

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA EKONOMICKO - SPRÁVNÍ**  
**ÚSTAV SYSTÉMOVÉHO INŽENÝRSTVÍ A INFORMATIKY**

# **PŘENOS DAT V ELEKTROIZVODNÉ SÍTI**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTOR PRÁCE: Tomáš Růžička**

**VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Milan Tomeš**

**2007**

**UNIVERSITY OF PARDUBICE**  
**FACULTY OF ECONOMICS AND ADMINISTRATION**  
**DEPARTMENT OF SYSTEM ENGINEERING AND**  
**INFORMATICS**

**DATA TRANSMISSION IN**  
**ELECTRICAL DISTRIBUTION**  
**NETWORK**

**BACHELOR WORK**

**AUTHOR: Tomáš Ružička**

**SUPERVISOR: Ing. Milan Tomeš**

**2007**

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta Ekonomicko-správní

Ústav Systémového inženýrství a informatiky

Akademický rok: 2006/2007

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pro: Tomáš Růžička  
Studijní program: Systémové inženýrství a informatika  
Studijní obor: Informatika ve veřejné správě  
Název tématu: Přenos dat v elektrorozvodné síti

Zásady pro zpracování:

- 1) Historie a vývoj PLC
- 2) Technologie a standardizace
- 3) Praktické zkušenosti
- 4) Porovnání s ostatními typy sítí

Seznam odborné literatury:

- [1]MERUNKA, Mirek. Internet po elektrické síti jako oficiální standard [online]. 27. srpna 2004, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=5896>>.
- [2]DOSTALÍK, Jan. Technologie Power Line Communication, aneb Internet v každé zásuvce [online]. 2. srpna 2005, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.easypowernet.cz/PLC/easyPLCx.php?page=TechPLC>>.
- [3]KIRWAN, Shane; SOUTH, Greg. Power Line Networking Technologies broadband potential. [online]. 6. března 2004, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://glasnost.itcarlow.ie/net4/kirwans/bband.html>>.
- [4]MERUNKA, Mirek. Intellon uvádí domácí LAN po elektrické síti na 14 Mbit/s [online]. 21. května 2001, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=2919>>.
- [5]HOCHTEL, Jaroslav. Síť (skoro) bez drátů [online]. 14. července 2005, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <[http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513010-400000\\_d-9c](http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513010-400000_d-9c)>.

Rozsah: 30-40 stran  
Vedoucí práce: Ing. Milan Tomeš  
Vedoucí ústavu: doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.  
Datum zadání práce: 30. 10. 2006  
Termín odevzdání práce:

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Tomáš Růžička

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá technologií přenosu dat po elektrické distribuční síti. Popisuje technické řešení problému, jednotlivé mezinárodní standardy pro přenos dat a uvádí i problémy s elektromagnetickou kompatibilitou. Nedílnou součástí této práce je zhodnocení praktické použitelnosti technologie HomePlug pro vytvoření malé sítě využitím stávajícího rozvodu elektřiny. Dále jsou zde uvedeny výhody a nevýhody technologie a porovnání s ostatními technologiemi pro širokopásmové připojení k internetu a pro vytvoření malé LAN.

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce ing. Milanu Tomešovi za hodnotné rady a odbornou pomoc během mé práce. Další poděkování patří firmám 100Mega Distribution s. r. o. a Tomorrow systems s. r. o. za zapůjčení adaptérů.

## **OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>HISTORIE VÝVOJE A POUŽÍVÁNÍ PLC</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>STANDARDIZACE</b> .....	<b>11</b>
3.1	Homeplug Powerline Alliance (HPA).....	11
3.2	Federal Communications Commission (FCC).....	11
3.3	Open PLC European Research Alliance (OPERA).....	11
3.4	European Telecommunications Standards Institute (ETSI) .....	12
<b>4</b>	<b>TECHNOLOGIE</b> .....	<b>12</b>
4.1	Princip .....	12
4.2	Základní požadavky na přenosové zařízení.....	14
4.3	Kmitočty pro přenos dat.....	15
4.4	Problematika elektromagnetické slučitelnosti.....	16
4.4.1	Rušení okolím.....	16
4.4.2	Vliv PLC na rádiové sdělovací systémy .....	17
4.5	Technologie HomePlug.....	19
<b>5</b>	<b>KATEGORIE PLC</b> .....	<b>21</b>
5.1	Pro použití uvnitř budov.....	21
5.2	Přístupová PLC .....	22
5.3	Kontrolní PLC.....	23
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI</b> .....	<b>24</b>
6.1	Testované HomePlug adaptéry.....	24
6.1.1	WodaPlug WP-A001E.....	24
6.1.2	OvisLink HP-2000E .....	25
6.2	Měření: .....	27
6.2.1	Sklářské stroje Znojmo.....	28
6.2.2	Rodinný dům .....	34
6.3	Zhodnocení.....	38
<b>7</b>	<b>POROVNÁNÍ PLC S OSTATNÍMI TECHNOLOGIEMI</b> .....	<b>39</b>
7.1	Přístupová PLC .....	39
7.2	Použití uvnitř budov .....	40
<b>8</b>	<b>ZHODNOCENÍ PLC SYSTÉMŮ</b> .....	<b>42</b>
8.1	Výhody PLC systémů.....	42
8.1.1	Výhody pro poskytovatele internetového připojení.....	43
8.1.2	Výhody pro koncové uživatele .....	43
8.2	Omezení PLC .....	43
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Princip PLC .....	14
Obrázek 2: Rušení .....	16
Obrázek 3: Využití přenosového pásma 0 až 30 MHz.....	18
Obrázek 4: Schéma PLC pro použití uvnitř budov .....	22
Obrázek 5: Schéma přístupového PLC (BPL) .....	23
Obrázek 6: WodaPlug WP-A001E .....	25
Obrázek 7: OvisLink HP-2000E .....	27
Obrázek 8: Schéma elektrorozvodů v budově .....	29
Obrázek 9: Schéma elektrorozvodů ve výrobní hale .....	30
Obrázek 10: Schéma elektrorozvodů v rodinném domě.....	35

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Technické specifikace WodaPlug WP-A001E .....	24
Tabulka 2: Technické specifikace OvisLink HP-2000E.....	25
Tabulka 3: Přenos 8MB souboru .....	32
Tabulka 4: Přenos 44MB souboru .....	33
Tabulka 5: Výsledky měření v rodinném domě.....	37
Tabulka 6: Porovnání širokopásmových přístupových technologií.....	40
Tabulka 7: Porovnání LAN technologií.....	41

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Rychlost přenosu 8MB souboru .....	32
Graf 2: Rychlost přenosu 44MB souboru .....	33
Graf 3: Přenosové rychlosti.....	37
Graf 4: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti .....	38



# 1 Úvod

Technologie umožňující přenos dat prostřednictvím rozvodů elektrické energie se nazývá Power Line Communication nebo-li PLC, v anglosaských zemích spíše známá jako Broadband over Power Line (BPL). Jedná se o datovou komunikaci po běžné, již existující elektrické síti. Pomocí této technologie lze propojit počítače v širokém okolí bez použití nadbytečných síťových kabelů nebo bezdrátových zařízení. Tato technologie přenosu dat nachází největší uplatnění hlavně tam, kde není možné použít novou datovou kabeláž, zejména z důvodů stavebních úprav, nebo tam, kde je to ekonomicky výhodnější, než budování nové datové sítě.

Kromě kontrolních PLC, které se používají například k přepínání denního a nočního proudu, má tato technologie dvě hlavní využití. První myšlenkou je distribuce internetového připojení přímo do domu, do každé zásuvky. Problémem je však průchodnost signálu přes transformátory na vysokonapěťovém vedení. Proto se zatím uplatňují taková řešení kdy je internet doveden za poslední transformátor směrem k uživateli jinou cestou než po elektrickém vedení.

Další možností využití PLC je vytvoření lokální počítačové sítě v domácnosti nebo kanceláři. Ani v tomto případě není třeba zřizovat nové kabelové vedení, stačí využít dnes už běžně dostupné adaptéry, do kterého se připojí osobní počítač pomocí standardního síťového konektoru a tento modem se zapojí do zásuvky. Stejným způsobem se zapojí ostatní počítače. Z hlediska uživatelů takto propojených počítačů není rozdíl ve využívání takové sítě a sítě LAN vedenou obvyklým způsobem. Připojným bodem se tak stává kterákoliv zásuvka v domě. Rychlost komunikace v takové síti může být až 200 Mbps, což je srovnatelné se 100 Mbps Ethernetem. Takové řešení je výhodné použít hlavně u historických budov, kde je omezena výstavba, případně jako náhrada ethernetu taženého pomocí lištami.

Cílem této práce je objasnit základní principy této technologie, stejně jako přiblížit její vývoj a s ním spojenou mezinárodní standardizaci. Hlavní částí je testování technologie HomePlug v praxi a tím zjistit její možné využití, použitelnost, výhody, nevýhody, objasnit problém s elektromagnetickou kompatibilitou a následně ji porovnat s ostatními technologiemi pro vytvoření LAN a také pro širokopásmový přístup k internetu.

## 2 Historie vývoje a používání PLC

Myšlenka využívat silové vedení k jiným účelům než jen k distribuci energie není nová. Počátky technologie PLC spadají již do počátku 20. století, kdy se v Evropě začaly používat první úzkopásmové systémy tohoto druhu. Nejprve sloužily především k hromadnému dálkovému ovládní. Ve 40. letech byl v USA uveden do provozu systém přenášející telefonní signál do vzdálenosti 30 km. V dalších letech se vývoj technologie PLC soustředil do oblasti automatického distribuovaného řízení a v 70. letech se pak začaly uplatňovat systémy pro dálkový odečet a dálkové ovládní vytápění a klimatizace. Distribuční společnosti využívají elektrické rozvodné sítě k vysílání povelů s využitím tónových kmitočtů pro spínání různých spotřebičů, k přepínání režimů tarifů a řízení optimalizace chodu sítě. Dále je silnoproudé vedení se středním i vysokým napětím vhodné pro nosnou telefonii v oboru kmitočtů 15 – 500 kHz. [8]

Cílený vývoj zaměřený na přenos hlasu, dat i obrazu byl zahájen v roce 1991 ve společnosti Norweb Communication. Byly vytvořeny první prototypy přenosového systému, který byl označen jako PLC. Ve spolupráci s kanadskou firmou NorTel byl realizován první pilotní projekt, který umožňoval rychlý přístup k internetu. Realizace i dosažené výsledky vzbudily obrovský zájem o tento způsob přenosu. Na základě toho byla založena nová společnost Nor.Web, která se již zaměřila na prodej služeb s přenosovým systémem PLC. Do vývoje se pak následně zapojil ALCATEL, Siemens, RWE a švýcarský ASCOM. Některé z těchto firem již vývoj komplexního řešení zcela opustily z důvodů značných problémů, které se týkaly unifikace systému pro různé druhy národních sítí. Do vývoje se naopak v poslední době pustila řada dalších společností. Jedná se především o menší firmy z oblastí Severní Ameriky a jihovýchodní Asie. Usnadněním vývoje PLC bylo pro mnohé firmy vytvoření speciálních integrovaných obvodů, které zahrnují všechny důležité funkce pro zajištění přenosu. Protože jde o integrované obvody relativně levné a dostupné, dá se předpokládat jejich aplikace i řadou dalších firem, ke kterým patří např. Echelon, Intellon, Marrick Ltd, RCA Thompson a další. [8]

Od roku 1997 vývoj v oblasti širokopásmových systémů pokračuje rychle vpřed, o čemž svědčí například skutečnost, že zatímco první systémy nabízely přenosovou rychlost v řádu jednotek Mbit/s, začátkem roku 2004 byl prezentován čip pracující s přenosovou rychlostí až 200 Mbit/s a koncem téhož roku začaly být komerčně nabízeny první systémy s touto rychlostí. [2]

## 3 Standardizace

V současné době mezi nejvýznamnější instituce a sdružení, které pracují na rozvoji technologie PLC a některé z nich i na standardizaci, lze zařadit následující:

### 3.1 Homeplug Powerline Alliance (HPA)

Tato organizace byla založena na jaře v roce 2000 a standard HomePlug 1.0 [3] spatřil světlo světa v červnu roku 2001. Ve sdružení HomePlug Powerline Alliance jsou zastoupeny významné firmy jako Cisco Systems, Devolo, Fujitsu, Hewlett-Packard, Panasonic, Sharp, Sony, Texas Instruments, Motorola a mnoho dalších. Nejvýznamnějším výrobcem chipsetů je firma Intellon, jejíž technologie Power Packet se stala základem pro standard HomePlug 1.0 [3]. V roce 2005 schválila rovněž specifikaci HomePlug AV [4] (200 Mbit/s).

