

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2020

Bc. Lukáš Beneš



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VLIV FYZICKÝCH PARAMETRŮ A STÁŘÍ SILNOPROUDÉHO VEDENÍ NA VÝKONNOST A SPOLEHLIVOST PLC/BPL

INFLUENCE OF PHYSICAL PARAMETERS AND AGE OF POWER LINES ON PLC/BPL PERFORMANCE
AND RELIABILITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Beneš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Lukáš Beneš

ID: 186030

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Vliv fyzických parametrů a stárí silnoproudého vedení na výkonost a spolehlivost PLC/BPL

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je provést analýzu fyzických parametrů (spojky, délky, materiál) a stárí silnoproudého vedení pro prvotní zjištění možností výkonosti a spolehlivosti PLC/BPL. Dílčími cíli je provést sadu měření jednotlivých PLC/BPL technologií na vedení s jasným popisem fyzických parametrů a stárí a provést návrh řešení pro opačný postup, tedy jak výkonost a spolehlivost PLC/BPL může odhalit vadný kabel (např. vlhkost) nebo předejít budoucím rozpojením. Hlavním cílem práce je návrh metody a postupů, které je možné aplikovat opakovaně a v jiných instalacích pro určení indexů/koefficientů silnoproudého vedení určujících jejich vhodnost pro komunikaci a dále indexů/koefficientů silnoproudého vedení predikujících problém samotného vedení (např. vlhkost).

Výstupem je vizualizace pomocí dostupných nástrojů ukázkové topologie s naměřenými výsledky a koeficienty na základě navržené metodiky/algoritmu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

[2] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740-309.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 1.6.2020

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

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

BPL technologie je v dnešní době dosti rozšířená a určité povědomí o ní má i veřejnost. Tato technologie může být využita jako komunikační prostředek bez nutnosti instalace dalšího média s použitím stávající infrastruktury. Ve snaze využít plnohodnotný potenciál technologie se začala BPL komunikace používat k online monitorování stávajícího stavu kabelů v distribučních sítích. Distributor může vyhodnocovat stávající stav v místech, kde je již technologie implementovaná.

BPL technologii tedy můžeme využít nejen ke komunikaci, ale také jako diagnostický nástroj, kterým lze testovat kvalitu kabelového spojení, na níž se mohl ve značné míře podepsat nejen čas, ale také vlhkost či další vnější vlivy.

Klíčová slova

BPL, komunikace, měřící vůz, spojka, testování, diagnostika, online metoda, off-line metoda, preventivní údržba, ČEZ, E.ON.

Abstract

BPL technology is quite widespread nowadays and the public is also somewhat aware of it. This technology can be used as a means of communication without the need to install additional media and thus use the existing infrastructure. In an effort to use the full potential of the technology, BPL communication began to be used to monitor the current state of cables in distribution networks online. Where the technology is already fully implemented, the distributor can use the data to evaluate the current situation.

In this way, BPL technology can be used as a diagnostic tool to test the quality of a cable connection on which not only time but also humidity and other external influences could have a significant effect.

Key words

BPL, communication, diagnostical car, clutch, testing, diagnostics, online method, off-line method, preventive maintenance

Bibliografická citace:

BENEŠL, Lukáš. *Vliv fyzických parametrů a stáří silnoprůdého vedení na výkonnost a spolehlivost PLC/BPL* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/126042>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Petr Mlýnek.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Vliv fyzických parametrů a stáří silnoprůdého vedení na výkonnost a spolehlivost PLC/BPL jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.“

V Brně dne: **1. června 2020**

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Petru Mlýnkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Taktéž bych chtěl poděkovat Ing. Janu Hlavničkovi ze společnosti E.ON Distribuce a.s. za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů, které byly poskytnuty pro vypracování této diplomové práce.

Rovněž bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Havlovi ze společnosti ČEZ Distribuce a.s., který poskytnul cenná data pro analýzu v rámci diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat za podporu své rodině a přítelkyni, bez kterých bych nebyl schopen práci dokončit.

V Brně dne: **1. června 2020**

.....

podpis autora

Obsah

1.	Kabelové měřicí vozy	12
1.1	Závady	12
1.2	Preventivní údržby	13
1.3	On-line vs. off-line metoda diagnostiky	15
1.3.1	Off-line metoda	15
1.3.2	On-line metoda	15
2.	BPL technologie	17
2.1	Aktuální využívání BPL	17
2.1.1	BPL v ČEZ Distribuce a.s.	17
2.1.2	BPL v E.ON Distribuce a.s.	21
2.2	Výsledky testování BPL komunikace	23
2.2.1	Testování topologie Brná a Vaňov	23
2.2.2	Testování topologie Brno – Střed	27
3.	Diagnostika pomocí powerline modemů pro smart grids	34
4.	Metodika výpočtu koeficientu	35
4.1	Parametr počet spojek	36
4.2	Parametr vzdálenost	37
4.3	Parametr stáří kabelu	38
4.4	Parametr typ spojky	39
4.5	Parametr stáří spojky	40
4.6	Parametr průměrná rychlost	41
4.7	Parametr BLE – Bit Load Estimate	41
4.8	Koeficient technického stavu kabelu	42
4.8.1	Výpočet koeficientu	42
4.9	Predikce průměrné komunikační rychlosti	43
5.	Vizualizace pomocí Google Maps API v3	45
5.1	Vizualizování projektu BPL Brno – střed	45
5.1.1	Konfigurační část	45
5.1.2	Vizualizační část	48
5.1.3	Konfigurátor tras	51
6.	Závěr	52

