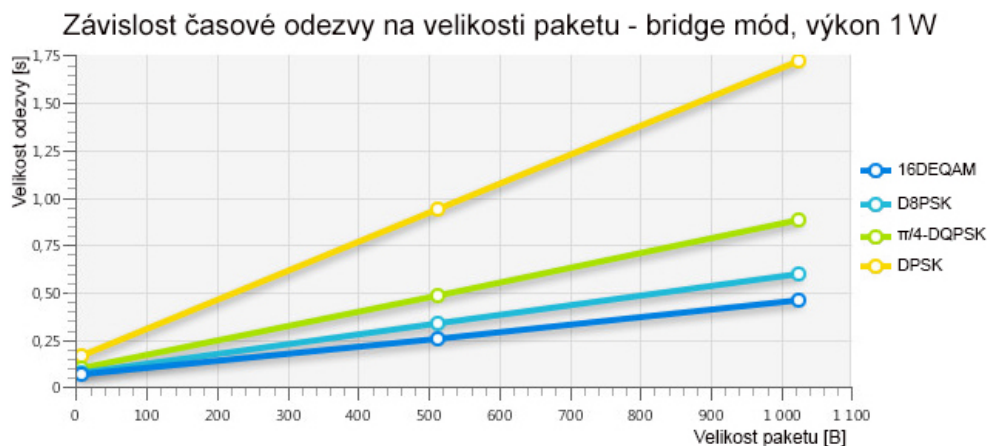
Velikosti paketů byly 8, 512 a 1024 bajtů. Veškeré měření bylo provedeno skrze diagnostický mód webového rozhraní pomocí nástroje na měření odezvy PING. U každého měření se příkaz PING opakoval stokrát a každé měření bylo opakováno třikrát. Výsledné hodnoty byly zprůměrovány. V tabulce 4.3 jsou uvedeny modulace, které byly použity při měření.

Kanálová rozteč	Schválení	Mod. rychlost	Modulace	Emisní kód
[kHz]		[kb/s]		
12,5	CE	10,42	DPSK	11K9G1DBN
12,5	CE	20,83	$\pi/4$ -DQPSK	11K9G1DDN
12,5	CE	31,25	D8PSK	11K9G1DEN
12,5	CE	41,67	16DEQAM	11K9D1DEN

Tab. 4.3: Modulace použité při měření – zabraná šířka pásma do 16 kHz

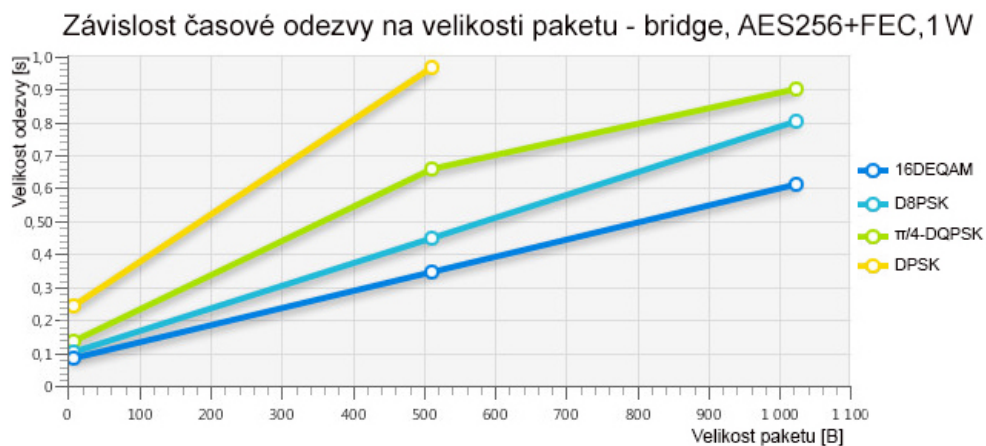
4.5.3 Měření parametrů modulací – bridge mód

V první fázi měření byly radiomodemy nastaveny v bridge módu. Vysílací výkon byl nastaven na 1 W. V grafu na obrázku 4.21 jsou zobrazeny velikosti časových odezev při jednotlivých modulacích. Z grafu vyplývá, že nejkratší odezvu má 16DEQAM modulace, která má udávanou modulační rychlost 41,67 kb/s. Očekávaně nejdelší odezva nastala při použití DPSK modulace, která má modulační rychlost pouze 10,42 kb/s. Například při přenosu paketu velikosti 1024 bajtů byla velikost odezvy 1,72 sekundy u DPSK modulace, přičemž u 16DEQAM modulace tato odezva činila pouze 0,458 sekundy.