### 3.2 Federal Communications Commission (FCC)

Předpis FCC - část 15 – Radio frequency devices byl upraven a aktualizován, aby pokryl i oblast PLC systémů. Podle tohoto předpisu se systémy PLC určené pro vnitřní aplikace nazývají „Carrier Current Systems“ a pracují jako neúmyslné zářiče. Předpisy FCC část 15 se tedy týkají zařízení nasazovaných do provozu bez potřeby udělení licence, které současně sdílejí frekvenční pásmo s licencovanými systémy. Podle tohoto předpisu PLC systémy jako nelicencované nesmí rušit licencované systémy a naopak musí akceptovat rušení od těchto systémů. [9]

### 3.3 Open PLC European Research Alliance (OPERA)

Evropský projekt na podporu technologie PLC zahájený v lednu 2004 se čtyřletou působností. Je součástí projektu Broadband for All. Náplní projektu OPERA je vyvinout novou generaci zařízení technologie PLC, která by se stala rovnocennou alternativou k ostatním technologiím „poslední míle“ přístupové sítě. Tato standardizovaná a jednotná technologie by měla poskytovat nízkonákladový širokopásmový přístup jak k datovým, tak i hlasovým službám, prostřednictvím energetické distribuční sítě vysokého a nízkého napětí. [9]

V roce 2005 vydala OPERA dokument Specification for Powerline Communications, který obsahuje nové technické podmínky zahrnující realizaci fyzické a MAC vrstvy a dalších součástí širokopásmového systému PLC. Tento veřejný standard by pak měl zajistit plnou vzájemnou spolupráci veškerých PLC systémů. [9]

### **3.4 European Telecommunications Standards Institute (ETSI)**

Za první skutečný návrh na evropské úrovni tak je možné zatím považovat pouze technickou zprávu z roku 2004 s názvem „PowerLine Telecommunications, Radiated Emissions' Characteristics and Measurement Method of State of Art Powerline Communication Network“. Ta vychází z definic CISPR 16, obsahuje však detailnější popis měřicí metody, popis zpracování naměřených hodnot i konkrétní limitní hodnoty vyzařování. [9]

V dubnu 2005 Evropská komise vydala doporučení adresované členským státům Evropské unie týkající se technologie PLC, ve kterém je vyzývá, aby zrušily neopodstatněná omezení bránící rozvoji a nasazování této technologie a dává provozování systémů PLC relativně volnou ruku. Případné konflikty by až do harmonizace systémů PLC v direktivě 89/336/EEC z roku 1992, resp. The Electromagnetic Compatibility Regulations 2005 platné od března 2005, měly řešit příslušné orgány dané země a měly by podle doporučení Evropské komise k problematice přistupovat transparentně, přiměřeně a nediskriminujícím způsobem. Současně by měly pravidelně podávat zprávy o aktuálním stavu nasazení technologie PLC ve svém regionu. [9]

Snahu Evropské komise o vytvoření jednotné a celoevropské standardizované PLC sítě je třeba ocenit, i když tento impulz měl přijít již o několik let dříve a ne až nyní, když již celá řada výrobců nabízí své komerční produkty, které však jsou navzájem zcela nekompatibilní. Otázkou však zůstává, zda projekty na podporu masového nasazení PLC technologie a tím i zvýšení její konkurenceschopnosti, nepřicházejí již pozdě. Jiné technologie, například DSL přípojky, jen v zemích evropské unie v prvním čtvrtletí roku 2005 překročily hranici 35 milionů přípojek a prudký rozmach zaznamenávají také bezdrátové technologie. V globálním měřítku tak technologie PLC bude jen stěží dohánět konkurenční technologie, avšak v určitých oblastech světa by mohla najít široké uplatnění. [9]

## **4 Technologie**

### **4.1 Princip**

Princip datových přenosů po silových rozvodech není nijak složitý - po galvanickém oddělení a "odfiltrování 220 V" zbývá možnost přenášet po silovém vedení

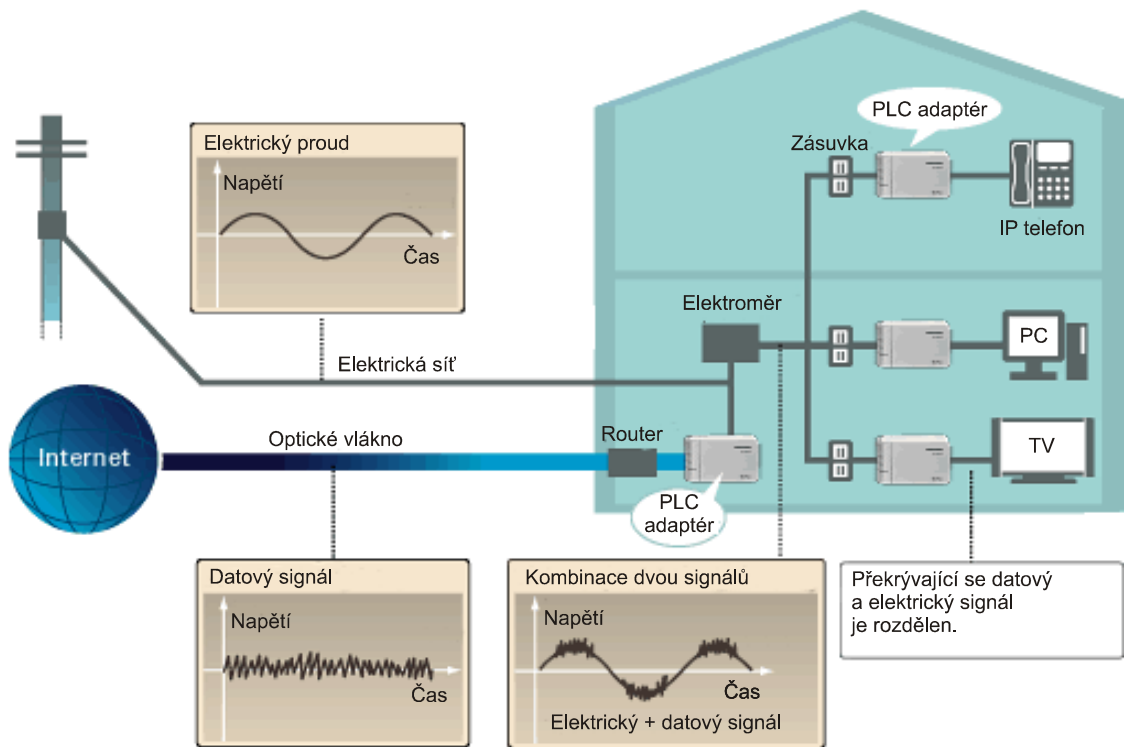
signály vyšších frekvencí, které mohou být vhodně modulovány a "nést" na sobě číslicová data. Praktická realizace je ale velmi náročná nejen kvůli specifickým odlišnostem silových rozvodů v různých zemích, ale zejména kvůli dějům, které v napájecí síti probíhají. Jde zejména o nejrůznější druhy rušení a interference, způsobované hlavně elektrickými spotřebiči - bez zabíhání do přílišných technických detailů je možné konstatovat, že prostředí silových rozvodů napájecí sítě je "velmi nehostinné" k datovým přenosům a vyžaduje velmi propracované techniky modulace a přenosu dat, které by se s touto "nehostinností" dokázaly poprat a dosáhnout co nejvyšších přenosových rychlostí, bez ohledu na momentální stav sítě (na zapínání/vypínání spotřebičů, na jejich chod atd.). Možných řešení je samozřejmě celá řada a ty nejefektivnější nutně musí být adaptivní, neboli musí pružně reagovat na momentální stav v napájecí síti a přizpůsobovat se mu. [9]

Pro ilustraci si naznačme jeden z principů. Jde o tzv. OFDM modulaci, neboli o ortogonální frekvenční multiplex. Modulační přístup OFDM se používá při zemském vysílání digitální televize DVB-T (Digital Video Broadcasting) nebo digitálního rozhlasu DAB (Digital Audio Broadcasting). Tato modulace je využita rovněž v poslední době hodně zmiňované technologii ADSL. Zde se ovšem variace OFDM nazývá DMT (Discrete MultiTone), stejně tak OFDM modulace je použita u bezdrátových sítí standardu 802.11a nebo 802.11g. Pro své schopnosti poradit si s rušením našla modulace OFDM uplatnění i v přenosu dat po rozvodech elektrické sítě. Vychází z toho, že celý rozsah frekvencí které jsou silové rozvody schopny přenášet (tj. celé jejich přenosové pásmo) bude rozdělen na větší počet samostatných frekvenčních kanálů, a v každém z nich se bude přenášet samostatný signál (tzv. nosná). Přitom je průběžně sledováno jak dobře jsou tyto nosné přenášeny, jak moc se na nich projevují nejrůznější rušení, poruchy a další zkreslující a tlumící vlivy, a podle toho jsou buď skutečně využívány pro modulaci a přenos dat nebo naopak využívány nejsou. [9]

Samotná modulace pak probíhá pomalu (s nízkou modulační rychlostí), aby se co nejméně projevoval vliv různých odrazů jednoho a téhož signálu. Data jsou přitom "rozkládána" mezi jednotlivé nosné frekvence (proto "ortogonální" frekvenční multiplex), a to opět adaptivním způsobem, který reaguje na to které nosné frekvence jsou momentálně k dispozici. Výsledným efektem je to, že celková přenosová kapacita silových rozvodů se může dynamicky měnit, podle toho jak se modulace adaptuje na momentální stav sítě a rušení v ní. Pokud mají být v takovéto síti garantovány přenosové kapacity, pak to znamená, že celková přenosová kapacita bude rozdělena na dvě části - jedna bude vždy

stejně velká a bude představovat onu garantovanou kapacitu, vhodnou například pro multimediální přenosy. Zbývající přenosová kapacita, která se bude průběžně měnit podle aktuálního stavu sítě, pak může být využívána pro tradiční datové přenosy, které nemají významnější nároky na garanci přenosové kapacity - například přenosy souborů, elektronickou poštu, případně brouzdání webem atd. [9]

Velmi důležité je uvědomit si, že silové rozvody napájecí sítě se uvnitř objektů (přesněji, za elektroměrem) chovají jako sdílené - pokud se tedy na nich dosáhne určité konkrétní rychlosti, vzniká tím přenosová kapacita která je všemi zařízeními společně sdílena (jde tedy o obdobu sdíleného segmentu v Ethernetu). Na obrázku 1 je zjednodušeně znázorněn princip technologie PLC a modulace datového signálu.



Obrázek 1: Princip PLC [11]

## 4.2 Základní požadavky na přenosové zařízení

- co možná nejrychlejší přenos dat
- zachování původní funkce přenosového média, tj. přenos energie
- zajištění elektromagnetické kompatibility, tj. zamezit rušení ostatních zařízení a ani se jimi nenechat rušit
- vyhovění stávajícím normám

Splnění těchto bodů obnáší seznámení s vlastnostmi silového vedení a s jevy na něm v běžném provozu probíhajícími, a navíc ještě nastudování příslušných norem. Prvotním úkolem silového vedení, ke kterému bylo stavěno, je přenos elektrické energie (výkonu). V drtivé většině všech rozvodů se používá kmitočet 50 nebo 60 Hz. V kontrastu s tímto požadavkem je však požadavek co nejrychlejšího datového přenosu, který vyžaduje použití vyšších frekvencí. A zde se objevuje významný problém, neboť útlumová charakteristika vedení je zhruba rovná od 10 do asi 150 kHz s útlumem kolem 3 dB, pak postupně roste na hodnotu asi 23 dB při 1 MHz a na vyšších frekvencích je závislost útlumu od 22 do 75 dB. Naměřená závislost pochází od firmy Intellon, která prováděla měření na velkém množství rozvodů v domech. Z tohoto proměnného útlumu také vyplývá zkreslení signálu, neboť pro různé frekvence má vedení jiné přenosové parametry. Na velikosti útlumu se podílejí samozřejmě i součásti zcela běžné v silových rozvodech, tj. transformátory a elektroměry měřící množství odebrané elektrické energie. Transformátor bývá většinou společný pro několik domů, ale elektroměr je před každou domácností. Zatímco útlum těchto elektroměrů není malý, ale lze se s ním vyrovnat, nedá se totéž říci o běžných transformátorech. Pro datový signál jsou transformátory téměř nepřekonatelnou překážkou. Jednou z možností řešení je přemostit výkonový transformátor transformátorem mnohem menším s lepšími parametry právě na vyšších frekvencích.

### **4.3 Kmitočty pro přenos dat**

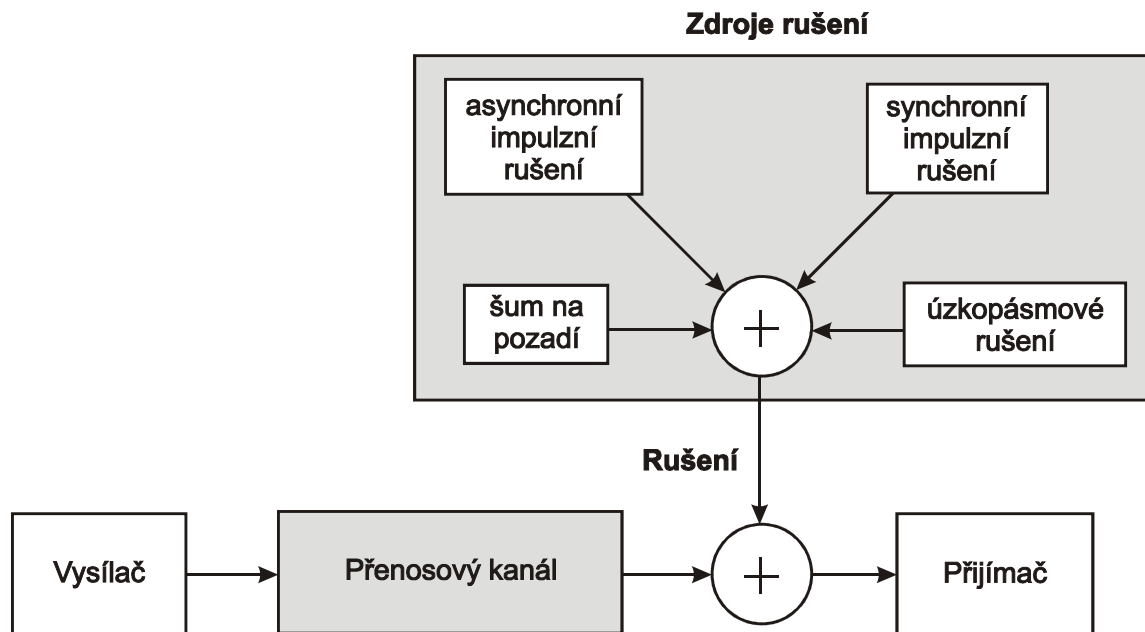
Vysoké objemy dat si vyžadují vysoká frekvenční pásma. Komerčně dodávané systémy PLC používají frekvence mezi 1.6 a 30 MHz. Různá frekvenční pásma jsou dynamicky řízena tak, aby zajišťovala co největší celkovou propustnost dat v síti. Až tři frekvenční pásma mezi 1.6 a 13 MHz jsou používána pro venkovní oblast a až tři frekvenční pásma mezi 4 a 30 MHz pro vnitřní oblast. Frekvence jsou určovány na základě rozsáhlých měření a plánování frekvencí v rámci krátkovlnného pásma, v souladu s běžnými standardizačními pracemi, které vede CENELEC (Evropský výbor pro elektrotechnickou standardizaci). V zásadě je cílem umožnit koexistenci s rádiovými frekvenčními pásmy, které jsou již používány klíčovými krátkovlnnými službami. Signál je rozdělen do jednotlivých frekvencí, tak aby umožnil přepnutí z jednoho pásma do druhého v případě požadavku a deaktivaci v případě místního rušení. Navíc byly nízké frekvence vyhrazeny pro venkovní systém kvůli jejich nižšímu útlumu signálu. Zároveň byla provedena měření k zajištění dostatečného oddělení paralelně fungujícího venkovního a vnitřního systému a k zabránění rušení.

## 4.4 Problematika elektromagnetické sloučitelnosti

V případě systémů PLC je potřeba problematiku rušení rozdělit stejně jako u jiných technologiích na dvě části. Zařízení PLC může buď být objektem rušení produkovaného jinými zařízeními nebo naopak může samo být zdrojem rušení pro ostatní zařízení ve své blízkosti. Problematikou rušení systémů PLC okolím se detailně zabývá řada prací, naopak o rušení produkované zařízeními PLC se zajímají zejména různé radioamatérské asociace, ale i profesionální rozhlasové stanice jako např. britský rozhlas BBC. [14]

### 4.4.1 Rušení okolím

Blokové schéma na obr. 2 znázorňuje možné zdroje rušení, které mohou ovlivnit přenosový kanál zařízení PLC.