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Matice rizik [2]</i>	14
<i>Obrázek 2: Rozšířena matice rizik [2]</i>	14
<i>Obrázek 3: Zobrazení indexu poruchovosti [2]</i>	15
<i>Obrázek 4: Síť BPL technologie</i>	17
<i>Obrázek 5: BPL topologie ČEZ [5]</i>	19
<i>Obrázek 6: BPL mapa ČEZ [5]</i>	20
<i>Obrázek 7: BPL topologie E.ON</i>	22
<i>Obrázek 8: BPL mapa E.ON</i>	23
<i>Obrázek 9: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi</i>	32
<i>Obrázek 10: Závislost přenosové rychlosti na počtu spojek</i>	33
<i>Obrázek 11: Měření dvou kabelových tras, nejdelší a nejhorší [12]</i>	37
<i>Obrázek 12: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi</i>	38
<i>Obrázek 13: Komunikace před výměnou upravených modemů [15]</i>	40
<i>Obrázek 14: Komunikace po výměně modemu [15]</i>	41
<i>Obrázek 15: Základní rozřazení parametrů část 1</i>	46
<i>Obrázek 16: Základní rozřazení parametrů část 2</i>	46
<i>Obrázek 17: Vložení nové stanice</i>	47
<i>Obrázek 18: Vygenerovaná data pro mapový podklad</i>	48
<i>Obrázek 19: Inicializace mapového podkladu</i>	49
<i>Obrázek 20: Zúžený výběr stanic</i>	49
<i>Obrázek 21: Zobrazení informativního okna markeru</i>	50
<i>Obrázek 22: Informační cedule trasy</i>	50
<i>Obrázek 23: Konfigurátor topologie</i>	51
<i>Obrázek 24: Konfigurátor topologie – vkládání a odebírání stanic</i>	51

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Testování topologie ČEZ část 1.....</i>	24
<i>Tabulka 2: Testování topologie ČEZ část 2.....</i>	25
<i>Tabulka 3: Testování topologie ČEZ část 3.....</i>	26
<i>Tabulka 4: Testování topologie Brno - Střed část 1</i>	28
<i>Tabulka 5: Testování topologie Brno - Střed část 2</i>	29
<i>Tabulka 6: Testování topologie Brno - Střed část 3</i>	30
<i>Tabulka 7: Testování topologie Brno - Střed část 4</i>	31
<i>Tabulka 8: Ohodnocení parametrů pro koeficient na VN síti</i>	36
<i>Tabulka 9: Porovnání tras, nejdelší a nejhorší [12]</i>	37
<i>Tabulka 10: Porovnání stáří kabelových tras [12]</i>	39
<i>Tabulka 11: Porovnání stáří spojek kabelových tras [12]</i>	39

Úvod

BPL (Broadband over Powerline) komunikace je komunikace, která je již v dnešní době velmi dobře známá. Díky této technologii je možné posílat data po elektrickém vedení. Její nesmírnou výhodou je, že v případě instalace technologie není potřeba investovat do komunikačního média. Samotná technologie využívá elektrické vedení na všech napěťových úrovních a může být uplatněna jak v průmyslu, tak v domovním provedení. Použití této komunikace je vhodné v místech, kde z jakéhokoli důvodu není možné instalovat optické spoje nebo jinou komunikační technologii. Příkladem mohou být staré zástavby měst, kde nelze provádět rozsáhlé výkopové práce. Přestože je tato technologie využívána hojně, její potenciál není využit dostatečně.

Samotnou komunikaci ovlivňuje celá řada různých faktorů, avšak mezi hlavní patří fyzické parametry vedení, jako jsou například stáří silnoproudého vedení. Z fyzikálního hlediska víme, že průřez vodiče, reaktance, kapacitance a induktance ovlivňují míru komunikace, ale ne tak razantně, jako vzdálenost mezi stanicemi, počet spojek v rámci kabelové trasy, stáří kabelu, typ spojky apod. V neposlední řadě může ovlivňovat komunikaci také počasí a související vlhkost. Vniknutí vlhkosti do kabelu nebo spojky může způsobit nemožnost komunikace po BPL lince.

Pro provedení analýzy byla poskytnuta data o BPL technologiích společností ČEZ Distribuce a.s. a E.ON Distribuce a.s. Díky spolupráci s těmito distribučními společnostmi bylo možné analyzovat jednotlivé parametry, které ovlivňují komunikaci a souvisí s její výkonností či spolehlivostí.

V práci je popsáno, jakým způsobem se rozdělují jednotlivé typy závad na kabelovém vedení a jak lze závadám předcházet za pomoci preventivní údržby a měření částečných výbojů. Dále je zde vysvětlen rozdíl mezi on-line a off-line metodou diagnostiky kabelů. Práce obsahuje analýzu poskytnutých dat dvou již zmíněných distributorů elektrické energie. Díky poskytnutým informacím na reálných sítích napomohli k vytvoření koeficientu technického stavu kabelu, jenž může dopomoci k efektivnější výměně kabelových tras a tak předcházet odstávkám elektrické energie. Vhodné nakládání s koeficientem může také distributorům usnadnit rozvržení finančních prostředků na další časové období.

Na závěr byl vytvořen podpůrný program pro návrh nových BPL topologií, který uživateli pomůže s návrhem trasy, respektive za pomoci doporučení dá povědomí o tom, zdali bude navrhovaná trasa provozuschopná. Z dostupných dat byla vytvořena spojnice trendu a její rovnice po dosazení vzdálenosti anebo počtu spojek mezi stanicemi dokáže predikovat komunikační rychlost. Rovněž byla provedena vizualizace měřené topologie v Brně – Střed za pomoci nástroje Google Maps API.

1. KABELOVÉ MĚŘICÍ VOZY

Distribuční soustavy kabelových sítí se neskládají pouze z páteřních sítí, ale z velkého množství kabelových tras, které se dále větví. Jedná se o soubor nepřeborného množství různých typů kabelů s různou konstrukcí, životností a rokem instalace. V dnešní době je kladen velký důraz na kvalitu a kontinuálnost dodávky elektrické energie, a proto je jedním z důležitých aspektů kvalitní distribuční soustavy minimalizace počtu odstávek a s tím souvisejících přerušení dodávek elektrické energie. Proto jsou u dodavatelů elektrické energie k dispozici pohotovostní jednotky, které jsou k dispozici nepřetržitě. Díky této službě je zajišťována eliminace odstávek a přerušení dodávky elektrické energie.