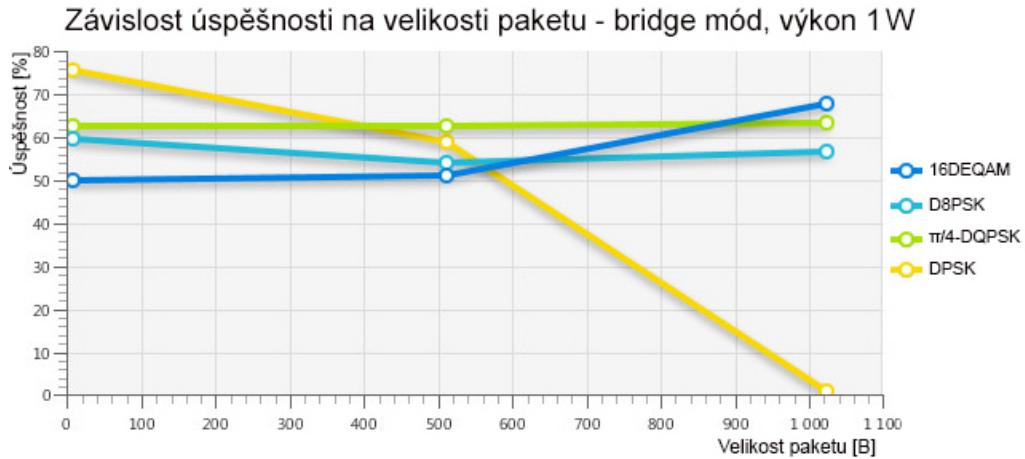
Obr. 4.21: Závislost časové odezvy na velikosti paketu - bridge mód

Stejné měření bylo opakováno s použitím zabezpečení komunikace pomocí šifrování AES256 a s použitím metody zjišťování a opravy chyb FEC. Toto měření je zobrazeno na obrázku 4.22. Z grafu je patrné, že velikost odezvy byla větší u všech měření oproti měření bez použití těchto funkcí. Při velikosti paketu 8 bajtů se odezva prodloužila průměrně o 0,05 sekundy. U 512 bajtů o 0,1 sekundy a u velikosti 1024 bajtů narostla odezva o 0,15 sekundy. U DPSK modulace pak již nebylo možné naměřit hodnotu odezvy při velikosti paketu 1024 bajtů.



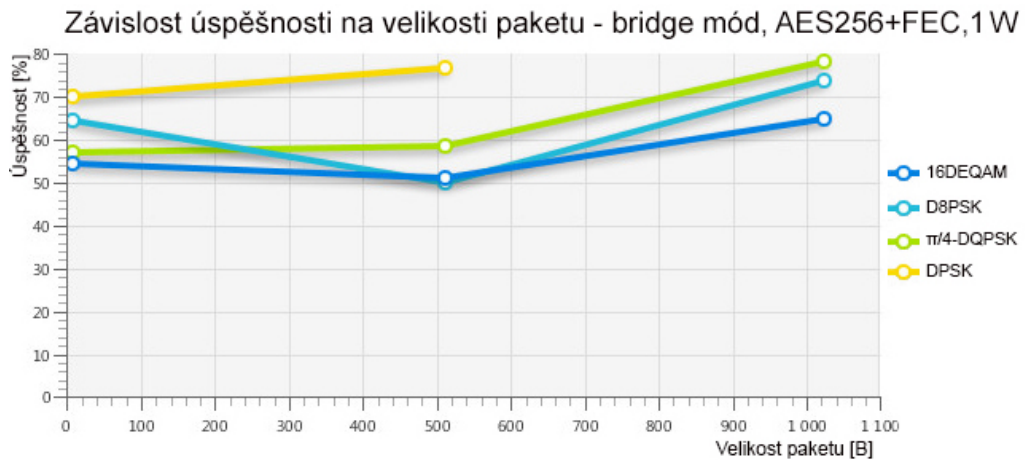
Obr. 4.22: Závislost časové odezvy na velikosti paketu – bridge mód, AES 256+FEC

Během měření byla zaznamenávána i úspěšnost odezvy PING. Poněvadž byl příkaz PING použit stokrát za sebou, počet přijatých paketů odpovídá procentuální hodnotě úspěšnosti. Na obrázku 4.23 je graficky zobrazena úspěšnost při měření bez zabezpečení komunikace a bez použití FEC. Úspěšnost se pohybovala v rozmezí 50 až 70 %. Pouze u DPSK modulace byla při velikosti paketu 1024 bajtů jen 1 %. Při menších velikostech paketu (8 bajtů) byly odezvy u všech modulací nejúspěšnější.



Obr. 4.23: Závislost úspěšnosti na velikosti paketu - bridge mód

Při použití šifrování AES256 a použití FEC korekce se obecně zvýšila úspěšnost odezev při velikosti paketu 1024 bajtů u všech modulací s výjimkou DPSK modulační. Při této modulaci a velikosti paketu 1024 bajtů komunikace nefungovala. Graf úspěšnosti je zobrazen na obrázku 4.24.