Obrázek 2: Rušení [Zdroj – vlastní]

#### 4.4.1.1 Šum na pozadí

Je přítomen v síti vždy, vzniká skládáním velkého počtu zdrojů rušení o nízké intenzitě a jeho parametry jsou proměnné v čase. Je možné ho popsat spektrální výkonovou hustotou (PSD - Power Spectral Density), která s rostoucím kmitočtem klesá. Hodnoty PSD jsou vysoké v rozsahu řádově od desítek Hz do 20 kHz. Na 150 kHz je úroveň PSD řádově tisíckrát nižší než na frekvenci 20 kHz. Na vyšších frekvencích se pak již objevují pouze nízké hodnoty PSD tzv. bílého šumu. [14]



#### **4.4.1.2 Úzkopásmové rušení**

Jeho průběh má tvar úzkých špiček s vysokou PSD. Na frekvencích do 150 kHz ho způsobují zejména spínané procesy, měniče frekvence, zářivky, televize a počítačové monitory. Na vyšších frekvencích toto rušení pak pochází od rozhlasových stanic vysílajících ve středovlnném a krátkovlnném pásmu. Amplituda rušení se může měnit během dne, neboť jak je známo u středovlnného vysílání dochází v noci k zlepšení pokrytí díky odrazům ve stratosféře. [14]

#### **4.4.1.3 Impulzní rušení**

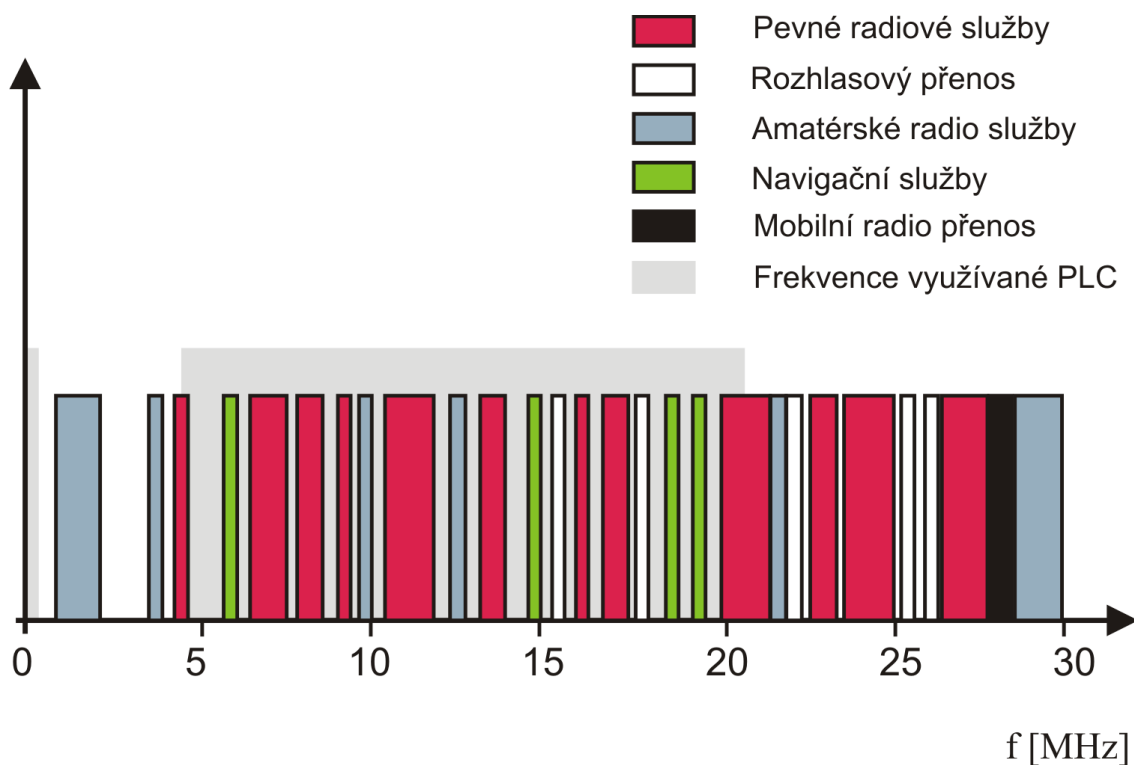
Způsobují ho spínané zdroje, tyristorové regulátory či kolektorové elektromotory. Vyskytuje se v energetických sítích proto velmi často a je charakteristické krátkými napěťovými špičkami o délce trvání od jednotek do stovek  $\mu\text{s}$ , někdy až do jednotek ms, které běžně dosahují úrovně PSD o 10 dB, někdy až o 50 dB, více než šum na pozadí. Impulzní rušení se dále dělí na:

Asynchronní – způsobují ho spínací prvky v distribuční síti

Synchronní – nejčastěji je způsobováno napěťovými konvertory, stmívači. Shluky rušivých špiček se opakují s periodou. V závislosti na délce trvání mohou způsobit výpadek jednoho nebo více bitů v datovém toku PLC signálu. [14]

#### **4.4.2 Vliv PLC na rádiové sdělovací systémy**

Obrázek 3 ilustruje zaplnění frekvenčního pásma, které nás z pohledu PLC zajímá, tedy v oblasti 0 až 30 MHz, nejrůznějšími rádiovými službami. Na první pohled je patrné, že díky obsazenosti pásma zde snadno vzniká možnost vzájemného rušení mezi jednotlivými službami.



**Obrázek 3: Využití přenosového pásma 0 až 30 MHz [Zdroj – vlastní]**

Při přenosu širokopásmových datových signálů, děje-li se formou toku elektrického proudu v obecném vedení, se vedení stává anténou a díky fyzikálním zákonitostem dojde k vyzařování elektromagnetických signálů širokého kmitočtového spektra do prostoru. Tyto signály zasahují do kmitočtů užívaných k vysílání rozhlasu a televize, provozu radiostanic nejrůznějšího účelu, rádiových automatizovaných systémů atp. Vyskytne-li se v dosahu přijímače rádiového zařízení signál vyzařovaný nechráněným datovým vedením, neodvratně dojde k rušení příjmu rádiového signálu až po jeho případné znemožnění. [6]

Přenos sdělovacích signálů kabelovými soustavami není novinkou. Ve sdělovacích sítích je však samozřejmostí, že k přenosu se užívají speciální kabely, jejichž konstrukce účinně brání nežádoucímu vyzařování signálů do okolí, a stejně tak chrání přenášené signály před nežádoucími vlivy okolí. V systémech od počátku budovaných jako systémy sdělovací jsou přenášené signály "uzavřeny", k jejich škodlivému vlivu na okolí dojde jen v případě poruchy, již lze odstranit. [6]

Elektrorozvodné sítě nejsou primárně budovány jako sítě sdělovací a nejsou v nich užívány kabely, jejichž konstrukce by zamezovala vyzařování signálů do okolí. Přivedou-li se do energetických vedení datové signály, je neodvratné jak nežádoucí vyzařování do prostoru, tak rušení provozu rádiových systémů. [6]

Praxe z míst, kde je již technologie PLC/BPL užívána, přesvědčivě ukázala, že skutečně dochází k podstatnému rušení příjmu, především v kmitočtových rozsazích krátkých vln (kde vysílají rozhlasové stanice a množství mezinárodních rádiových sdělovacích systémů) s přesahy do oblasti tzv. prvního televizního pásma (kde vysílají TV a VKV rozhlasové stanice a lokální rádiové sdělovací systémy). [6]

Při rozsahu, v jakém elektrorozvodné sítě penetrují životní prostor člověka, dochází k rušení v přírodě, ve městech i obcích, v každé budově, každé provozovně, každém bytě a každé místnosti. Není před ním úniku: elektřinu potřebujeme všude, proto je všude zavedena, a přicházejí-li s elektrickou energií i datové signály včetně neodstranitelného rušení, pak i k rušení dochází všude. [6]

Výhody technologií PLC/BPL jsou vykoupeny zásadním potlačením oprávněných zájmů uživatelů spektra rádiových vln, neboť z podstaty technologie plyne, že je zdrojem širokopásmového rušení provozu radiokomunikačních sdělovacích systémů. Uživatelé radiokomunikačních systémů jsou všichni občané, primárně jako posluchači a diváci rozhlasu a televize, uživatelé mobilních telefonů atp., sekundárně jako spotřebitelé výrobků a služeb, jejichž produkce je s provozem radiokomunikací spojena (tj. do důsledku téměř všech). Ohroženy jsou však i vojenské, letecké, bezpečnostní a záchranné systémy, které jsou majoritními uživateli kmitočtového spektra. [6]

Legitimní provoz systému, jehož neodstranitelnou vlastností je rušení provozu radiokomunikací, je průlomem do dosud uplatňovaných principů užívání rádiového spektra, a pro všechny uživatele spektra znamená potlačení práv na ochranu nerušeného užívání kmitočtů. Všude, kde byla zatím technologie PLC/BPL použita, nebo kde se její použití připravuje, rostou protesty postižených uživatelů kmitočtů, další a další země přijímají regulační opatření, jimiž jsou negativní dopady provozu PLC/BPL zmírňovány alespoň dodatečně. [6]

## **4.5 Technologie HomePlug**

Základem standardu HomePlug 1.0 [3] se stala technologie Power Packet od firmy Intellon. Standardizovaný adaptér umožňuje komunikovat jak mezi jednotlivými prvky na elektrické síti, tak v klasické ethernetové síti. Zařízení standardu HomePlug 1.0 [3] dovolují komunikovat maximální teoretickou přenosovou rychlostí 14 Mbit/s, v modifikaci HomePlug 1.0 Turbo je to až 85 Mbit/s a standard HomePlug AV [4] dokáže komunikovat rychlostí až 200 Mbit/s. Nad technologií a standardem HomePlug bdí sdružení firem

seskupených pod názvem HomePlug Powerline Alliance. Při přenosu dat se používá upravená modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) s forward error correction. Bezpečnost přenášených dat je chráněna pomocí 56bitového DES šifrování. Produkty HomePlug pracují v pásmu 4,3 – 20,9 MHz a jejich dosah končí s prvním transformátorem. Pro toto pásmo u nás neexistuje žádná norma.

LAN sítě po elektrických rozvodech s využitím technologie HomePlug jsou již delší dobu komerčně běžně dostupnou záležitostí a výrobci PLC modemů počítají prodané kusy v řádech milionů. Zájem o PLC sice značně opadl v souvislosti s mohutným nástupem bezdrátových technologií, jako je především Wi-Fi, ale i tak si své místo na trhu dokáže udržet. Ne všude je nasazení bezdrátových sítí vhodné a zejména zcela laičtí domácí uživatelé oceňují skutečnost, že při instalaci PLC stačí prostě jen připojit zařízení do zásuvky.

Propojování do sítě se začíná prosazovat také u audio/video spotřební elektroniky. Společnost Phonex Broadband již před rokem představila řešení s názvem ReadyWire PLC, který je určen pro tuto třídu aplikací, avšak stále s omezením maximální přenosové rychlosti na 14 Mbps. V roce 2004 na jaře proto HomePlug Powerline Alliance představila novou technickou specifikaci s názvem HomePlug AV [4], která umožní distribuci dat pro audiovizuální zábavní služby, včetně HDTV a SDTV. [7]

Nezbytným předpokladem je však výrazné navýšení přenosové rychlosti, tak aby bylo možné přenášet data na rychlostech v řádu stovek Mbps. Jednu z možných cest pro HomePlug AV je využití ultrawideband technologií, které nejsou pouze záležitostí pro bezdrátové sítě. Využití UWB pro přenos dat po elektrickém vedení nedávno představila společnost Pulse~LINK, která vyvíjí univerzální UWB chipset použitelný rovněž pro PLC.

Technologie UWB je určena pro širokopásmové přenosy na velmi krátkou vzdálenost. Dobře se snáší s jinými technologiemi, není náchylná na rušení a je velice bezpečná vůči odposlechu. V UWB se signál vysílá ve formě miliard velice krátkých pulzů (0,2-1,5 ns) rozprostřených v šířce pásma odpovídající několika GHz (proto ultraširokopásmová technologie). Přenášená informace je zakódována přímo v signálu základního pásma a modulace není potřeba. [12]

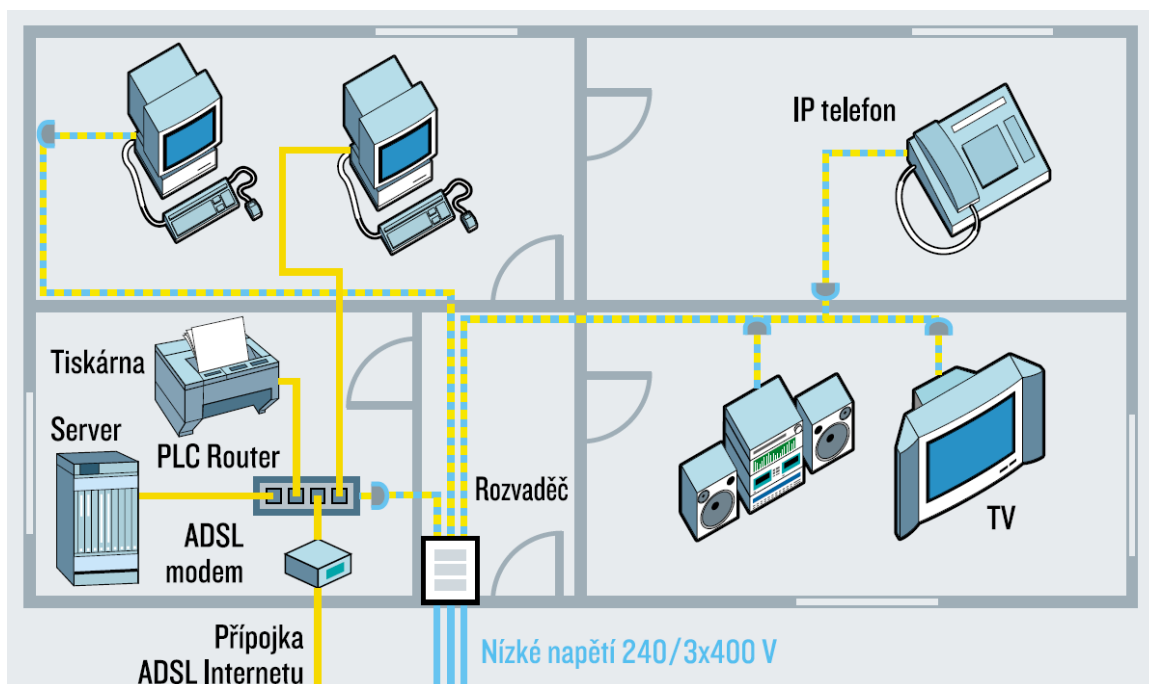
## 5 Kategorie PLC

Dostupná PLC technologie pracuje na rozvodech vysokého a nízkého napětí. Rozvody vysokého a nízkého napětí se tedy dají použít pro snadné vytvoření malých, středních i velkých sítí. Vedení vysokého napětí se dají využít k tvorbě páteřních PLC sítí a k přenosu stavových informací o zařízeních umístěných na elektrických rozvodech jako jsou transformátory, různá řídicí či měřicí zařízení, například i elektroměry, které jsou v každém místě odběru. Vedení nízkého napětí pak k vytvoření přístupových sítí "poslední míle". [1]

### 5.1 Pro použití uvnitř budov

Komerčně dostupná možnost využití je pro domácí nebo kancelářskou počítačovou síť. V tomto případě není třeba zřizovat nové kabelové vedení, stačí využít speciální modem, do kterého se připojí osobní počítač pomocí standardního síťového (ethernet) konektoru a tento modem se zapojí do zásuvky. Stejným způsobem se zapojí ostatní počítače. Z hlediska uživatelů takto propojených počítačů není rozdíl ve využívání takovéto sítě a sítě LAN vedenou obvyklým způsobem. Přípojným bodem se tak stává kterákoli zásuvka v domě.