Pro rychlou detekci závad, poruch a diagnostiku kabelového vedení na sítích nízkého napětí (NN), vysokého napětí (VN) a zařízení v trafostanicích (DTS) jsou využívány speciální kabelové měřicí vozy (KMV). Do nepřístupných DTS, kde není možné přijet kabelovým měřicím vozem až ke stanici, je možné použít měřicí kufr [1].

1.1 Závady

Mezi nejčastější příčiny poruch a závad na kabelech NN a VN patří:

1. Kabely NN:
 - a. Nejčastější příčinou je mechanické poškození pláště a izolace vodiče. Často dochází k poškození cizím zaviněním kvůli nedodržení ochranného pásma kabelu, například při provádění zemních prací.
 - b. Další příčinou může být špatné provedení pokládky nebo zavlčení atmosférického přepětí po úderu blesku. K poruše dochází i po několika měsících. Následkem vlhkosti a proudového zatížení dochází k oxidaci jádra, jeho rozpadu a přerušení.
 - c. Nastat může i případ nekvalitně vyrobeného či jinak poškozeného kabelu již před pokládkou.
2. Kabely VN:
 - a. Častou příčinou je porucha armatury nebo navlhlá a zteřelá izolace.
 - b. U starších typů kabelů s napuštěnou papírovou izolací bývá příčinou působení částečných výbojů vlivem nedostatku impregnační hmoty.

Vyhledávání kabelové poruchy lze rozdělit do dvou kroků – tím prvním krokem je předběžné zaměření a druhým krokem je dodatečná lokalizace. Dle určitého typu kabelu je následně zvolena nejvhodnější metoda a postup opravy.

Předběžné zaměření se provádí pomocí metody SIM/MIM (sekundární impulsní metoda / několikanásobná impulsní metoda), jedná se neefektivnější metodu lokalizace

poruchy. Metoda umožňuje rychlé a přesné zaměření poruchy na základě analýzy odrazů impulsů od rozhraní poruchy.

Pro přesnou lokalizaci určení místa poruchy se po zaměření provádí dodatečná lokalizace. Tou nejpoužívanější je metoda zvukové lokalizace a krokového napětí. Méně často se využívá metoda zkrutového pole [1].

1.2 Preventivní údržby

Pravidelná preventivní diagnostika kabelů VN předchází vzniku závad a včasnou výměnou kabelu nedochází k ovlivnění dodávky odběratelům. Pro toto pravidelné měření se využívá vysokonapěťový zkušební PHG 70 TD. Zkušební systém o nízké frekvenci 0,1 Hz při přesném sinusovém průběhu. Celé měření je řízeno počítačem.

Preventivní diagnostika kabelů spočívá v měření ztrátového činitele $\text{tg } \delta$ (TD) a měření časových výbojů. Při měření ztrátového činitele dochází ke ztrátovým procesům uvnitř kabelu. Ztrátový činitel je kvocient jalové a činné složky proudu, který protéká kabelem, jestliže je připojen ke zdroji. Za pomoci Fourierovy analýzy s následným vyhodnocením základních vln změřených hodnot napětí a proudu je určen ztrátový úhel a vypočten ztrátový činitel. Významné je zjišťování změn daného kabelu oproti stavu nového kabelu a závislost ztrátového faktoru na napětí.

Celé měření je prováděno na principu echometrie. Při vyhodnocení se využívá toho, že impulsy částečných výbojů vznikajících v místě jejich výskytu na kabelové trase se šíří se celou délkou kabelu, a tím mohou být změřeny na konci trasy. Rozhodujícím faktorem je četnost částečných výbojů a jejich velikost v místě výskytu.

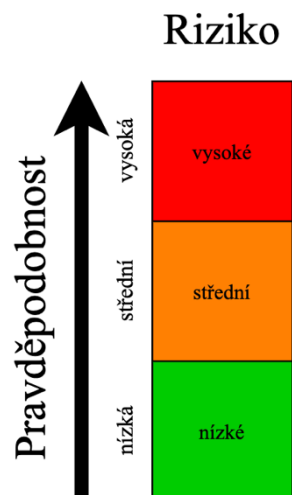
Napěťové zkoušky a diagnostika kabelů VN může odhalit skryté závady na zařízeních. Tímto způsobem se předchází mnohonásobně větší škodě, která by mohla vzniknout v důsledku poruchy. Diagnostické měření je nedestruktivní způsob, při němž se získávají hodnoty fyzikálních parametrů kabelů, respektive izolace, které jsou důležité pro plánování realizace obnovy distribučních sítí.

Vyhodnocení výsledku měření má pouze tři různé scénáře:

- Kabel je provozuschopný
- Kabel je provozuschopný s mírným rizikem
- Kabel je provozuschopný s vysokým rizikem

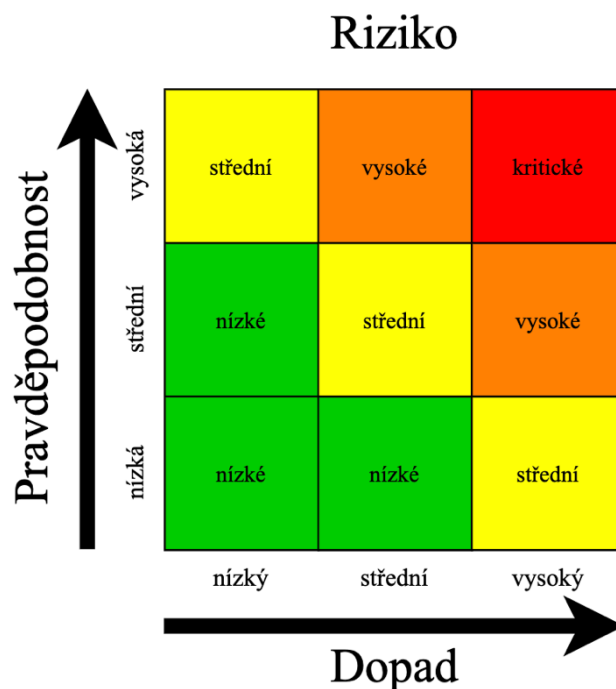
Avšak toto rozřazování je pouze dvourozměrné, kde v ose y je míra pravděpodobnosti výskytu chyby [2].