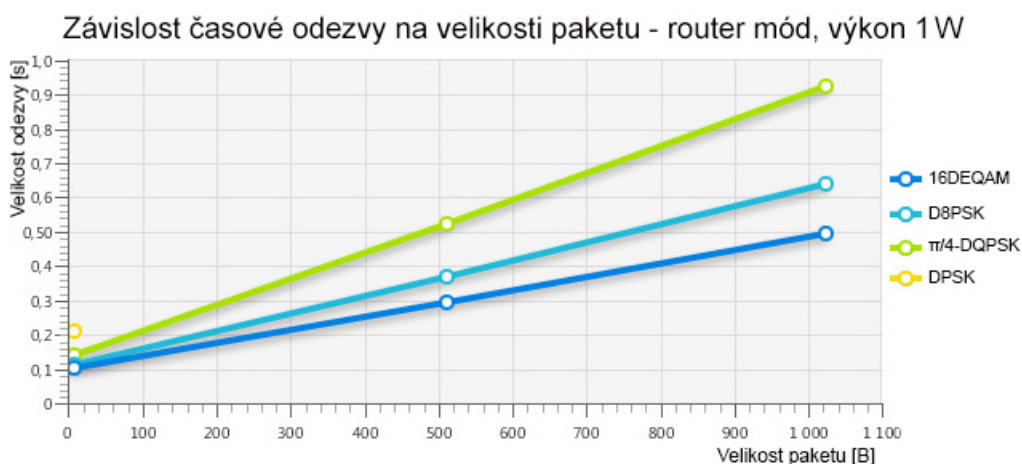


Obr. 4.24: Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – bridge mód, AES 256+FEC

4.5.4 Měření parametrů modulací – router mód

V další fázi bylo totéž měření provedeno při režimu router. Vysílací výkon byl nastaven opět na 1 W. Na obrázku 4.25 je zobrazen graf zachycující závislost časové odezvy na velikosti paketu. V porovnání s bridge módem se odezva prodloužila v průměru o 0,035 sekundy u všech měření s výjimkou DPSK modulační, u které narostla doba odezvy na 10,75 sekundy při velikosti paketu 512 bajtů a 29,35 sekundy při

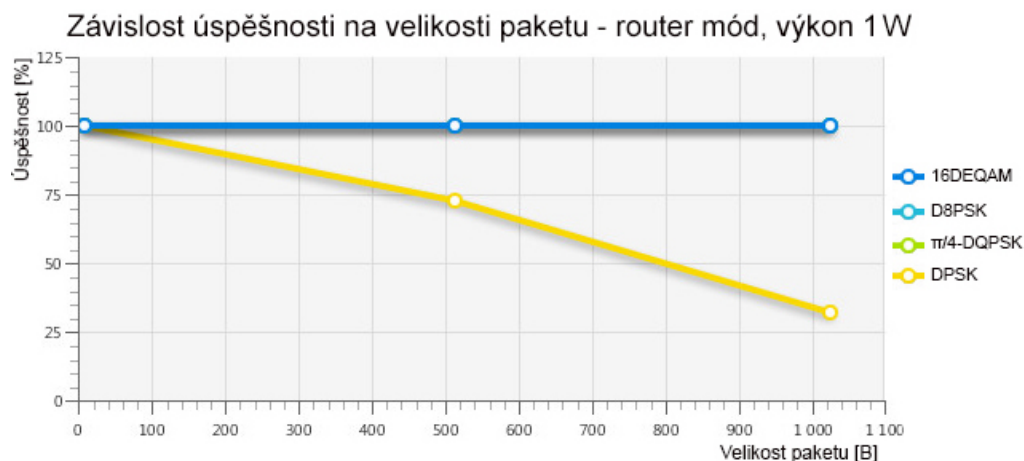
velikosti paketu 1024 bajtů. Poněvadž byly tyto odezvy příliš velké, nebyly do grafu zakresleny, neboť by se zbylé tři průběhy překryly a hodnoty by byly nečitelné.



Obr. 4.25: Závislost časové odezvy na velikosti paketu – router mód, výkon 1 W

Stejně jako u bridge módu následovalo měření se zapnutým šifrováním a FEC korekcí. Zapnutí těchto funkcí mělo podobný dopad na odezvy jako u bridge módu. Velikost odezev se prodloužila v průměru o 0,15 sekundy při všech velikostech paketu.

Úspěšnost odezev se v porovnání s bridge módem změnila poměrně zásadně, její průběhy jsou zobrazeny na obrázku 4.26. U všech modulací, kromě DPSK, byla úspěšnost 100 %. U DPSK modulace klesla na 73 % při velikosti paketu 512 bajtů a na 32 % při velikosti 1024 bajtů.