Rychlost komunikace v takové síti se může pohybovat až kolem 14 Mbit/s při použití technologie HomePlug 1.0 [3], případně až 200 Mbit/s u nejnovějšího standardu HomePlug AV [4], což je srovnatelné s 100 Mbit/s Ethernetem. Řešení je výhodné zejména u historických budov, kde je omezena výstavba, přestavba a montáž žlabů a lišt pro kabeláže, případně jako jedna z variant internetového připojení pro poskytovatele připojení sídlištního typu či jako dočasné řešení pro výstavy, semináře, školení nebo prezentace. Na obrázku 4 je zobrazeno, jak může vypadat PLC síť používaná uvnitř budovy. Technologii lze využít pro přenos jakýchkoliv dat, to znamená internetu, obrazu, hudby, souborů atd.

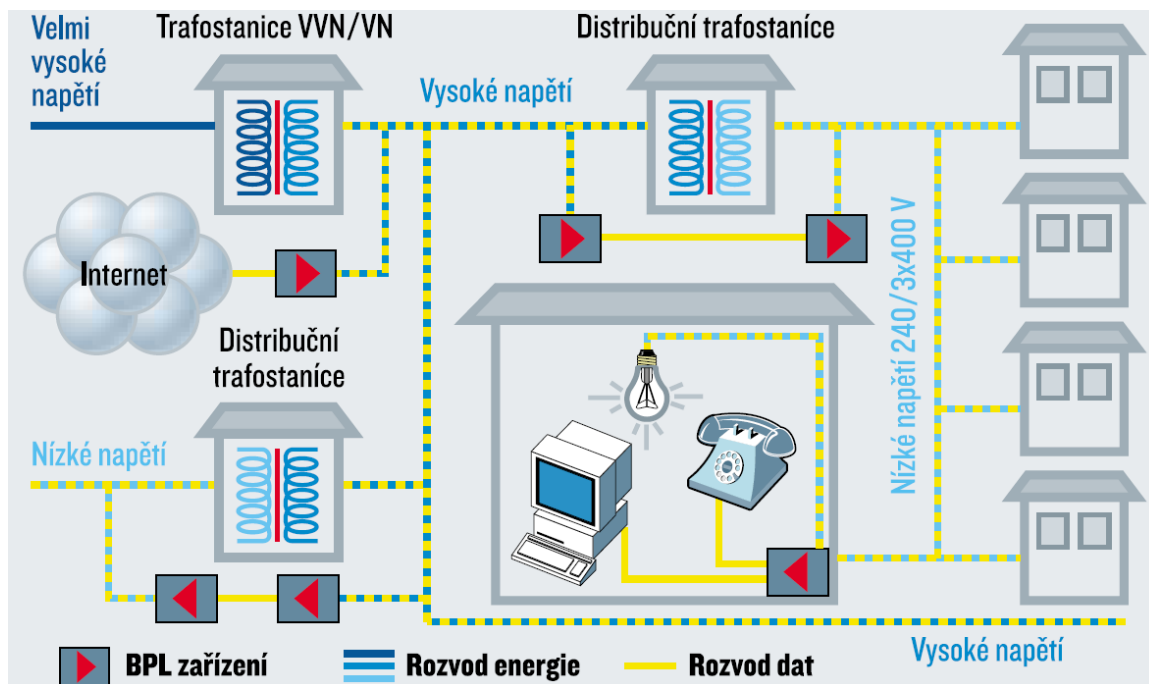


Obrázek 4: Schéma PLC pro použití uvnitř budov [15]

## 5.2 Přístupová PLC

Velmi zajímavá je myšlenka připojení internetu přímo od elektrárny až do zásuvky. Problémem je přenesení vysokofrekvenčního signálu přes transformátory na vysokonapěťovém vedení. Proto se zatím ve větší míře uplatňují taková řešení kdy je internet doveden k uživateli jinou cestou než po elektrickém vedení. V poslední době se však objevují technologie, které umožňují přenos internetu i po vysokonapěťovém vedení.

Jsou používány frekvence v rozsahu od 30 do 300 kHz, s výkonem až do stovek wattů. Tyto signály mohou být vedeny po jednom, dvou, nebo všech třech vodičích vysokého napětí. Několik odlišných PLC kanálů může být spojeno do jedné linky vysokého napětí. Obrázek 5 zobrazuje možné využití tohoto typu PLC.



Obrázek 5: Schéma přístupového PLC (BPL) [15]

## 5.3 Kontrolní PLC

Přenos dat po energetické síti může uživateli v domácnosti nabízet kromě přístupu k internetu také další služby. Mezi ně patří přenos dat pro monitorovací účely v reálném čase a ovládaní domácích spotřebičů, audio a video techniky na dálku, řízení vytápění, klimatizace, osvětlení a zabezpečení domácnosti (proti vloupání, nahlášení zvláštní události, jako je požár apod.). Elektrickou síť lze využít i pro další aplikace, které prostřednictvím jiné komunikace lze prakticky realizovat jen stěží. Mezi specifické služby patří centrální řízení spotřeby energie a využití výhodných časových tarifů. Jednotlivá propojená zařízení by mohla mít vlastní identifikátory (např. IP adresy), na základě nichž by bylo možné jejich funkčnost monitorovat a automaticky zjišťovat jejich poruchy. Dodavatelé elektrické energie mohou technologii PLC využít pro dálkové snímání hodnot elektroměrů. Např. severošpanělská firma Iberdrola využívá PLC o rychlosti 19,2 kb/s čistě pro své vlastní účely - pro automatizovaný odečet elektroměrů (Automated Meter Reading, AMR) a řízení spotřeby energie v reálném čase, spotřebu energie v různou denní dobu a špičky ve spotřebě. [13]

## 6 Praktické zkušenosti

### 6.1 Testované HomePlug adaptéry

K testům byly zapůjčeny dva typy adaptérů, a to WodaPlug WP-A001E a OvisLink HP-2000E. Jejich parametry, které můžete vidět v tabulce 1 a 2 jsou téměř shodné, liší se pouze udávanou maximální rychlostí, která je u WodaPlug 14 Mbps a u OvisLink 85 Mbps. Výrobce adaptéru WodaPlug v manuálu ani na internetových stránkách neuvádí, zda jsou adaptéry kompatibilní se standardem HomePlug 1.0 [3] nebo vyšším a zavádí svůj vlastní standard WodaPlug 1.0. Po zapojení však bez problémů komunikoval se zařízením OvisLink, které splňuje standard HomePlug 1.0 Turbo a se standardem HomePlug 1.0 [3] je zpětně kompatibilní. Podle parametrů a kompatibility těchto adaptérů můžeme usuzovat, že se skutečně jedná o rozšířený standard HomePlug 1.0 [3], případně jeho mírnou modifikaci.

#### 6.1.1 WodaPlug WP-A001E

Následující tabulka znázorňuje technické specifikace zařízení WP-A001E, které udává výrobce. Adapter je vyobrazen na obrázku 6.

**Tabulka 1: Technické specifikace WodaPlug WP-A001E [Zdroj – vlastní]**

<b>Standardy</b>	10 Base-T Ethernet, IEEE 802.3 10 Mbps, Auto MDI/ MDIx podpora 14 Mbps WodaPlug 1.0 kompatibilní
<b>Protokoly</b>	CSMA/CA MAC kontrola
<b>Přenosová rychlost</b>	Max. 14 Mbps
<b>Procedura převodu</b>	Asynchronní
<b>Modulace</b>	OFDM, DQPSK, DBPSK, podpora modulace ROBO Carrier
<b>Kmitočtové pásmo</b>	4,3 MHz — 20,9 MHz
<b>Rozsah</b>	Až 470 m <sup>2</sup>
<b>Zabezpečení</b>	56bitový DES
<b>Podpora platformy</b>	Platformě nezávislé s podporou TCP/IP protokolu a s ethernetovým portem
<b>Indikátory</b>	Indikátor napájení, indikátor spojení, indikátor činnosti (přenosu dat)
<b>Připojení do el. sítě</b>	Standardní síťová vidlice
<b>Rozhraní počítače</b>	RJ45
<b>Spotřeba energie</b>	5,8 W



<b>Napájecí zdroj</b>	Integrovaný zdroj střídavého proudu pro napětí 230 v (pro Evropu) / 120 v (pro spojené státy)
<b>Teplota uskladnění</b>	-25 °C - 70 °C Operace: běžná pokojová teplota
<b>Prostředí</b>	Pokojová teplota, 27 °C, Relativní vlhkost 10 — 90 % (nekondenzující)
<b>Systémové požadavky pro konfigurační utilitu</b>	Ethernetové rozhraní, Operační systém Microsoft Windows 98 SE, Windows ME, Windows 2000, Windows XP a Apple Macintosh OS X 10.2 nebo vyšší
<b>Externí konektory</b>	1 x zásuvka elektrické energie 1 x RJ45 pro 10 Base-T Ethernet
<b>Rozměr (výška x šířka x hloubka)</b>	92 mm x 66 mm x 45 mm
<b>Hmotnost</b>	Přibližně 180 g



Obrázek 6: WodaPlug WP-A001E

### 6.1.2 OvisLink HP-2000E

Tabulka 2: Technické specifikace OvisLink HP-2000E [Zdroj – vlastní]

<b>Standardy</b>	IEEE802.3 10Base-T Ethernet (10 Mbps) IEEE802.3u Fast Ethernet (100 Mbps) HomePlug 1.0 kompatibilní Forward Error Correction (FEC)
------------------	---

<b>Protokoly</b>	CSMA/CA MAC kontrola
<b>Přenosová rychlost</b>	Max. 85 Mbps
<b>Modulace</b>	OFDM DQPSK DBPSK ROBO carrier Modulation
<b>Kmitočtové pásmo</b>	4.3 MHz - 20.9 MHz
<b>Dosah</b>	až 1000 m
<b>Zabezpečení</b>	56bitový DES
<b>Indikátory</b>	Power, LAN Link/Active
<b>Připojení do el. sítě</b>	Standardní síťová vidlice
<b>Rozhraní počítače</b>	10/100Mbps RJ-45
<b>Systémové požadavky pro konfigurační utilitu</b>	Ethernetové rozhraní Windows 98/ME/2000/XP
<b>Externí konektory</b>	1 x zásuvka elektrické energie 1 x RJ45
<b>Rozměr (výška x šířka x hloubka)</b>	98 mm x 63 mm x 29 mm
<b>Hmotnost</b>	190 g



**Obrázek 7: OvisLink HP-2000E [10]**

## **6.2 Měření:**

Následující testy byly navrženy pro změření rychlosti datových přenosů při využití technologie HomePlug. K získání výsledků, které by vyjadřovaly uživatelské zkušenosti a použitelnost této technologie, byly zvoleny dva druhy prostředí – rodinný dům a kanceláře výrobní firmy. Testování probíhalo jednoduchým, ale efektivním způsobem. Po zapojení adaptérů a ověření funkčnosti propojení, začal přenos dat po síti. K tomuto účelu byl použit program Total Commander, který je běžně používán mnoha uživateli. V operačním systému nebyly provedeny žádné změny nastavení síťového připojení, kvůli ověření Plug and Play technologie, kterou disponují tyto adaptéry. Veškeré datové přenosy tedy probíhaly za stejných podmínek, jako při předchozím používání klasického Fast Ethernet připojení, to znamená použitím TCP/IP protokolu a Microsoft Windows sítě. Užitečná rychlost byla měřena přenosem dvou souborů o velikosti 8 MB a 44 MB mezi jednotlivými počítači, které byly propojeny pomocí PLC. Z toho vyplývá, že nebylo účelem použít nějaké uměle vytvořené testovací nástroje, které by možná dokázaly síť lépe využít a ukázat její limity, ale místo toho byly testy soustředěny na využití běžných podmínek, se kterými se setkáváme dnes a denně a tím ověřit reálnou datovou propustnost a funkčnost této sítě.

## 6.2.1 Sklářské stroje Znojmo

První testování čtyř adaptérů WodaPlug WP-A001E a čtyř OvisLink HP-2000E probíhalo v kancelářských i výrobních prostorách společnosti Sklářské stroje Znojmo. Veškeré měření bylo prováděno za běžného provozu, protože jedině tak se projeví, zda je tento systém použitelný v praxi. Důvod je pro to zřejmý – rušení v síti.

Nejdůležitějším faktorem je v tomto případě výrobní hala, která se nachází pouze několik metrů od kanceláří. Během pracovní doby je zde v provozu několik soustruhů, svářeček, vrtaček, brusek a dalších spotřebičů, které mohou způsobovat velmi silné rušení v elektrické síti. Nemůžeme však opomenout ani běžné zářivky, počítače, monitory, kopírky, tiskárny a další zařízení, která také mohou způsobovat rušení a nachází se přímo v kancelářích, takže jsou k PLC adaptérům mnohem blíže a mohou tak částečně ovlivnit funkčnost HomePlug sítě, případně, v extrémních podmínkách, ji úplně znemožnit. Rychlost přenosu dat dále snižuje počet jističů, rozvaděčů a podobných zařízení, kterými signál prochází, přechod signálu mezi fázemi a délka rozvodů. Proto zde byly provedeny testy několika variant propojení na různé vzdálenosti a zapojení adaptérů na různé elektrické okruhy a fáze.