Jak je možné vidět na obrázku 1, matice je velmi jednoduchá a nebere v potaz vliv poruchy. Nelze na tento problém přihlížet pouze tak, že v případě poruchy nebude daná kabelová trasa provozuschopná, ale obnáší to také fakt, že odběratelé mohou být bez elektrické energie. Dále se musí problém určitým způsobem řešit a to přidává spoustu dalších aspektů k řešení problému, také tím samozřejmě vzrůstají finanční náklady.



Obrázek 1: Matice rizik [2]

Proto je vhodné do jednorozměrné matice rizik přidat další osu, na níž bude dopad. Tím získáme místo třech různých stavů rovnou stavů 9, viz obrázek 2. Přidáním osy získáme povědomí o tom, jak závažný problém může nastat, jestliže nebude probíhat pravidelná kontrola, respektive obměna kabeláže [2].



Obrázek 2: Rozšířena matice rizik [2]

Výpočet rozšířené matice rizik je používán v PRE distribuce a.s., kde vyvinuli softwarový nástroj s názvem PRIOTOOL. Software pracuje v prostředí Wolfram Mathematica, do nějž byly integrovány data z GIS, SCADA a SAP. Výsledek optimalizace byl zaimplementován do programu GIS, kde každá kabelová trasa dostala

vlastní index poruchovosti. Hodnoty indexu jsou v rozsahu jednotek až desítek a díky tomu lze ihned vidět, která trasa je riziková a tím pádem by se měla obměnit dříve, nežli kabel s nižším indexem. Vizualizační podobu lze spatřit na obrázku 3 [2].



Obrázek 3: Zobrazení indexu poruchovosti [2]

1.3 On-line vs. off-line metoda diagnostiky

Pro diagnostiku je rozdílný způsob měření, jestliže probíhá za reálného provozu a jejich výsledky jsou kontinuální, což je typické pro metodu on-line. Naproti tomu off-line metody velmi často vyžadují tvorbu umělého prostředí a výsledky jsou známy pouze v čase, kdy je prováděn test [3].

1.3.1 Off-line metoda

Jak již bylo dříve zmíněno, jedná se například o diagnostiku kabelu, kdy se nejprve daný kabelový úsek odpojí a až následně se úsek proměří. Tímto způsobem jsou k dispozici data, která se vztahují pouze pro čas, kdy se měření provádělo. Na VN kabelových trasách se měření provádí na třech nominálních napěťových hodnotách 12,7 kV, 19,0 kV a 25,4 kV. Při těchto napěťových úrovních se měří četnost částečných výbojů, které vznikají v místech poruchy nebo nehomogenity v izolaci [3].

1.3.2 On-line metoda

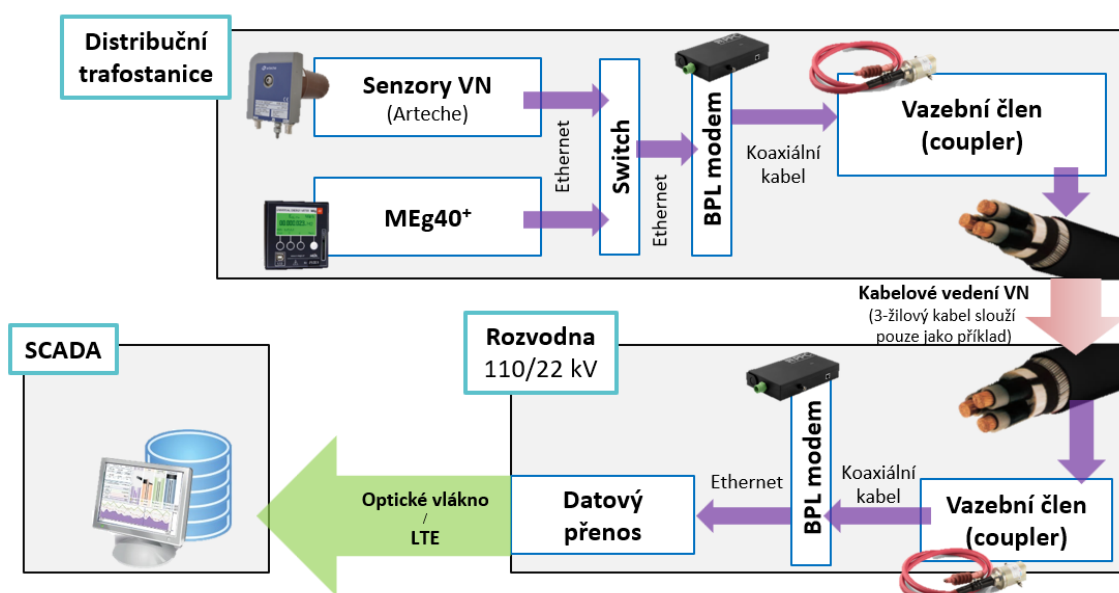
Online metoda má výhodu tu, že veškeré měření se provádí na diagnostikovaném objektu, na kterém je pomocí vazebního členu prováděna zkouška. Velkou výhodou tohoto přístupu je fakt, že neomezuje žádným způsobem provoz dané kabelové trasy. Díky tomu se zvyšuje využitelnost. Diagnostika tím pádem probíhá kontinuálně a může odhalit stavy, které se při sporadickém měření nemusí projevit. Stálé kontinuální sledování objektu zvyšuje bezpečnost a lze okamžitě reagovat na poruchu [4].

Co se týče nevýhod, uživatel se musí spokojit pouze se signály dostupné za plného provozu. Ty mohou být méně vypovídající, data pro analýzu mohou být složitější na zpracování a interpretace výsledků nemusí být vždy správná [3].