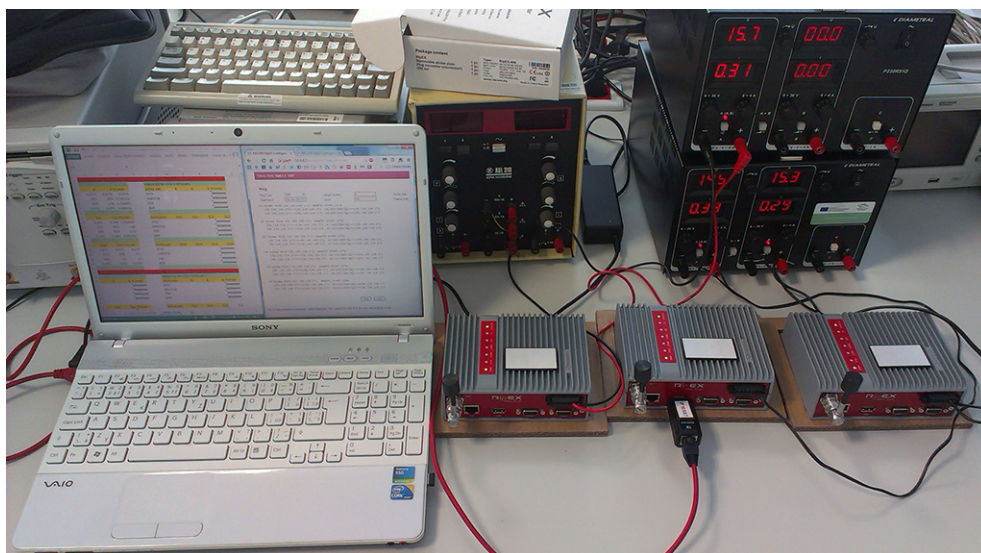


Obr. 4.26: Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – router mód

Úspěšnost odezev se při zapnuté funkci FEC a šifrování nijak zásadně nezměnila oproti stavu bez zapnutí těchto funkcí.

4.6 Laboratorní měření s radiomodemy RipEX

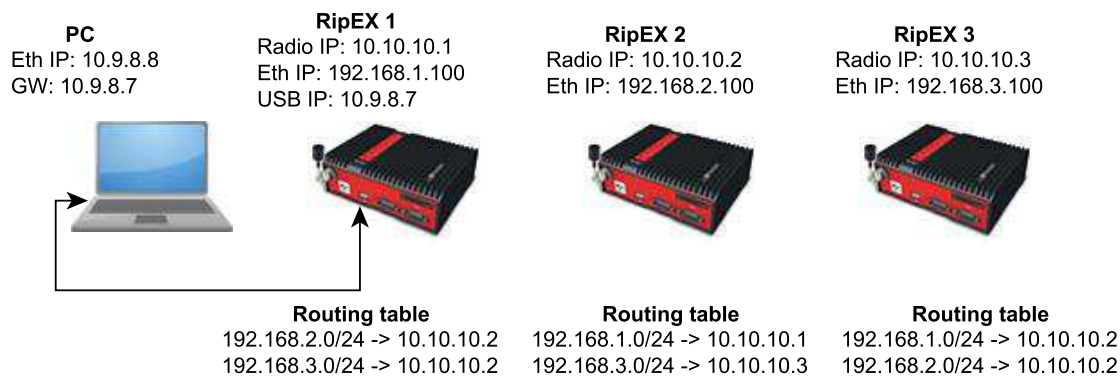
Firma Racom zapůjčila VUT v Brně tři radiomodemy RipEX. Tyto radiomodemy byly vybaveny anténami označovanými jako dummy load (umělá zátěž). Jejich výstupní výkon se mohl nastavovat pouze na 0,1 W. Veškeré měření s těmito radiomodemy bylo uskutečněno v laboratorních podmínkách na VUT. Pracoviště s radiomodemy je zachyceno na obrázku 4.27.



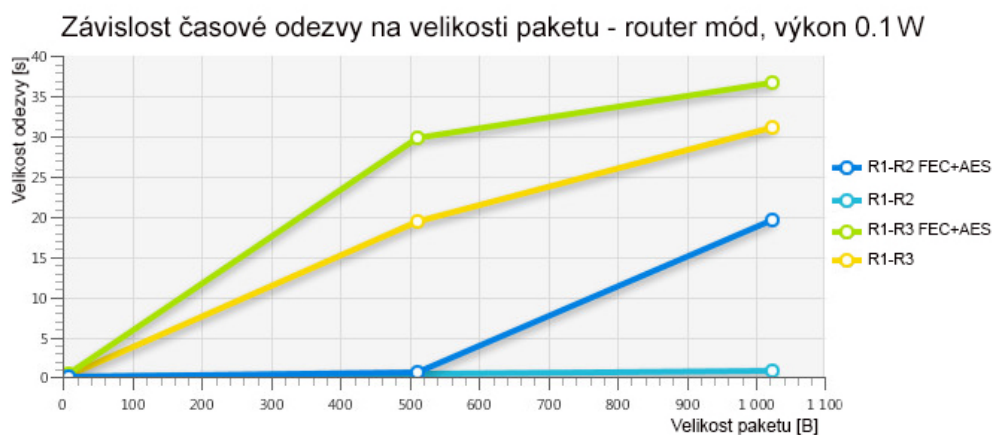
Obr. 4.27: Ilustrační foto pracoviště

Ověření komunikace:

Po úspěšném nastavení (kanálová rozteč 25 kHz, frekvence 400 MHz, modulace 4CPFSK) radiomodemů byla otestována komunikace a naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými přes zkušební demo verzi dvou radiomodemů RipEX. V bridge módu se zjištěné hodnoty nezměnily. Změna nastala až v momentě, kdy byly radiomodemy nastaveny do router módu. Zapojení radiomodemů, včetně přidělených IP adres a směrovacích tabulek, je zobrazeno na obrázku 4.28. K RipEX 1 jednotce byl skrze USB / ETH převodník připojen počítač, přes který bylo načteno konfigurační webové rozhraní. Skrze toto webové rozhraní byl použit příkaz PING nejprve na RipEX 2 a poté RipEX 3. Z údajů ve směrovacích tabulkách vyplývá, že veškerá komunikace s RipEX 3 probíhala skrze jednotku RipEX 2. Na obrázku 4.29 je zobrazen graf porovnávající délku odezvy z RipEX 1 na RipEX 2 a z RipEX1 na RipEX 3 skrze RipEX 2. V grafu jsou dále zobrazeny průběhy při použití FEC korekce a AES256 šifrování.

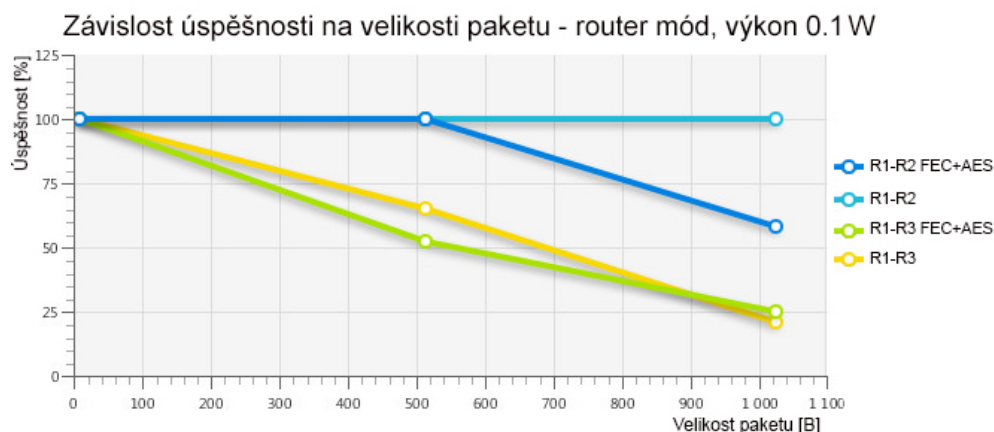


Obr. 4.28: Schéma zapojení radiomodemů



Obr. 4.29: Závislost časové odezvy na velikosti paketu – router mód

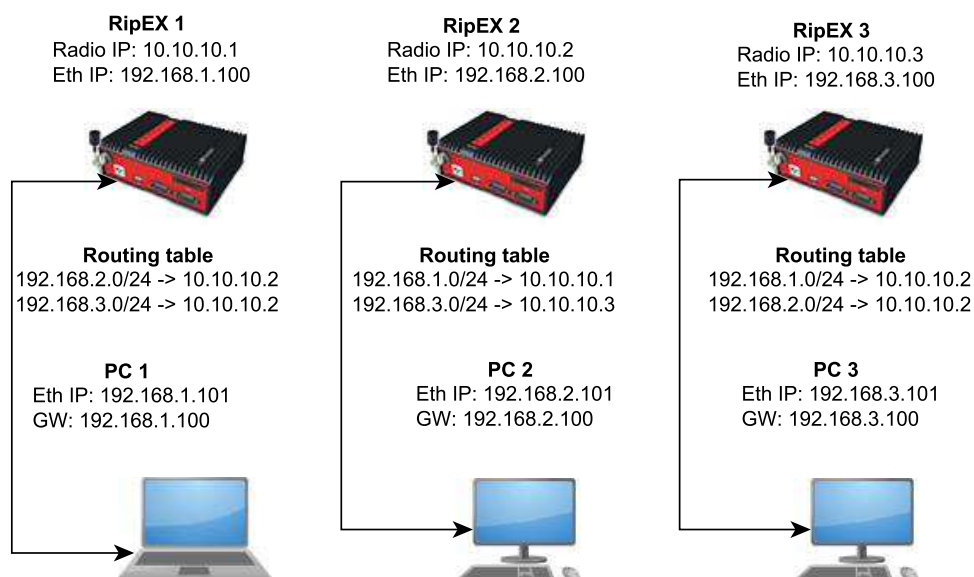
Z grafu vyplývá, že komunikace z RipEX 1 na RipEX 3 (v grafu R1-R3) má při velikosti paketu 512 bajtů odezvu delší o 18 sekund bez použití FEC a AES256, a o 28 sekund při zapnutí těchto funkcí ve srovnání s komunikací z RipEX 1 na RipEX 2 (v grafu R1-R2). Při komunikaci z RipEX 1 na RipEX 3 došlo i ke zhoršení úspěšnosti odezev oproti komunikaci z RipEX 1 na RipEX 2. Závislost úspěšnosti odezev na velikosti paketu je zobrazena na obrázku 4.30.