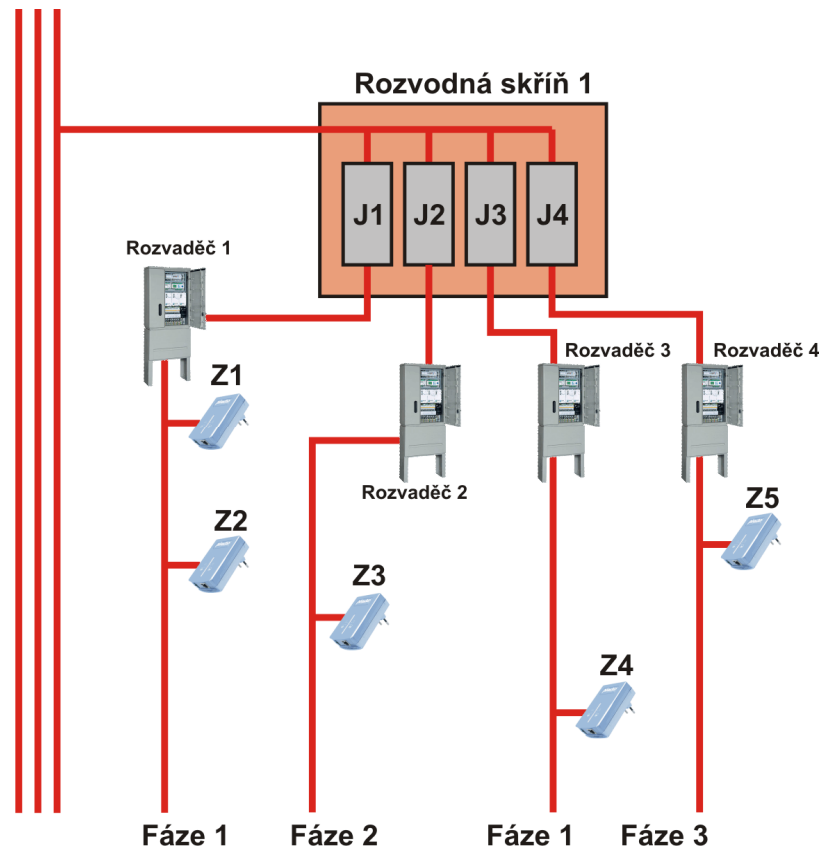
Kromě zapojení v jedné kanceláři byla vyzkoušena také komunikace z jedné místnosti do druhé, ve které byl umístěn záložní server a dále do několik desítek metrů vzdálené serverové místnosti. Nakonec byl proveden test na delší vzdálenost, to znamená z výrobní haly na vrátnici. Podrobné schéma zapojení je uvedeno na obrázku 8. Je třeba dodat, že výsledky měření jsou ovlivněny nejen rušením v síti, ale také komplikovaností elektrických rozvodů, neboť budova kanceláří byla v průběhu existence firmy dostavována. Ve výsledku se tak můžeme setkat s rozvody z hliníku i mědi a především skutečností, že zásuvky elektrického proudu, které jsou od sebe vzdušnou čarou vzdáleny jen několik metrů, jsou zapojeny na různé rozvaděče a vzdálenost po elektrickém vedení může být několik desítek metrů.

### 6.2.1.1 Konfigurace

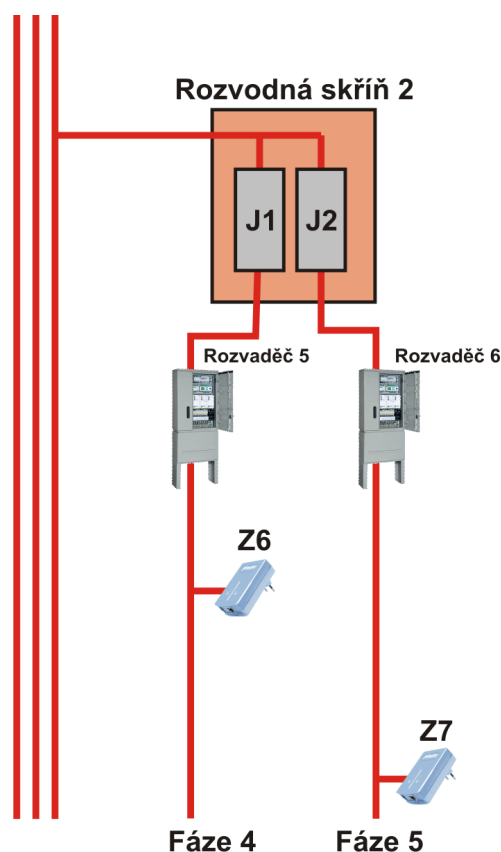
Při tomto měření nebyla zjišťována přesná hardwarová konfigurace každého počítače, protože se ve všech případech jednalo o běžné kancelářské PC a žádný z nich neměl natolik slabé vybavení, aby to jakkoliv ovlivnilo výsledky testů. Většinou se jednalo o počítače s CPU Intel Pentium 4, operační pamětí 1 GB a 100 Mbps síťovou kartou, případně výkonnější konfigurací.

### 6.2.1.2 Podmínky testování:

Na obrázku 8 a 9 uvedeno zjednodušené schéma zapojení elektrických rozvodů ve společnosti Sklářské stroje Znojmo, s. r. o. Značkami Z1 až Z7 jsou znázorněny jednotlivé zásuvky, ve kterých byly připojeny testované HomePlug adaptéry.



Obrázek 8: Schéma elektrorozvodů v budově [Zdroj – vlastní]



**Obrázek 9: Schéma elektrorozvodů ve výrobní hale [Zdroj – vlastní]**

#### **6.2.1.2.1 Zapojení 1**

Jedná se o propojení dvou počítačů v jedné místnosti mezi zásuvkami Z1 a Z2 na obrázku 8. Zásuvky byly od sebe vzdáleny přibližně 5 metrů, zapojeny na jeden elektrický okruh, tudíž i jednu fázi. Prakticky se jedná o nejjednodušší variantu zapojení, protože datovému signálu nestojí v cestě žádné jističe, rozvaděče atd.

#### **6.2.1.2.2 Zapojení 2**

Další měření bylo uskutečněno při zapojení adaptérů do různých kanceláří, mezi zásuvkami Z1 a Z4 znázorněnými na obrázku 8. Místností jsou od sebe vzdáleny pouze několik metrů, rozvody elektrického proudu jsou zapojeny na jednu fázi, ale rozdílné rozvaděče, takže reálná vzdálenost po elektrickém rozvodu byla přibližně 35 metrů. Jde proto o komplikovanější propojení, adaptéry si musí poradit s elektronickými prvky v jednotlivých rozvaděčích a hlavní rozvodné skříni.

### **6.2.1.2.3 Zapojení 3**

Adaptéry byly opět zapojeny v rozdílných místnostech, v zásuvkách Z3 a Z4 na obrázku 8, vzdálenost po elektrickém rozvodu je v tomto případě přibližně 45 metrů. Jedná se o propojení na rozdílné rozvaděče a fáze. Proto jde o velmi náročné zapojení, kdy má datový signál v cestě mnoho elektronických prvků a musí přejít mezi jednotlivými fázemi.

### **6.2.1.2.4 Zapojení 4**

Zapojení podobné jako v předchozím případě, byly použity stejné dvě fáze ale jiné elektrické okruhy. Vzdálenost mezi zásuvkami Z1 a Z3 znázorněnými na obrázku 8 byla opět přibližně 45 metrů.

### **6.2.1.2.5 Zapojení 5**

V tomto případě byl vyzkoušen přenos dat mezi dvěma budovami, kdy elektrické vedení mezi zásuvkami Z1 a Z5 je přibližně 120 metrů dlouhé. Opět se jednalo zapojení na rozdílné rozvaděče a fáze.

### **6.2.1.2.6 Zapojení 6**

Podobné podmínky jako v předchozím případě, s tím rozdílem, že testování bylo uskutečněno ve výrobní hale společnosti na vzdálenost přibližně 150 metrů, mezi body Z6 a Z7 na obrázku 9. Šlo tedy o zapojení na úplně jinou rozvodnou skříň než v předchozích případech, tedy jiné dvě fáze a jiné rozvaděče. Teoreticky se jednalo o nejméně hostinné podmínky v elektrické síti společně s nejdelší testovanou vzdáleností.

### **6.2.1.2.7 Zapojení 7**

Prakticky kombinace zapojení 2 a 3, v tomto případě byl testován souběžný přenos souboru na dva počítače, tedy z bodu Z4 na počítače zapojené v Z1 a Z3 na obr. 8.

### **6.2.1.2.8 Zapojení 8**

Opačný směr přenosu jako v předchozím případě, to znamená z PC zapojených v zásuvkách Z1 a Z3 na PC v Z4.

## **6.2.1.3 Výsledky měření**

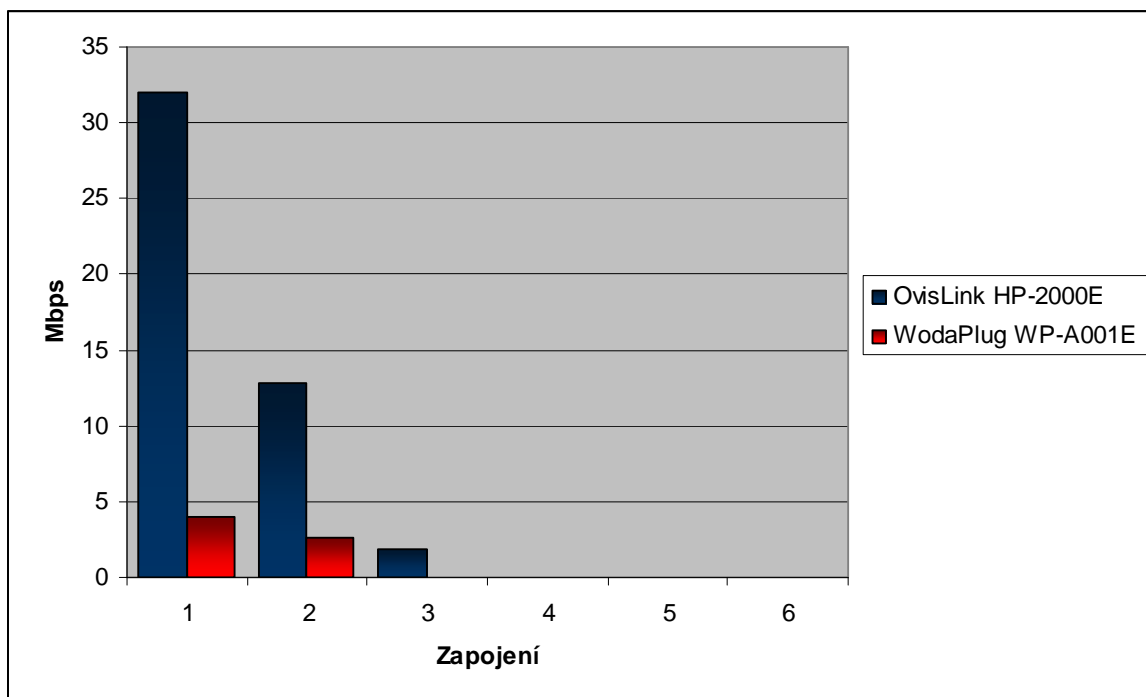
Následující tabulka 3 a graf 1 znázorňují výsledky testů při přenosu souboru velkého 8 MB. V tabulce jsou uvedeny časy, za které byl uskutečněn přenos souboru v jednotlivých podmínkách. Pokud je uvedeno „neproběhl“, znamená to, že síť nebylo

možné při daném zapojení vůbec vytvořit a přenášet po ní data. Dále jsou v tabulkách vypočítány průměrné přenosové rychlosti pomocí vzorce:

$$\text{Rychlost (Mbit/s)} = \text{Velikost souboru (MB)} * 8 / \text{Čas (s)}$$

**Tabulka 3: Přenos 8MB souboru [Zdroj – vlastní]**

Podmínky	Adaptér OvisLink HP-2000E (85 Mbit/s)		Adaptér WodaPlug WP-A001E (14 Mbit/s)	
	Čas (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)	Čas (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)
Zapojení 1	0:02	32,0	0:16	4,0
Zapojení 2	0:05	12,8	0:25	2,6
Zapojení 3	0:33	1,9	neproběhl	0
Zapojení 4	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 5	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 6	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 7	netestováno	-	netestováno	-
Zapojení 8	netestováno	-	netestováno	-



**Graf 1: Rychlost přenosu 8MB souboru [Zdroj – vlastní]**

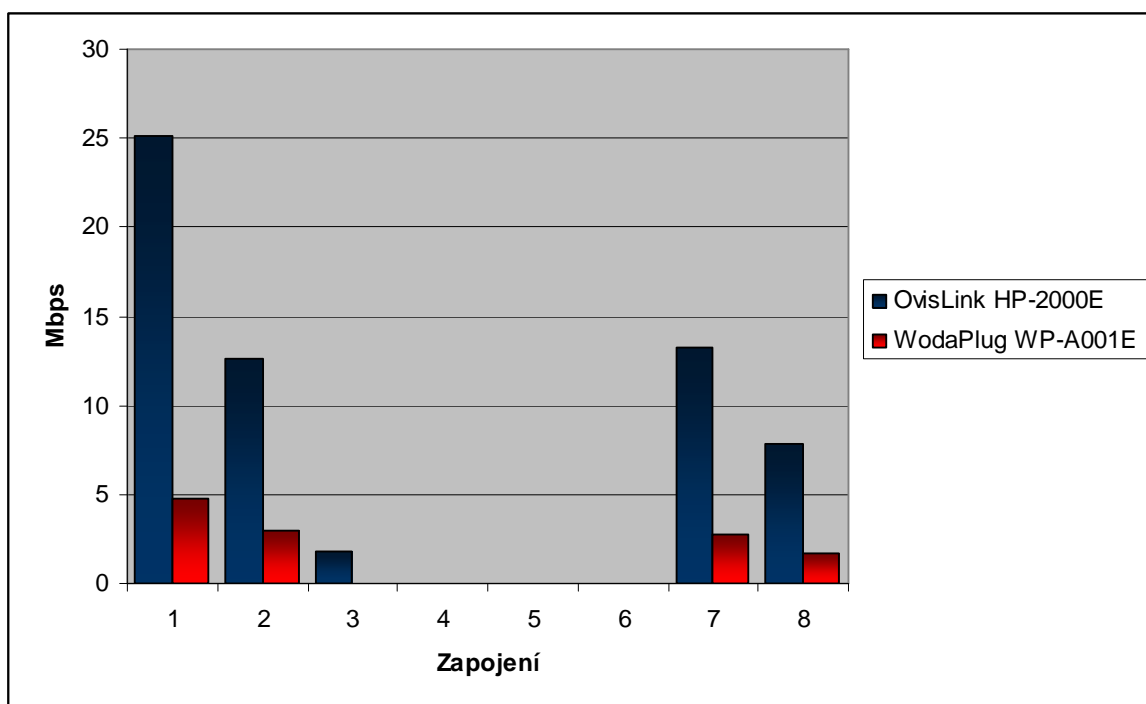
Při přenosu 8MB souboru nebyly provedeny testy při zapojení 7 a 8 kvůli nepřesnostem, které by mohly vzniknout při souběžném měření času přenosu dvou takto malých souborů. V dalším testu, který byl proveden s větším souborem už byla měření provedena, protože zde už bylo menší riziko nepřesností, které by při takovém měření mohly vzniknout.



Následující tabulka a graf znázorňují výsledky testů při přenosu souboru velkého 44 MB.