2. BPL TECHNOLOGIE

BPL technologie je nedílnou součástí všech energetických společností nejen na území České republiky. Koncept budování sítí na širokopásmové komunikaci má velký potenciál tam, kde distributor nemá možnost rozšiřovat primárně optické sítě, například v oblasti velkých měst.

BPL technologie je pravděpodobně na přechodné období několika desítek let správnou volbou, jelikož není potřeba instalovat další komunikační médium. Veškeré nositelné médium distributoři již mají, jedná se o silový kabel. Nutné prvky, které jsou potřeba pro komunikaci popisuje následující obrázek 4. Pro injektování dat na kabel je zapotřebí vazebního členu neboli coupleru, který může být buďto kapacitní nebo induktivní. Pro komunikaci je třeba vždy point-to-point (P2P) spojení. Komunikace se provádí pomocí BPL modemu, který je připojen na coupler pomocí koaxiálního kabelu.



Obrázek 4: Síť BPL technologie

Hlavním důvodem proč budovat BPL síť je ten, že není možné prozatím všude osadit DTS stanice optickou sítí. Dalším důvodem je fakt, že v některých trafostanicích není možné navázat jinou komunikaci nežli BPL, jelikož nelze vždy zajistit GPRS, 3G nebo 4G/LTE pokrytí.

2.1 Aktuální využívání BPL

2.1.1 BPL v ČEZ Distribuce a.s.

ČEZ Distribuce nyní využívá BPL modemy se standardem DS2 od firmy Transtech a.s. v jedné lokalitě a v druhé lokalitě na standardu IEEE1901 od firmy PPC

[8] a [16]. Instalace se nachází v oblasti Ústí nad Labem a technologie se využívá, jak na NN, tak na VN hladině.

Na hladině NN jsou celkem tři propoje Brná a Vaňov. Propoj Brná měří celkem 657 metrů a obsahuje 7 stanic. Vzdálenosti jsou od 14 metrů, až po 322 metrů. Vaňov má celkem 10 stanic v rozmezí jednotlivých stanic 26 až 103 metrů. Poslední oblastí, kde je BPL komunikace na NN síti je Vaňov 2 s celkovou vzdáleností 502 metrů a to od 53 do 121 metrů vzdálených stanic.

Sítě jsou vystavěny na třech různých kabelech:

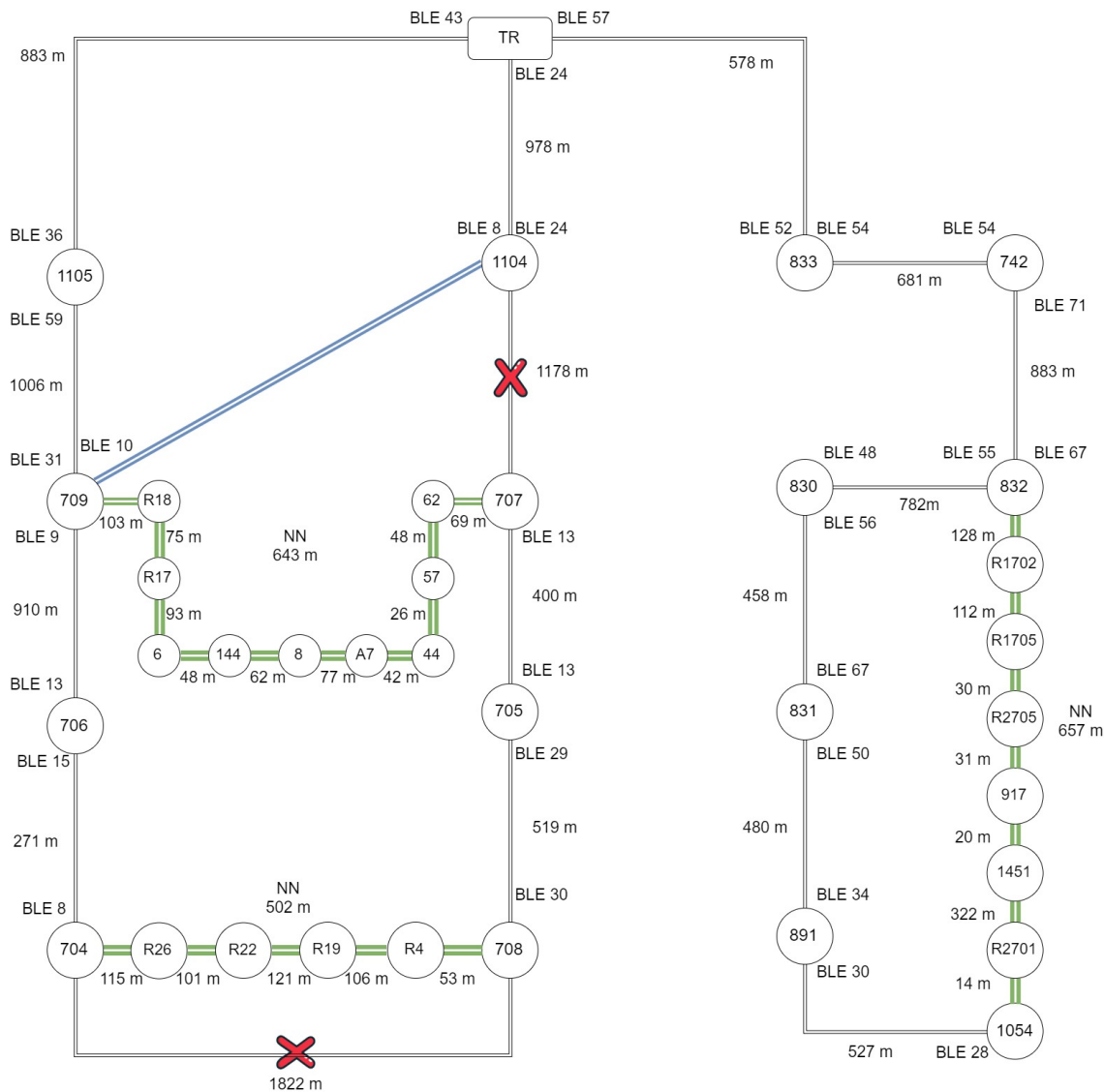
- AKP 3x240+120 mm²
- AYKY 3x240+120 mm²
- AYKY 3x240+70 mm²

Na VN hladině jsou dva okruhy, Brná a Vaňov. Brná obsahuje 7 stanic o celkové délce 4 389 metrech. Rozptyl vzdáleností je od 458 po 883 metrů o počtu 10 spojek. Oblast Vaňov je největší se svými 7 967 metry a o celkovém počtu 39 spojek. Nejkratší trasa měří 271 metrů a nejdelší komunikuje až na 1 006 metrů.