Obr. 4.30: Závislost úspěšnosti na velikosti paketu – router mód

Komunikace skrze připojené počítače:

Schéma zapojení radiomodemů a tří počítačů včetně všech přidělených IP adres a směrovacích tabulek je zobrazeno na obrázku 4.31. K ověření komunikace mezi jednotlivými počítačovými stanicemi byl použit příkazový řádek a příkaz PING. V první fázi byl použit PING z PC 1 na PC 2. Příkaz PING se opakovал dvěstěkrát a průměrná velikost odezvy činila 143 ms. V druhé fázi byl příkaz PING použit z PC 1 na PC 3. Ze směrovacích tabulek je patrné, že komunikace probíhala skrze radiomodem RipEX 2. PING se opět opakovал dvěstěkrát a jeho průměrná velikost činila 324 ms.



Obr. 4.31: Schéma zapojení radiomodemů

Komunikace skrze sériová rozhraní:

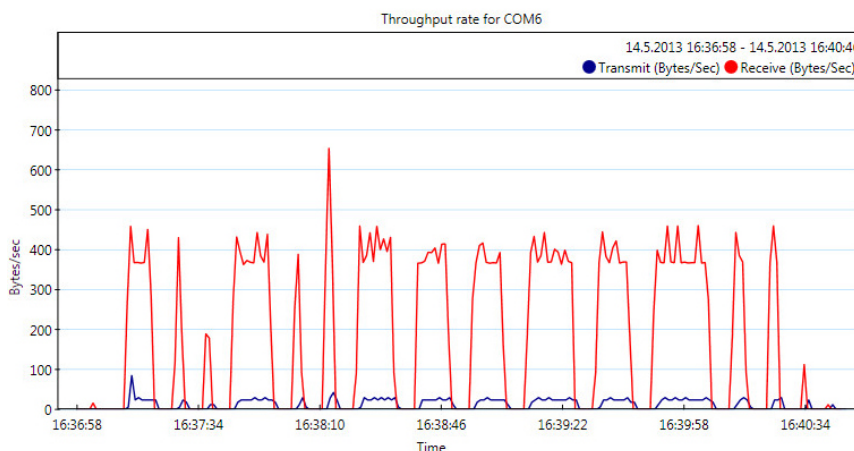
Schéma zapojení radiomodemů a počítačů vybavených sériovým rozhraním COM je zobrazeno na obrázku 4.32. Režim radiomodemů byl nastaven na bridge mód, ve kterém jsou přijatá data na sériovém COM rozhraní odesílána na všechny COM rozhraní ostatních radiomodemů. Komunikace byla realizována pomocí hyperterminálu. Nastavení sériového rozhraní v hyperterminálu a v radiomodemech bylo následující:

- Přenosová rychlost: 19 200 bit/s
- Datové bity: 8
- Parita: žádná
- Stop bity: 1
- Idle: 5 bajtů
- MRU: 1600 bajtů
- Řízení toku: žádné



Obr. 4.32: Schéma zapojení radiomodemů

Přes hyperterminál byl přenášén 32 kB obrázek. Rychlost činila 390 B/s. Komunikace probíhala v blocích, které jsou zobrazeny v grafu na obrázku 4.33. Tyto bloky jsou nejspíše dány parametrem MRU radiomodemů. Ten určuje maximální velikost příchozího rámce. Rámec je ukončen při dosažení nastavené velikosti a to i v případě, že tok dat pokračuje.



Obr. 4.33: Komunikace skrze sériová rozhraní

5 SOUHRN VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

V tabulce 5.1 jsou uvedeny hodnoty získané v rámci měření s PLC modemy ModemTec MT39-L1-R. Z naměřených hodnot je zřejmé, že rychlost komunikace úzce souvisí s výpadky komunikace, které jsou způsobeny zejména rušením od ostatních zařízení v elektrické síti. Naopak se ukázalo, že délka přenosového vedení v rámci desítek metrů nemá podstatný vliv na přenosovou rychlost.