**Tabulka 4: Přenos 44MB souboru [Zdroj – vlastní]**

Podmínky	Adaptér OvisLink HP-2000E (85 Mbit/s)		Adaptér WodaPlug WP-A001E (14 Mbit/s)	
	Čas (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)	Čas (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)
Zapojení 1	0:14	25,1	1:13	4,8
Zapojení 2	0:28	12,6	1:57	3,0
Zapojení 3	3:15	1,8	neproběhl	0
Zapojení 4	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 5	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 6	neproběhl	0	neproběhl	0
Zapojení 7	PC1: 0:36 PC2: 0:53	PC1: 9,8 PC2: 6,6 celkem: 13,2	PC1: 2:57 PC2: 4:10	PC1: 2,0 PC2: 1,4 celkem: 2,8
Zapojení 8	PC1: 0:59 PC2: 1:30	PC1: 6,0 PC2: 3,9 celkem: 7,8	PC1: 3:18 PC2: 6:41	PC1: 1,8 PC2: 0,9 celkem: 1,7



**Graf 2: Rychlost přenosu 44MB souboru [Zdroj – vlastní]**

Jak je vidět, v některých místech nebylo vůbec možné síť vytvořit, protože útlum nebo rušení signálu bylo příliš vysoké. V těchto podmínkách to lze přisoudit spíše komplikovanosti elektrických rozvodů, než vzdálenosti, na jakou byly adaptéry zapojeny. Při zapojení adaptérů na jednom elektrickém okruhu, byla komunikace bezproblémová. Rychlost přenosu dat se prakticky blížila maximu, které lze dosáhnout. S rostoucí

vzdáleností přenosová rychlost samozřejmě klesá. Závažnější příčinou pomalých datových přenosů jsou však elektrické prvky, jako rozvaděče a jističe, přes který musí signál projít. Nelze však obecně říci, co konkrétně způsobuje tyto problémy, pravděpodobně se jedná o souhrn všech zmíněných příčin.

Zvláštní pozornost si zaslouží výsledky zapojení 7 a 8, při kterých byly sítě přenášeny dva soubory souběžně. V prvním případě probíhal přenos dvou souborů z jednoho PC na jiná dvě PC. Z výsledků lze vyzorovat, že rychlost se dělila mezi tyto dva přenosy podle toho, který adapter mohl lépe komunikovat s adaptérem v Z4. Za 53 vteřin bylo přeneseno  $2 * 44$  MB, z toho vyplývá průměrná přenosová rychlost celé sítě 13,2 Mbit/s. Jiná situace ovšem nastává při zapojení 8, kdy tyto dva adaptéry odesílají zároveň dva soubory adaptéru v Z4. Přenos v tomto případě trvá 90 sekund a průměrná přenosová rychlost je pouze 7,8. Tento rozdíl lze přisoudit nedokonalé kolizní metodě, kdy se dva souběžně vysílající adaptéry v jedné síti vzájemně ruší.

## 6.2.2 Rodinný dům

Další měření byla uskutečněna v méně náročných podmínkách – ve větším rodinném domku, kde datové přenosy nejsou tolik rušeny okolními spotřebiči a komplikovanými elektrickými rozvody jako ve výše zmiňované strojírenské firmě. Na druhou stranu jde o přibližně 25 let starou stavbu, v níž jsou použity hliníkové rozvody, které pro PLC rozhodně nejsou ideální. Opět bylo zvoleno několik variant zapojení.

Testování probíhalo pomocí jednoho osobního počítače a jednoho notebooku. Právě kvůli použití osobního počítače bylo testování částečně omezeno na využití zásuvek v jedné místnosti, v dosahu síťového kabelu vedoucího od PC do HomePlug adaptéru. Jako druhý počítač byl použit notebook, který bylo možné připojit kdekoliv jinde v domě. Další omezení vyplývá z možnosti zapojit pouze dva počítače, takže dva adaptéry. Souběžné zapojení více adaptérů v elektrické síti bylo však provedeno v prvním testu, který je popsán výše.

### 6.2.2.1 Konfigurace

Níže je uvedena konfigurace počítačů, které byly využity pro testy. Opět se jedná o dostatečně výkonné sestavy, které by neměly jakkoliv ovlivnit výsledky testů.

#### **Notebook:**

- CPU Intel Core Solo 1,86 GHz

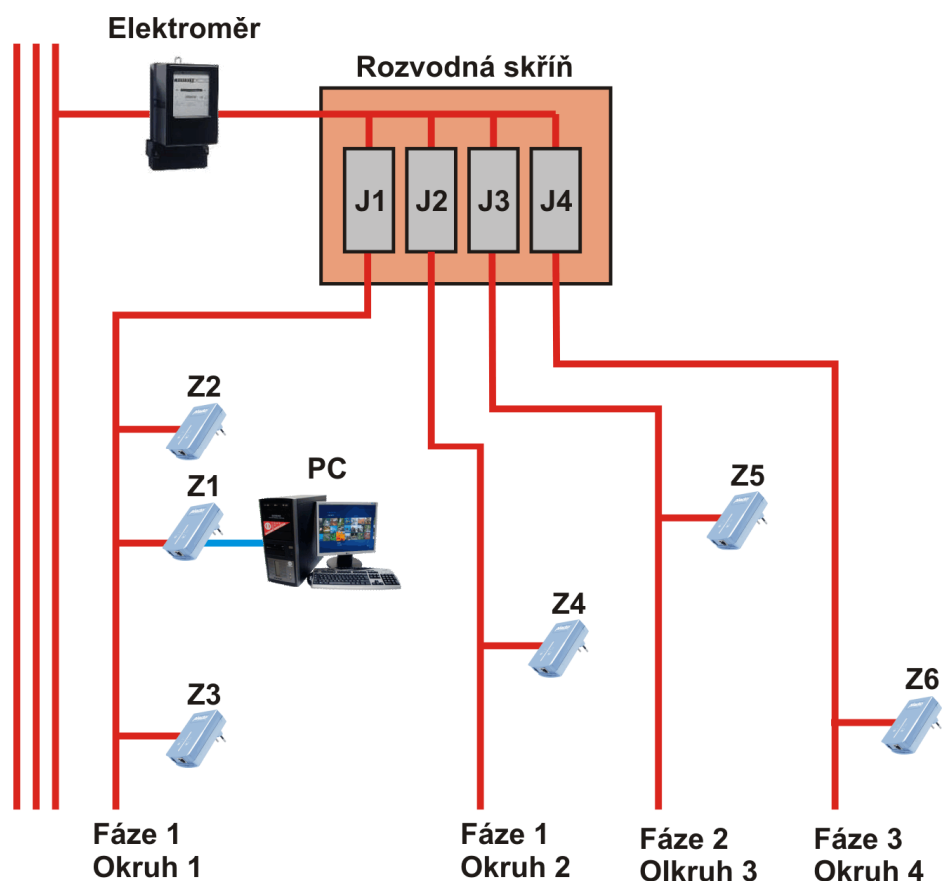
- RAM DDR 512 MB
- Síťová karta Ethernet 10/100 Mbit
- Operační systém: Windows XP Media Center Edition

#### Osobní počítač:

- CPU AMD Sempron 2300+ MHz
- RAM DDR 256 MB
- Síťová karta Ethernet 10/100 Mbit
- Operační systém: Windows XP Professional

#### 6.2.2.2 Podmínky testování:

Na obrázku 10 je zobrazeno zjednodušené schéma elektrické instalace v rodinném domě, ve kterém probíhalo testování HomePlug adaptérů. Značkami Z1 až Z6 jsou opět označeny jednotlivé zásuvky, do kterých byly adaptéry postupně zapojovány.



Obrázek 10: Schéma elektrorozvodů v rodinném domě [Zdroj – vlastní]

#### **6.2.2.2.1 Zapojení 1**

Tento test byl pouze experimentální, neboť oba adaptéry byly zapojeny v jedné zásuvce. V praxi se s takovým zapojením nesečkáme, nemělo by význam. Znázorňuje však maximální možnou přenosovou rychlost, kterou lze dosáhnout v daných podmínkách. I zde však může na datové přenosy působit případné rušení v síti.

#### **6.2.2.2.2 Zapojení 2**

Adaptéry byly zapojeny v zásuvkách v jednom pokoji (Z1 a Z2 na obrázku 10), to znamená na jednom elektrickém okruhu a jedné fázi. Výsledky tohoto testu mohou být ovlivněny pouze útlumem signálu ve vedení, které bylo v tomto případě přibližně 4 metry dlouhé. Tyto hodnoty lze přímo porovnávat s předchozím testem, pro posouzení vlivu vzdálenosti na rychlost přenosu, bez dalšího vlivu jističů atd.

#### **6.2.2.2.3 Zapojení 3**

Další test, který byl proveden na jednom okruhu elektrického rozvodu. Při porovnání s předchozími dvěma testy můžeme odvodit vztah mezi vzdáleností a rychlostí přenosu. Adaptéry byly zapojeny v zásuvkách Z1 a Z3 na obr. 10, které jsou vzdáleny přibližně 20 metrů.

#### **6.2.2.2.4 Zapojení 4**

Přenos dat byl uskutečněn mezi zásuvkami Z1 a Z4 znázorněnými na obr. 10, které jsou sice na stejné fázi, ale jiném el. okruhu. Vzdálenost mezi nimi je přibližně 20 metrů.

#### **6.2.2.2.5 Zapojení 5**

Zapojení jednoho adaptéru na druhou fázi, použity zásuvky Z1 a Z5, které jsou vzdáleny přibližně 25 metrů.

#### **6.2.2.2.6 Zapojení 6**

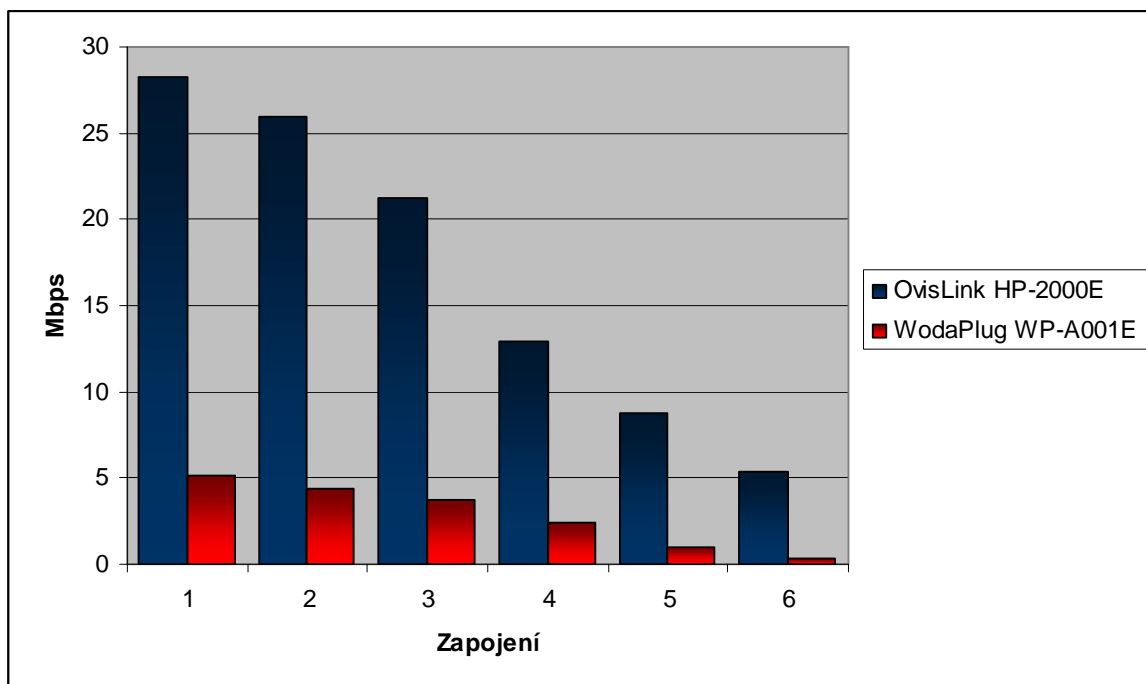
Pro tento test jsem zapojil adaptéry na nejdelší možnou vzdálenost, tzn. přibližně 40 metrů. Signál musel opět projít přes fázi, jak je znázorněno na schématu zapojení. Použity byly zásuvky Z1 a Z6 na obrázku 10.

### **6.2.2.3 Výsledky měření**

Následující tabulka 5 a graf 3 zobrazují výsledky měření datové propustnosti HomePlug adaptérů.

**Tabulka 5: Výsledky měření v rodinném domě [Zdroj – vlastní]**

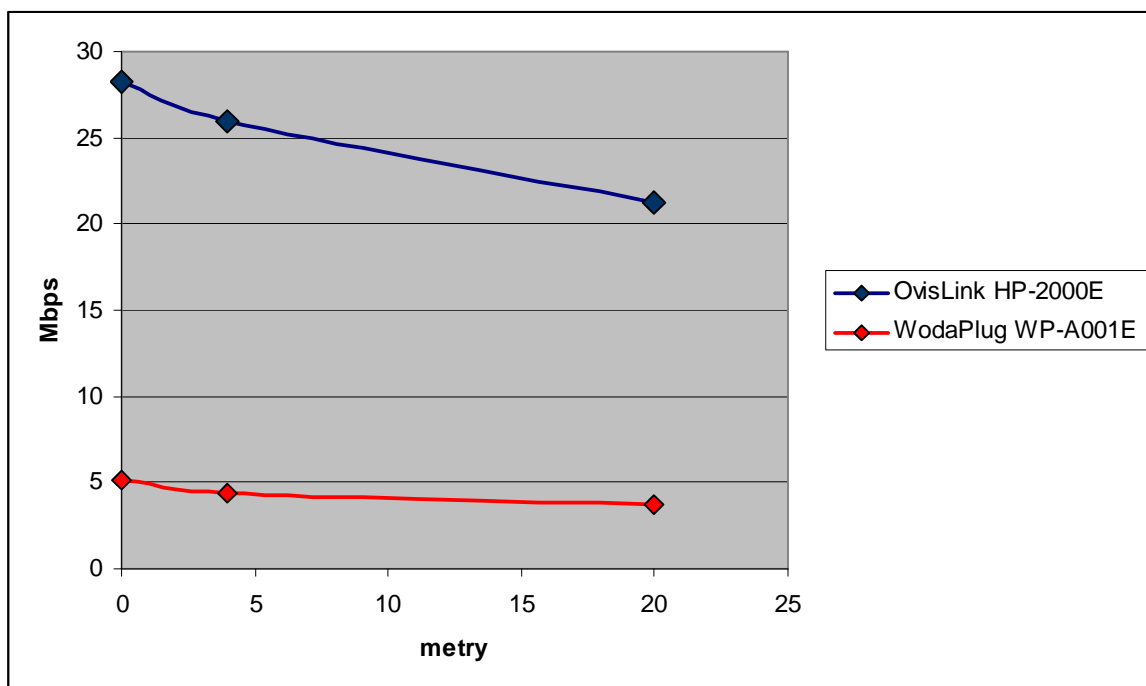
Podmínky	Adaptér OvisLink HP-2000E (85 Mbit/s)		Adaptér WodaPlug WP-A001E (14 Mbit/s)	
	Přenos 44 MB souboru (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)	Přenos 44 MB souboru (m:s)	Průměrná rychlost (Mbit/s)
Zapojení 1	0:12	28,3	1:07	5,2
Zapojení 2	0:13	26,0	1:20	4,4
Zapojení 3	0:17	21,2	1:35	3,7
Zapojení 4	0:27	12,9	2:26	2,4
Zapojení 5	0:40	8,8	5:52	1,0
Zapojení 6	1:05	5,4	19:33	0,3



**Graf 3: Přenosové rychlosti [Zdroj – vlastní]**

Na grafu 4 můžeme vidět vztah mezi datovou propustností sítě a vzdáleností. Graf vychází z výsledků naměřených při testování, při zapojení 1, 2 a 3, kdy byly adaptéry zapojeny na jednom okruhu elektrorozvodu a přenos v tomto případě nebyl ovlivněn průchodem signálu přes rozvaděč. Maximální měřená vzdálenost je pouze 20 metrů, i když technologie by teoreticky měla dovolit až 1 000 metrů. K takovému testu bohužel nebyly podmínky, které by umožnily testování na delší vzdálenosti. Zásuvky, které od sebe byly

vzdáleny víc metrů, nebyly zapojeny na jeden okruh a proto takové výsledky nelze přímo porovnávat.