Oblast je vystavěna na čtyřech typech kabelů:

- AVXEKVCE
- AXEKCEY
- AXEKCY
- AVCEKVCE

Obrázek 5 zobrazuje kabelové trasy, na níž je BPL technologie implementována. Jelikož ne vždy je možné navázat komunikaci na všech trasách, využilo se místo VN kabelové trasy NN propoj, díky čemuž bylo možné topologii uzavřít do kruhu. Důvodem využívání kruhové topologie je existence redundantní trasy při P2P spojení.



Obrázek 5: BPL topologie ČEZ [5]

Z tohoto obrázku vyplývá, že mezi stanicemi 709 – Kopeček a 707 – Střed je NN propoj o délce 643 metrů. Tím je myšlena série uskupených rozpojovacích jisticích skříní (RIS). Obrázek obsahuje hodnoty Bit Load Estimate (BLE), které určují kvalitu spojení. Hodnoty BLE jsou v rozmezí 0 až 103 ze všech měření, která byla k dispozici. Zobrazení kabelových tras včetně NN propojení vykresluje obrázek 6.



Obrázek 6: BPL mapa ČEZ [5]

2.1.2 BPL v E.ON Distribuce a.s.

E.ON Distribuce začala BPL technologii využívat již v roce 2013, kdy byla vybrána obec blízko Vyškova jménem Komořany. Celkem se nainstalovalo 258 elektroměrů značky Landis+Gyr, které komunikovaly modulem Corinex. Dále byly dvě trafostanice osazeny datovými koncentrátory Corinex, které zajišťovaly datový přenos z elektroměrů do centrály. Komunikace procházela skrze VN vedení. Projekt byl ukončen v roce 2019. Bylo rozhodnuto, že BPL technologie je vhodná do jiných lokalit [6].

Další lokalitou je Brno – Střed, kde je nyní celkem 25 trafostanic osazeno BPL technologií. Celková vzdálenost kabelové trasy je 8 705,8 metrů. Nejkratší trasa měří 54,4 metrů a nejvzdálenější je dlouhá 879,8 metrů. Na trase se nachází 42 spojek kabelů, které spadají do dvou typů. Prvním typem je smršťovací spojka, druhým typem je plastová spojka.

Síť je vystavěna na celkem šesti druzích kabelů:

- AXEKCY
- AXEKCEY
- AXEKVCEY
- NA2YXS2Y
- N2XS(F)2Y
- NA2XS2Y

Typy spojek:

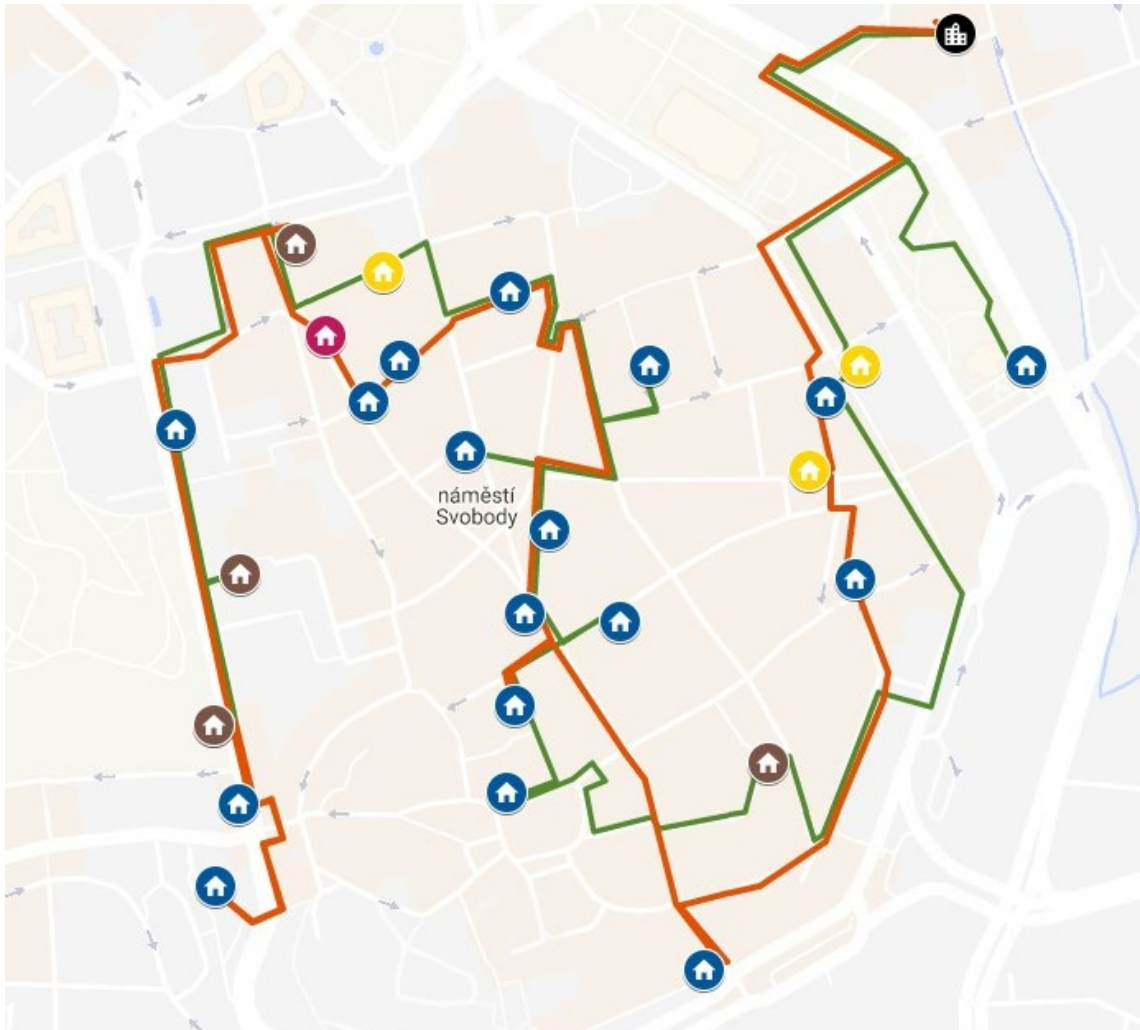
- Plastová
 - SJVC – montáž v letech 1996-97
- Smršťovací
 - CJH11 – montáž v letech 2017-18
 - POLJ – montáž v letech 2006-08
 - 93-AS-220-1 – montáž od roku 2011
 - SXSU – montáž v letech 1999-2004