Vzdálenost [m]	Rychlost [B/s]	Výpadky komunikace [počet výpadků/hod]	Poznámka
1	270	6	Laboratorní měření
10	270	11	Mezi dvěma kancelářemi
20	270	6	Laboratorní měření
25	270	8	Mezi dvěma kancelářemi
35	270	20	Bruska na vrtáky
35	90-180	145	3 brusky a vrtačka
50	270	10	Mezi dvěma kancelářemi
60	270	6	Laboratorní měření
80	270	20	Vrtačky a soustruhy
100	180-270	372	Rušení bruskou Dremel 400

Tab. 5.1: Rychlosti přenosu v závislosti na délce – PLC

V tabulce 5.2 jsou uvedeny velikosti časových odezev a úspěšnosti odezev v závislosti na velikosti paketu radiomodemů Racom RipEX. Hodnoty jsou uvedeny pro všechny měřené modulace a pro oba pracovní módy radiomodemů.

Modulace	Velikost / úspěšnost odezvy Bridge mód – [s]/[%]			Velikost / úspěšnost odezvy Router mód – [s]/[%]		
	8 B	512 B	1024 B	8 B	512 B	1024 B
DPSK	0,16 / 75	0,94 / 59	1,72 / 1	0,21 / 100	10,75 / 73	29,35 / 32
$\pi/4$ -DQPSK	0,09 / 62	0,48 / 62	0,88 / 64	0,14 / 100	0,52 / 100	0,92 / 100
D8PSK	0,07 / 59	0,34 / 54	0,59 / 57	0,12 / 100	0,37 / 100	0,64 / 100
16DEQAM	0,06 / 61	0,26 / 67	0,46 / 68	0,11 / 100	0,29 / 100	0,49 / 100

Tab. 5.2: Rychlosti přenosu v závislosti na modulaci – Racom RipEX

6 ZÁVĚR

Z naměřených hodnot úzkopásmových PLC modemů ModemTec MT39-L1-R vyplývá, že při laboratorních podmínkách a při zapojení ve stejném prodlužovacím kabelu komunikovaly stálou rychlostí 270 B/s. Tato rychlost zůstala zachována i při měřeních na vzdálenostech 20 a 60 metrů. U těchto vzdáleností nedocházelo k čas-
tějším výpadkům komunikace než při zapojení ve stejném místě.

Při dlouhodobém měření v prostředí s reálným rušením ve výrobních halách firmy AR-STAL, s.r.o. byly ve většině případů rychlosti komunikace zachovány stejné jako v laboratorních podmínkách. Ukázalo se však, že komunikace je silně omezena, případně i zcela znemožněna, při provozu většího počtu přístrojů s impulzním rušením jako jsou například úhlové či vibrační brusky nebo vrtací soustavy. Měření prokázala, že k přenosu dat v takto zarušených prostorách výrobních podniků nemusí být vždy použítí PLC technologie vyhovující. V takových případech je třeba zvážit možnost použítí vlastních kabelových rozvodů, popřípadě použítí technologie ZigBee.

V části zabývající se komunikací pomocí radiomodemů byly vyzkoušeny všechny v České republice povolené modulace s kanálovou roztečí do 12,5 kHz. Tyto modulace mohou mít podle Českého telekomunikačního úřadu zabranou šířku pásma do 16 kHz. Radiomodem Racom RipEX byl postupně nastaven do obou pracovních módů a v těchto módech byly změřeny závislosti časových odezev na velikosti paketu pro všechny povolené modulace. Při tomto měření byla zaznamenávána i úspěšnost odezev.

Použití bridge módu vykazovalo průměrně kratší časové odezvy o 0,035 sekundy než u router módu. V případě zabezpečení komunikace pomocí AES256 šifrování se délka časových odezev zvětšila průměrně o 0,015 sekundy u všech modulací při všech velikostech paketu. U bridge módu se úspěšnost odezev pohybovala v rozmezí 50 až 75 %, zatímco u router módu byla úspěšnost 100 % až na DPSK modulaci, která při větší velikosti paketu (1024 bajtů) klesla na 32 %. Tato modulace se ukázala jako nevhodná při potřebě přenášet objemnější data v tomto módu. Nejvhodnější pro použítí byla 16DEQAM modulace, která vykazovala nejmenší časové odezvy u všech měření při srovnatelné úspěšnosti s ostatními modulacemi.