**Graf 4: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti [Zdroj – vlastní]**

## 6.3 Zhodnocení

Přesto, že maximální propustnost je 14 Mbps u adaptéru WodaPlug WP-A001E, případně 85 Mbps při použití adaptéru OvisLink HP-2000E, jedná se pouze o teoretické hodnoty, které není možné v praxi dosáhnout. V ideálních podmínkách se maximální přenosové rychlosti pohybují okolo jedné třetiny těch teoretických. Těch je však možné dosáhnout pouze na velmi krátké vzdálenosti, s přibývajícimi metry a především překážkami v elektrickém vedení, jako jsou jističe, rozvaděče a spotřebiče způsobující rušení, se rychlost snižuje, při špatných podmínkách se dokonce komunikace stává nemožnou. To stejné platí i o maximální vzdálenosti, na kterou je podle výrobců možné pomocí adaptérů vytvořit síť. OvisLink udává až 1 000 metrů, WodaPlug má v technických specifikacích nejasně uvedeno 470 metrů čtverečních. Co si pod touto hodnotou představit zřejmě záleží jen na fantazii. Faktem však je, že udávaných 1 000 metrů je jen teoretická hodnota, kterou lze dosáhnout pouze v optimálních podmínkách. Takové podmínky však při testování nebyly k dispozici, protože v praxi pravděpodobně není možné najít jeden elektrický okruh, který by měl dostatečnou vzdálenost a přitom na něm nebyly žádné rušivé prvky.

Zajímavý je fakt, že výrobce OvisLink u svého výrobku neudává, zda je schopen komunikovat i na více fázích a i přesto to dokáže. V testech dokonce dopadl lépe než WodaPlug, u kterého dodavatel uvádí, že se jedná o jedinou technologii, která umožňuje průchod signálu přes elektroměr a pracovat na více fázích. Ve výsledku je tedy OvisLink, který je založen na novější technologii nejen rychlejší, ale dokáže vytvořit síť i v podmínkách, ve kterých to jeho předchůdce nedokáže. Při porovnání všech výše uvedených testů lze tvrdit, že adaptéry OvisLink jsou rychlejší a zároveň vhodnější pro vytvoření sítě v nenáročných i náročnějších podmínkách. Nelze však očekávat, že technologie PLC bude funkční za všech okolností.

Zajímavé by jistě bylo i srovnání s nejnovější technologií HomePlug AV, umožňující propustnost až 200 Mbps, která je již v současnosti v prodeji. V době, kdy byla prováděna testování, adaptéry pracující pod tímto standardem ještě nebyly dostupné.

Pokud se zaměříme na samotné výsledky měření, nedá se jednoznačně říci ve kterých situacích bude vytvoření sítě možné a kdy nikoliv. Obecně platí, že čím větší počet jističů, rozvaděčů a dalších elektronických prvků stojí signálu v cestě, tím menší bude výsledná rychlost. Samotná vzdálenost adaptérů ovlivňuje kvalitu spojení také, ale ne v takové míře, jako předchozí faktory. Jak již název technologie HomePlug napovídá, je určena spíše pro domácnosti, než pro jakékoliv náročné využití ve velkých firmách. I přesto, že teoreticky jsou adaptéry schopny pracovat až na 255 adresách, nedoporučuje se zapojovat více než 10 adaptérů do jedné sítě. Už z toho lze odvodit, že technologie HomePlug není určená pro vytváření velkých sítí, jako například Fast Ethernet, ale je určena pro domácí využití v případech, kdy je snazší zakoupit několik adaptérů než vrtat do zdí a instalovat kabely společně se switchem, případně budovat bezdrátovou síť.

## **7 Porovnání PLC s ostatními technologiemi**

### **7.1 Přístupová PLC**

V tabulce níže jsou popsány hlavní vlastnosti PLC a relevantních širokopásmových přístupových technologií.

**Tabulka 6: Porovnání širokopásmových přístupových technologií [Zdroj – vlastní]**

Typ připojení	ISDN	Kabelové připojení	DSL	Wi-Fi	PLC
Přenosové médium	Kroucená dvoulinka	Koaxiální kabel	Kroucená dvoulinka	vzduch	Elektrořizovací síť
Kapacita	128Kbps 2 X 64kbps B Channels 1 x 16kbps D	Teoreticky stovky Mbps	ADSL až 8 Mbps VDSL až 54 Mbps	až 54 Mbps	až 200 Mbps
Pásmo	Vyhrazené	Sdílené	Sdílené	Sdílené	Sdílené
Dostupnost	Telefonní linka	Pouze tam, kde je kabelová TV	Telefonní linka, dostupnost DSL	Pokrytí signálem	Připojení k elektrořizovací síti, podpora poskytovatele
Bezpečnost	Přiměřeně bezpečné	Možné odposlouchávání paketů	Bezpečné	Řešena DES šifrováním	Řešena šifrováním
Spolehlivost	Funkčnost i v případě výpadku el. proudu	Síťové prvky závislé na el. energii	Funkčnost i v případě výpadku el. proudu	Závislost na meteorologických podmínkách	Závislé na el. energii
Výhody	Vysoká dostupnost	Nejlepší poměr cena/výkon, výborná kvalita	Dobrá kvalita, dostupnost	Levné řešení, mobilita	Výborné pokrytí, vysoká rychlost
Nevýhody	Dostupnost pouze po připojení, pomalé, drahé	Limitované pokrytí	Závislé na vzdálenosti od ústředny, nedovoluje vyšší rychlosti, nutnost platit i telefonní linku	Přeplněné bezlicenční pásmo, není robustní řešení	Stále ve vývoji, možné problémy při rušení v síti, rušení do okolí

Samotné porovnání těchto technologií je z velké části teoretické, protože v České republice zatím existuje pouze několik poskytovatelů internetového připojení, kteří poskytují připojení právě technologií PLC. Přitom je třeba říci, že k rozšíření této technologie rozhodně nepřispívají předpokládanou nízkou cenou, ta je v porovnání například s kabelovým připojením nebo ADSL vysoká a vlastnosti samotného připojení se právě ADSL velmi podobají. Zejména jde o nižší rychlost uploadu než downloadu a praktikovanou FUP. Proto se tento typ připojení stává v mnoha případech poslední variantou, kterou zákazníci využijí.

## 7.2 Použití uvnitř budov

Tabulka 7 zobrazuje porovnání různých technologií, které lze použít pro vytvoření malé LAN (do 10 PC).



**Tabulka 7: Porovnání LAN technologií [Zdroj – vlastní]**

LAN	10/100 Base-T Ethernet	Telefonní linka	Wi-Fi	PLC (HomePlug)
<b>Charakteristika</b>	Nejrychlejší a nejlevnější	Využití existujících telefonních kabelů	Mobilní	Datový port je každá elektrická zásuvka
<b>Omezení</b>	Vyžaduje rozsáhlý systém kabelů a dalšího vybavení	PC musí být v blízkosti telefonních přípojek	Omezený dosah signálu, především v budovách	Technologie ještě není příliš rozšířená
<b>Výrobci</b>	Mnoho výrobců síťových prvků a kabelů	Několik výrobců	Stále se rozrůstající odvětví	Několik výrobců využívajících standard Homeplug
<b>Rychlost</b>	10/100 Mbps	10 Mbps	až 54 Mbps	až 85 Mbps
<b>Cena (Kč)</b>	100,- až 5 000,-	1 500,- až 3000,-	1 500,- až 10 000,-	2 000,- až 10 000,-

Širokopásmové připojení k internetu je v současnosti dostupné především pomocí kabelového modemu, nebo různých variant DSL. Postupně také roste potřeba vytvoření domácí sítě pro sdílení tohoto internetového připojení společně s velkým rozsahem jiných datových, multimediálních a komunikačních služeb. Cena za jednotlivá řešení uvedená v tabulce 7 je pouze orientační, minimální hranice se týká propojení dvou počítačů, pouze za pomoci kabelů, případně adaptérů. Za maximální uvedenou částku je možné pořídit vybavení, jako routery, nebo odpovídající počet adaptérů, k vytvoření menší sítě, obsahující nejvýše 10 PC.

Dokud se jedná o propojení několika počítačů v jedné místnosti, případně malé kanceláři, je vhodné použití 10/100 Base-T Ethernetu, pokud se budeme snažit vytvořit síť z počítačů ležících po celém domě, volba už není tak jednoduchá. Jedna z možností je stále Ethernet a s tím spojené dodatečné pokládání kabelů, které není levnou záležitostí. Pokud se jedná o síť, kterou tvoří jen dva počítače, které mají síťovou kartu, stačí k propojení kabel za cenu několika desítek nebo stovek korun. Jedná – li se však o síť více počítačů, je potřeba zakoupit ještě router, případně switch a náklady se značně zvýší.

Další variantou je rozmístění bezdrátových zařízení, která budou vzájemně připojena k jednomu nebo více bezdrátových hubů nebo k sobě navzájem. Toto řešení je jistě realizovatelné, zejména pro malý počet zařízení v domácnosti, případně v malé kanceláři. Takový síťový hardware je možné zakoupit od mnoha výrobců, kteří nabízejí zařízení, která jsou většinou založená na standardu IEEE 802.11b. Ze zkušeností je ale známé, že díky infrastruktuře staveb je k zasaťování celé domácnosti zapotřebí několik

přístupových bodů. Především nutností zakoupit v takových případech Wi-Fi router opět roste cena takového řešení.

Třetí možností je založit veškerou datovou komunikaci za použití existujících elektrických rozvodů, které jsou dostupné ve všech místnostech a většinou ve všech zdech. Očekává se, že výrobci počítačů, síťového a komunikačního hardwaru využijí levných integrovaných obvodů založených na standardu HomePlug, aby umožnili vytvořit komunikační uzel z každého počítače zapojeného do elektrické sítě. Stejný konektor, který je běžně potřeba pro připojení počítače k elektrické síti, se zároveň stane přípojným bodem pro vysokorychlostní datovou komunikaci. V dnešní době však taková zařízení nejsou integrovaná a proto je potřeba zakoupit PLC adaptéry, které v současnosti stojí přibližně 1 000,- Kč. Pro každý počítač je pochopitelně potřeba jeden adaptér, takže cena takového řešení pro 10 PC se může vyšplhat až na 10 000,- Kč.

Samozřejmě je také možné využít telefonních spojů, bez jakýchkoliv dalších kabelů, podobným způsobem jako PLC. Přesto, telefonní linky, společně s kabelovým připojením, se vyskytují přinejlepším v několika místnostech. Dále je zde většinou pouze jeden telefonní nebo kabelový konektor v jedné místnosti. Dalším problémem této technologie je její malá rozšířenost a proto může být problém sehnat potřebný hardware.

Na druhou stranu, přesto, že jsou elektrické sítě všudypřítomné, jsou velmi špatné jako přenosové médium pro datovou komunikaci. Testy HomePlug 1.0 [3] v několika stovkách domácností ukázaly, že 80 % zásuvek je schopno komunikovat jedna s druhou rychlostí 5 Mbps nebo vyšší a 98 % bude schopno zaručit přenosovou rychlost vyšší než 1 Mbps. Praktické zkoušky dokazují, že elektrická síť dokáže poskytnout konektivitu v situacích, ve kterých selhávají bezdrátové sítě z důvodu velkého utlumení signálu kvůli velké vzdálenosti, průchodu signálu přes zeď nebo nábytek, případně kvůli použití bezdrátové sítě v této oblasti někým jiným.

## **8 Zhodnocení PLC systémů**

### **8.1 Výhody PLC systémů**

Power line communication otevírá spoustu nových možností, jak pro poskytovatele internetového připojení, tak pro firmy, domácnosti a ostatní zákazníky. Tyto systémy mají spoustu jedinečných výhod, které je v mnoha ohledech řadí před ostatní širokopásmové technologie.

### **8.1.1 Výhody pro poskytovatele internetového připojení**

Největší výhodou, která hovoří pro používání PLC zařízení je existence stávající infrastruktury, kterou lze při použití této technologie využít pro přenos dat.

Další důležitou výhodou pro poskytovatele internetového připojení je pokrytí elektrickým vedením. Naprostá většina domácností je připojena na elektrickou rozvodnou síť – každá zásuvka se v PLC stává přípojným bodem. Díky tomu je možno přivést internet téměř kamkoliv a zároveň vytvářet LAN sítě bez nutnosti pokládat v objektu kabely nebo pořizovat bezdrátové vybavení. Právě díky tomu, že elektrické vedení má největší dostupnost ze všech řešení, je to v mnoha případech nejlepší nebo jediná možnost pro ISP, jak dosáhnout připojení zákazníků k internetu.

### **8.1.2 Výhody pro koncové uživatele**

Podle zkušeností ze zahraničí, kde je tato technologie využívána, je zařízení potřebné k připojení domácnosti k internetu pomocí PLC průměrně levnější než ostatní širokopásmová řešení, jako je DSL modem nebo Wi-fi.

Zařízení využívá existující elektrické vedení v domácnosti, takže instalace je mnohem jednodušší. Není potřeba žádných dalších kabelů, sekání a vrtání do zdi a další problémy s tím spojené. Zároveň jsou tato zařízení Plug and Play, takže zapojení zvládne i naprostý laik. V počítači není nutné nic nastavovat, síť vypadá jako běžná LAN. Při přestěhování počítače je možné využít jakoukoliv jinou zásuvku v bytě pro přístup do sítě.

Komerční řešení power line communication v současnosti dosahují rychlosti až 85 Mbit/s, což pro domácí použití ve většině případů stačí.