V Brně - Střed se nachází taktéž kruhová topologie, v níž je vždy redundantní trasa, viz obrázek 7.



Obrázek 7: BPL topologie E.ON

Pro lepší vizualizaci je k dispozici mapa Brna – Střed, kde se nachází jednotlivé trafostanice, viz obrázek 8.



Obrázek 8: BPL mapa E.ON

2.2 Výsledky testování BPL komunikace

2.2.1 Testování topologie Brná a Vaňov

K testování BPL komunikace bylo využito parametrů měření bit load estimate (BLE). Hodnota BLE Tx a BLE Rx vyjadřuje kvalitu spojení ve směru od vysílače a zpět k vysílači. Dále hodnota Link Capacity, která definuje jeden skok neboli hop, jako fyzický přenos ze zdroje. Kapacita liny je stanovena Shannonovým limitem a bitovou chybovostí [7]. Posledním parametrem je parametr Costs, který udává hodnotu kvality dané trasy, čím je hodnota nižší, tím je vhodnější pro komunikaci.

Jednotlivé tabulky znázorňují vždy měření P2P se všemi dříve již zmiňovanými parametry měření.

Následující tabulka 1 zobrazuje první část topologie. Při bližším prozkoumání tabulky je možné říci, že nejméně kvalitní trasou je VN propoj mezi stanicemi UL709-UL1104. Hodnota BLE se v tomto případě dostala na velmi nízké jednotky, proto je tento úsek úzkým hrdlem. Dalším méně kvalitním propojením se jeví trasa 44-62 na NN hladině. V tomto případě měření probíhalo v sérii se třetí stanicí. Proto jsou naměřené hodnoty nižší, avšak pokud by byla tato trasa rozdělena na 44-57 a 57-62, hodnoty by byly mnohem vyšší.

Tabulka 1: Testování topologie ČEZ část 1

				NN	NN	NN	NN	144-A7 NN	NN	44-62 NN	NN
Komunikační trasa z - do	TR-1105	UL1105-UL709	UL709-UL1104	UL709-R18	R18-R17	R17-6	6-144	144-8-A7	A7-44	44-57-62	62-UL707
Celkový počet měření	10107	10103	6289	28823	25036	4579	127	5377	935	3542	3972
Hodnota Costs	898	522	1320	112	398	488	304	702	276	1379	748
směrodatná odchylka	84,6	22,6	131,1	6,2	27,3	18,3	4,3	54,2	135,6	68,3	63,4
Link Capacity	412	539	369	1130	597	549	668	472	696	330	445
směrodatná odchylka	20,0	9,7	32,8	53,9	17,5	7,4	5,2	15,8	7,0	10,9	19,5
BLE Tx	36	59	10	85	60	53	69	41	71	25	39
směrodatná odchylka	4,0	2,3	1,4	13,5	5,2	2,1	0,0	2,4	4,1	1,7	6,5
BLE Rx	43	31	8	69	57	51	67	39	71	27	75
směrodatná odchylka	1,7	1,3	1,4	4,9	4,5	2,2	0,9	4,9	6,3	1,7	8,2

Tabulka 2 obsahuje další sérii měřených kabelových tras. Trasa UL707-UL1104 měří téměř 1 200 metrů. Pro BPL technologii je to příliš velká vzdálenost. Komunikaci nebylo možné navázat ani se speciálně upravenými modemy, takzvanými „LongHaully“, které mají upravené komunikační spektrum. Tento problém byl odstraněn redundantní trasou, která je obsažena v tabulce 1. Redundantní trasou je spojení UL709-UL1104. Díky tomuto spoji je možné uzavřít topologii do částečného kruhu.

Mezi méně kvalitní úseky dále patří UL709-UL706, UL706-UL704 a UL705-UL707. Plyne to ze změřených hodnot BLE, kde hodnoty nepřevyšují číslo 15.

Tabulka 2: Testování topologie ČEZ část 2

Komunikační trasa z - do	UL709-UL706	UL706-UL704	UL704-UL708	UL708-UL705	UL705-UL707	UL707-UL1104	UL1104-TR	TR-UL883	UL883-UL742	UL742-UL832
						nefunguje				
Celkový počet měření	10052	9996	22842	9538	5686		10096	28823	6559	6550
Hodnota Costs	2378	2761	175	1153,5	1220		1497	568	550	366
směrodatná odchylka	308,9	431,1	33,7	1152,1	630,8		59,0	14,4	17,4	16,7
Link Capacity	219	187	915	363	385		315	510	517	616
směrodatná odchylka	33,3	37,4	89,0	115,9	83,4		9,1	6,6	7,7	13,5
BLE_Tx	9	15	79	32	13		24	57	54	71
směrodatná odchylka	2,8	8,9	6,4	10,5	10,7		2,6	3,6	3,2	3,6
BLE_Rx	13	8	19	29	13		24	52	54	67
směrodatná odchylka	4,2	5,5	3,3	8,7	4,1		1,7	3,0	3,0	3,0

Poslední část je možné spatřit v tabulce 3, v níž nalezneme pouze jednu trasu, která je omezující. Jedná se o trasu 917-R2705, kde jsou hodnoty pod 12. Tento spoj je nejméně kvalitní ze všech NN propojení, i když je dlouhý pouze 31 metrů.