LITERATURA

- [1] Automatizované dálkové odečty. *ZPA SMART ENERGY* [online]. 2006 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.zpa.cz/index.php/cz/produkty_a_reseni__1>
- [2] DOSTERT, Klaus. *Powerline communications*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001, 338 s. ISBN 01-302-9342-3.
- [3] GALLI, S.; SCAGLIONE, A.; WANG, Z. *For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid. Proceedings of the IEEE. Vol. 99, No.6, June 2011*
- [4] ISAR. *ModemTec* [online]. 2006 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.modemtec.cz/podpora/produktove-listy/soubory/produktove-listy/ISAR%20manual%20PL.pdf/detail?lang=cz>>
- [5] MOMOH, James A. *Smart grid: fundamentals of design and analysis*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012, xiv, 216 s. ISBN 978-0-470-88939-8.
- [6] MT39-L1-R – Datasheet. *ModemTec* [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z WWW: <http://www.modemtec.cz/documents/MT39-L1-R-datasheet_{1258554521}.pdf>
- [7] PAVELKA, O. *Internet ze zásuvky ? Ano, ale...* [online]. 2000, 5.9.2000 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00034/index.html>>
- [8] PETERKA, Jiří. Powerline, aneb prenos dat po 220 voltech. *IT-NET* [online]. 2001 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <<http://www.earchiv.cz/b01/b0500001.php3>>
- [9] RipEX Radiom modem & Router - User manual. *Racom* [online]. 2012, s. 157 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <<http://www.racom.eu/download/hw/ripex/free/eng/ripex-m-en.pdf>>
- [10] RipEX Radiom modem & Router - Návod k použití. *Racom* [online]. 2013, s. 12 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.racom.eu/download/hw/ripex/free/cz/ripex_m_p-m-cz.pdf>
- [11] RipEX Radiom modem & Router - DEMO handbook. *Racom* [online]. 2013, s. 56 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <<http://www.racom.eu/download/hw/ripex/free/eng/ripex-demo-en.pdf>>

- [12] Smart Grids umožní integrovat obnovitelné zdroje energie do rozvodné sítě. *All for power* [online]. 2009, č. 03 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/UserFiles/files/2009/AFP%203_09_Priloha%209.pdf>
- [13] HomePlug *Svobodna Sit.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <<http://www.svobodnasit.cz/technicka-podpora/homeplug/homeplugav>>
- [14] SOREBO, Gilbert N a Michael C ECHOLS. *Smart Grid Security: An End-to-End View of Security in the New Electrical Grid*. Boca Raton: CRC Press, 2011, xxvi, 302 s. ISBN 978-1439855874.
- [15] Technologie. *ModemTec* [online]. 2006 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <<http://www.modemtec.cz/cz/plc-modem-a-prenosova-trasa>>
- [16] Teorie Powerline technologie. *Takyonet* [online]. 2005 [cit. 2012-4-16]. Dostupné z: <<http://www.takyo.net/teorie-powerline-technologie/>>
- [17] VANČATA , P. Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení. *Access server*[online]. 2005, [cit. 2013-04-15]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=standardizace-sirokopasmovych-systemu-prenosu-po-energetickem/-vedeni&cisloclanku=2005112801>>
- [18] Vytváříme inteligentní síť budoucnosti. *Landis+Gyr* [online]. 2013 [cit. 2013-05-17]. Dostupné z: <<http://www.landisgyr.cz/gridstream-solutions/>>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

- AES Advanced Encryption Standard – symetrická bloková šifra
- ASCOM Astronomy Common Object Model
- BER Bit Error Rate – bitová chybovost
- CE Typové osvědčení EU
- CID Client Interface Device – uživatelský displej
- CNC Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem
- COM Sériový port
- CPFSK Continuous-Phase Frequency-Shift Keying
- CRC Cyclic Redundancy Check – Cyklický redundanční součet
- CTS Clear To Send
- ČSN Česká státní norma
- ČTÚ Český telekomunikační úřad
- D-BPSK Differential Binary Phase Shift Keying
- DHCP Dynamic Host Configuration Protocol
- FCC Federal Communications Commission
- FEC Forward Error Correction – metoda zjišťování a opravy chyb vzniklých při přenosu
- GMSK Gaussian Minimum Shift Keying
- GPRS General Packet Radio Service
- GSM Global System for Mobile Communications
- HTTPS Hypertext Transfer Protocol Secure
- IP Internet Protocol
- LAN Local Area Network – lokální síť
- LED Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo

M-Bus Meter Bus – průmyslový komunikační protokol

NN nízké napětí

OFDM Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

PING Packet InterNet Groper

PLC PowerLine Communication

RTU Remote Terminal Unit

CTS Clear To Send

TCP Transmission Control Protocol

SCADA Supervisory Control And Data Acquisition

USB Universal Serial Bus

VLAN Virtual Local Area Network – virtuální lokální síť

SEZNAM PŘÍLOH

A Obsah elektronické přílohy

66

A OBSAH ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY

Přiložené DVD obsahuje následující soubory:

- BP-Skrášek.pdf