Pro uživatele, kteří nemají přístup k DSL nebo kabelovému připojení může být PLC jedinou variantou pro připojení k internetu. V budoucnosti může být tato technologie využita pro „all in one“ služby v podobě telefonu, kabelové televize a vysokorychlostní přenos dat.

## **8.2 Omezení PLC**

Jako každá technologie, i PLC má své nedostatky a omezení, které jsou většinou technické povahy, ale existují i určitá ekonomická omezení.

### **8.2.1.1 Sdílení**

Každá napájecí stanice potřebuje páteřní připojení k internetu, aby byla uživatelům zaručena příslušná přenosová rychlost. Velikost přenosové rychlosti dostupná mezi napájecí stanicí a domácnostmi je sdílena, čímž dochází ke zmenšení přenosového pásma.

Podobně jako u DSL, i u PLC bude rychlost přenosu záležet na tom, kolik uživatelů je připojených na napájecí stanici. Pokud uvážíme, že na jednu napájecí stanici je napojeno přibližně 50 domácností a dostupná přenosová rychlost pro stanici je 45 Mbps, dostáváme se k hodnotě téměř jeden megabit pro jednu domácnost při plném vytížení sítě. Tato hodnota je blízka rychlostem, které dosahují DSL, při běžném používání může být vyšší. Problém nastává v případě, kdy bude na jednu stanici napojeno mnoho domácností, nebo se nepodaří zajistit vysokou rychlost připojení pro stanice. V Evropské unii je v průměru zhruba 200 domácností napojených na jednu stanici. Teoreticky to může znamenat, že garantovaná rychlost pro jednu domácnost bude jen čtvrtinová oproti předešlému příkladu. To však platí pouze za předpokladu, že všechny domácnosti budou připojeny pomocí PLC a budou plně využívat svou linku.

### **8.2.1.2 Vzdálenosti**

Stejně jako DSL, i PLC je limitována vzdálenostmi. Vzdálenost mezi napájecí stanicí a domácností je faktor, který ovlivňuje výslednou rychlost připojení. Neexistují žádná definitivní čísla, ale je známo, že zvyšování výkonu vysílaného signálu a zlepšení kódování zvětšuje vzdálenosti, přes které mohou být data přenesena. V případě HomePlug standardu se uvádí vzdálenost až 1 000 metrů, vždy však záleží na konkrétních podmínkách.

### **8.2.1.3 Vybavení**

Vybavení elektrických rozvodů je důležitým faktorem při navrhování PLC systému. Jedním z hlavních problémů, kterým se musí čelit, je nepropustnost vysokofrekvenčních signálů přes elektroměry a podobná zařízení. Tento problém byl vyřešen návrhem nových elektroměrů a transformátorů, které umožní přenos vysokofrekvenčních signálů.

Při použití starých zařízení je nutná jejich úprava – instalace vysokofrekvenčního přemostění.

#### **8.2.1.4 Cena**

Stejně jako všechny širokopásmové technologie které vyžadují použití vysokorychlostního připojení, i zde jsou vysoké náklady na zprostředkování tohoto připojení. Kapacity připojení každé stanice by měly být posuzovány individuálně podle počtu potenciálních zákazníků kteří by zde mohli být a také podle ostatních možností připojení k internetu v této oblasti.

#### **8.2.1.5 Konkurence**

V současnosti se vyvíjí velké množství konkurenčních PLC zařízení. Pro úspěšné prosazení jakékoliv technologie platí, že musí být zisková v přiměřeně krátkém období, to znamená přibližně 2 – 5 let. Konkurence poskytovatelů DSL, kabelového a bezdrátového připojení bude velká v místech, kde jsou už tyto technologie dostupné. PLC bude muset ukázat uživatelům svoje výhody, jako je nízká cena, možnost připojení kdekoliv v domě a také nízké náklady na instalaci. Takové vlastnosti jsou třeba k získání uživatelů, kteří nemají zkušenosti s jiným širokopásmovým připojením k internetu. Přesvědčit uživatele, kteří už využívají jiný typ připojení není lehké, protože jim většinou vyhovuje stávající připojení a především pro tuto skupinu lidí odpadá jedna z výhod PLC, snadná instalace, protože už mají svou linku v domě přivedenou tam, kde ji potřebují.

#### **8.2.1.6 Bezpečnost**

Jak výrobci, tak uživatelé můžou mít obavy o bezpečnost používání PLC. Elektrické kabely nejsou kroucené a nepoužívají žádné stínění. To znamená že produkují určité množství elektromagnetického záření. Takové záření může být zachyceno pomocí radiových přijímačů, případně odposloucháváno přímo ze sítě. Proto musí být veškerá data přenášena přes elektrické rozvody šifrována, aby se předešlo případnému zneužití.

#### **8.2.1.7 Vládní regulace**

K zabránění interferencí vydávají orgány státní správy různé regulace pro zařízení, která způsobují elektromagnetické záření. V některých státech proto existují omezení spojená s používáním PLC, v Japonsku je dokonce tato technologie úplně zakázána.

#### **8.2.1.8 Elektromagnetická kompatibilita**

Problém s elektromagnetickou kompatibilitou patří v současnosti k nejvýznamnějším. Vysokofrekvenční energie vyzařovaná elektrorozvody může zcela znemožnit rádiový provoz na krátkých vlnách. Může dojít k omezení svobodného přístupu k informacím,

neboť nebude možné přijímat rozhlasové vysílání z mnoha zemí. Vysílání BBC, Voice of America nebo pro mnohé východoevropské země důležitého vysílače Radio Free Europe nebude možné nadále poslouchat. V mnoha případech může být znemožněna nouzová komunikace.

## 9 Závěr

Základním cílem této práce bylo seznámení s technologií Power Line Communication, nebo-li PLC, uvést základní informace o jejím vývoji a historii a dále vysvětlení principu, na kterém funguje. Mimo tuto teoretickou rovinu je podstatnou součástí ověření funkčnosti PLC v praxi a odvození konkrétních závěrů, výhod a nevýhod pro další porovnání s ostatními technologiemi. Závěrem lze konstatovat, že všechny cíle práce byly splněny. Především šestá kapitola, ve které jsou popsány praktické zkušenosti s PLC adaptéry pracujícími pod standardem HomePlug, přináší zajímavé informace o tom, jaké jsou možnosti využití této technologie.

Z měření přenosové rychlosti HomePlug sítě je zřejmé, že maximální uváděné rychlosti adaptérů jsou pouze marketingovým tahem. Slibovaných 14 Mbit/s, případně 85 Mbit/s není možné dosáhnout ani na nulovou vzdálenost, při zapojení dvou adaptérů v jedné zásuvce. Adaptéry mezi sebou touto rychlostí komunikují, pro přenos dat však zbývá přibližně třetina. S přibývajícimi metry a především překážkami v elektrickém vedení, jako jsou jističe, rozvaděče a spotřebiče způsobující rušení, se rychlost snižuje, při špatných podmínkách se dokonce komunikace stává nemožnou. To stejné platí i o maximální vzdálenosti, na kterou je podle výrobců možné pomocí adaptérů vytvořit síť. Udávaných 1 000 metrů je jen teoretická hodnota, kterou lze dosáhnout pouze v optimálních podmínkách, které však v reálném světě nikde nenajdeme. Pokud uvážíme výsledky všech testů, adaptér od firmy OvisLink, který je založen na novější technologii, je nejen rychlejší, ale dokáže vytvořit síť i v podmínkách, ve kterých to jeho předchůdce WodaPlug nedokáže. Nelze však očekávat, že technologie PLC bude funkční za všech okolností. Jak již název technologie HomePlug napovídá, je určena spíše pro domácnosti, než pro jakékoliv náročné využití ve velkých firmách.

Pravděpodobně nejdůležitějším nedostatkem této technologie je rušení. Právě to je zásadní příčinou, která brání rozšíření PLC a kvůli tomu také vznikají nejrůznější spory mezi radioamatéry a uživateli PLC. Z těchto skutečností lze odvodit, že PLC síť není

možné použít v místech, kde by způsobovala rušení na frekvencích, které jsou využity k jiným účelům.

Také můžeme postřehnout vývoj technologie, která se začíná čím dál víc prosazovat na trhu a dokáže konkurovat ostatním technologiím, jako je bezdrátové připojení a ethernet. Většímu rozšíření k zákazníkům však brání několik faktorů. Jedním z nich je cena, která v současnosti začíná na 2 000,- Kč za pár adaptérů, které nabízejí maximální rychlost přenosu 14 Mbps a končí na 5 000,- Kč za pár adaptérů standardu HomePlug AV s rychlostí až 200 Mbps. Při této ceně většina zákazníků zváží, zda investovat do této technologie, nebo zda použít technologii jinou, například klasický síťový kabel. Technologii HomePlug pravděpodobně zvolí zákazníci, kteří potřebují vybudovat síť v panelových domech, kde je instalace síťového kabelu problémová, nebo naopak v historických budovách, kde nemohou provádět potřebné stavební úpravy.

Tato technologie jistě není slepou uličkou a má svou budoucnost. Zamlouvat se bude především lidem, kterým nevyhovuje jiný typ sítě, nelze však počítat s tím, že by uživatelé již vybudovaných LAN tyto sítě rušili a přecházeli na PLC. Dalším kritériem, které hraje roli při výběru komunikační technologie je univerzálnost a vzájemná kompatibilita zařízení od různých výrobců. Je možné, že dvě zařízení pocházející z dílen různých výrobců spolu nemusí komunikovat. Toto však v dnešní době ve většině případů nehrozí. Díky zavedení standardu HomePlug přešli významní výrobci na jednotný protokol, který zajišťuje vzájemnou kompatibilitu. Ve sdružení HomePlug Powerline Alliance jsou již zapojeny desítky výrobců takovýchto zařízení.

Při testu HomePlug adaptérů se kompatibilita projevila jako bezproblémová záležitost. To však nelze říci o celé této technologii. Ta má, jako všechny ostatní, své výhody i nevýhody. Základním kritériem, které rozhoduje o funkčnosti, případně nefunkčnosti sítě je stav elektrických rozvodů. Jak dokazují testy uvedené v této práci, tak i další, kterých je na internetu stále víc, síť vytvořená pomocí HomePlug adaptérů je určena zejména pro rodinné domy a byty a často může být funkční i mezi jednotlivými byty, v panelovém domě. Má však svá omezení, díky kterým ji nelze použít všude. Především je určena pro malé sítě, což vyplývá ze sdílení přenosové rychlosti všemi adaptéry. Dalším podstatným omezením je limitovaná vzdálenost, na které je možné tyto adaptéry použít. Proto není použitelná v budovách s komplikovanými rozvody, případně mezi více budovami. I přes tyto nevýhody je plně funkční ve většině domácností a jedná se o technologii, která jistě najde své uplatnění.

## Použitá literatura

- [1] DOSTALÍK, Jan. Technologie Power Line Communication, aneb Internet v každé zásuvce [online]. 2. srpna 2005, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.easypowernet.cz/PLC/easyPLCx.php?page=TechPLC>>
- [2] HOCHEL, Jaroslav. Síť (skoro) bez drátů [online]. 14. července 2005, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <[http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513010-400000\\_d-9c](http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513010-400000_d-9c)>
- [3] *HomePlug 1.0 Technology White Paper* [online]. 1999 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HP\\_1.0\\_TechnicalWhitePaper\\_FINAL.pdf](http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HP_1.0_TechnicalWhitePaper_FINAL.pdf)>
- [4] *HomePlug AV White Paper* [online]. 2005 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HPAV-White-Paper\\_050818.pdf](http://www.homeplug.org/products/whitepapers/HPAV-White-Paper_050818.pdf)>
- [5] KIRWAN, Shane; SOUTH, Greg. Power Line Networking Technologies broadband potential. [online]. 6. března 2004, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://glasnost.itcarlow.ie/~net4/kirwans/bband.html>>
- [6] *MEMORANDUM ČRK k PLC/BPL* [online]. 2005 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.crk.cz/CZ/BULL\\_MB\\_PLC.HTM](http://www.crk.cz/CZ/BULL_MB_PLC.HTM)>
- [7] MERUNKA, Mirek. Internet po elektrické síti jako oficiální standard [online]. 27. srpna 2004, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=5896>>
- [8] MERUNKA, Mirek. Intellon uvádí domácí LAN po elektrické síti na 14 Mbit/s [online]. 21. května 2001, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=2919>>
- [9] NOVÁK, Michal. Power line communication [online]. duben 2006, [cit. 27.10.2006]. Dostupné z WWW: <[http://www.lss.fd.cvut.cz/vyuka/tks/novak\\_power\\_line\\_communication.pdf](http://www.lss.fd.cvut.cz/vyuka/tks/novak_power_line_communication.pdf)>
- [10] *OvisLink HP-2000E 85Mbps RJ45 HomePlug adaptér* [online]. 2006 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <[http://www.nejlevnejsipocitace.cz/shop/images/large/19211\\_LRG.jpg](http://www.nejlevnejsipocitace.cz/shop/images/large/19211_LRG.jpg)>



- [11] *PLC operating Principle* [online]. 2007 [cit. 2007-05-02]. Dostupný z WWW: <[http://panasonic.co.jp/pcc/products/en/plc/sp/whats/img/wha\\_pct02.gif](http://panasonic.co.jp/pcc/products/en/plc/sp/whats/img/wha_pct02.gif)>.
- [12] PUŽMANOVÁ, Rita. UltraWideBand [online]. 2004 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/ultrawideband/>>.
- [13] PUŽMANOVÁ, Rita. Data po elektrické síti [online]. 2004 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.etm.cz/obr/datapoelsiti.pdf>>.
- [14] VANČATA, Pavel. *Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení* [online]. 2005 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=&cisloclanku=2005112801>>.
- [15] CHALOUPKA, Jan. *Tlustý internet ze zdi* [online]. 2005 [cit. 2006-10-27]. Dostupný z WWW: <[http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513130-400000\\_d-40](http://ekonom.ihned.cz/1-10032640-16513130-400000_d-40)>.

## ÚDAJE PRO KNIHOVNICKOU DATABÁZI

Název práce	Přenos dat v elektrorozvodné síti
Autor práce	Tomáš Růžička
Obor	Systémové inženýrství a informatika
Rok obhajoby	2007
Vedoucí práce	Ing. Milan Tomeš
Anotace	Tato práce se zabývá technologií přenosu dat po elektrické distribuční síti. Popisuje technické řešení problému, mezinárodní standardy pro přenos dat a uvádí i problémy s elektromagnetickou kompatibilitou. Nedílnou součástí této práce je zhodnocení praktické použitelnosti technologie HomePlug pro vytvoření malé sítě. Dále jsou zde uvedeny výhody a nevýhody technologie a porovnání s ostatními technologiemi pro širokopásmové připojení k internetu a pro vytvoření malé LAN.
Klíčová slova	Power Line Communication, Broadband over Power Line, Poslední míle, Elektromagnetická kompatibilita, Rušení, Útlum signálu, Modulace OFDM, HomePlug