Tabulka 3: Testování topologie ČEZ část 3

					NN	NN	NN	NN	NN	NN
Komunikační trasa z - do	UL832-UL830	UL830-UL831	UL831-UL891	UL891-UL1054	UL1054-1451	1451-917	917-R2705	R2705-R1705	R1705-R1702	R1702-UL832
Celkový počet měření	6438	6550	6549	6546	NEMĚŘENO	7263	18775	13023	13023	28823
Hodnota Costs	576	516	725	1255	NEMĚŘENO	424	2259	1742	602	811
směrodatná odchylka	31,8	23,3	41,4	124,8	NEMĚŘENO	35,8	120,4	219,8	66,3	66,9
Link Capacity	508	530	462	348	NEMĚŘENO	581	231	266	522	423
směrodatná odchylka	13,7	11,9	11,8	25,5	NEMĚŘENO	18,6	11,9	31,2	24,0	19,3
BLE Tx	55	56	50	30	NEMĚŘENO	59	12	18	51	42
směrodatná odchylka	1,7	3,8	1,4	5,4	NEMĚŘENO	3,8	2,2	5,1	3,8	2,2
BLE Rx	48	67	34	28	NEMĚŘENO	56	9	51	18	81
směrodatná odchylka	3,9	2,2	10,8	4,7	NEMĚŘENO	2,8	5,2	3,9	5,1	12,6

Z měření jasně vypovídá, že některé trasy jsou pro komunikaci vhodnější a jiné ne, avšak vždy je možné navázat komunikaci. U VN tras bylo zjištěno, že tři trasy jsou z hlediska komunikace horšími trasami, jelikož u těchto tras BLE hodnoty nepřesáhly hranici 10. Konkrétně se jedná o trasy UL709-UL1104, UL709-UL706 a UL706-UL704.

NN propojení je pro komunikaci vhodnější, jelikož kabely jsou beze spojek. Tím může být dosaženo velmi výhodného kompromisu, jestliže VN spoj je příliš dlouhý. Vyloženě nejhorší komunikační trasou se jeví spojení stanic 917-R2705, kde byla změřena nejnižší hodnota BLE.

Trasy, které mají hodnotu BLE Tx/Rx nižší než 15, jsou z hlediska kvality komunikace omezující. Jestliže hodnota klesne pod 3, trasa se stává prakticky nedostupnou. Na daných kabelových trasách bylo zjištěno pomocí nástroje iPerf, který testuje komunikační rychlosti sítě, že žádná z tras nemá nižší rychlost nežli 3 Mbit/s¹. A odezva na jednotlivá zařízení se pohybuje do 150 ms, což bylo testováno nástrojem ping.

¹ <https://www.cezdistribuce.cz/cs/komunikace-bpl.html>

2.2.2 Testování topologie Brno – Střed

Testování topologie v oblasti Brno – Střed obsahovalo stejné parametry jako tomu bylo v předchozím případě, avšak navíc byl využit nástroj ping, který se pomocí ICMP protokolu (Internet Control Message protocol) dotazuje z výchozí stanice k následující stanici. V tomto případě byl spuštěn nástroj ping na rozvodně a dotazoval se všech modemů na trase. Dalším parametrem, který bylo možné využít, byla rychlost upload a rychlost download, která udává maximální dosažitelnou rychlost v daném směru.

Zkoumaná topologie v Brně byla podrobena detailnímu testování po dobu tří týdnů. Následující tabulka 4 znázorňuje nejhorší část komunikační sítě. Prvním úzkým místem je spoj Rozvodna – Malinovské náměstí. I přesto, že hodnoty BLE jsou velmi vysoké a linka kapacity je na hodnotě téměř 500, změřená rychlost dosahovala bezmála 11 Mbit/s. Druhým problémovým úsekem je spojení Mahenova divadla s DTS Františkánská. BPL technologie v tomto případě dokázala odhalit vadnou spojku, která byla proměřena kabelovým vozem, ten následně identifikoval vlhkost ve spojce. Před výměnou spojky nebylo možné trasu komunikačně zprovoznit. Jakmile byla spojka vyměněna, zpřístupnila se tím komunikace pouze s upraveným typem BPL modemů – longhaulem. Komunikační rychlost byla testovaná pomocí iPerfu po dobu několika sekund, proto není hodnota vložena do tabulky. Výsledkem byla rychlost přibližně 8 Mbit/s. Měření BLE ve stejné trase udává hodnotu 55, která značí dobrou kvalitu. Parametry ping a BLE nemohou být vztaženy k sobě, jelikož měření neprobíhala zároveň.

Nelze v žádném případě srovnávat hodnoty naměřené v síti ČEZ, jelikož fyzické parametry jsou velmi odlišné.

Tabulka 4: Testování topologie Brno - Střed část 1

Měřená trasa	Rozvodna-Malinovské náměstí	Malinovské náměstí-Mahenovo divadlo	Mahenovo divadlo-Františkánská	Františkánská-Zelný trh
Celkový počet pingů	63360	63360	35646	35647
Celkem responsetime 1	22637	24541	14927	14913
Celkem responsetime 2	22594	24481	14911	14890
Celkem responsetime 3	22517	24152	14876	14831
Úspěšnost 1	35,73%	38,73%	41,88%	41,84%
Úspěšnost 2	35,66%	38,64%	41,83%	41,77%
Úspěšnost 3	35,54%	38,12%	41,73%	41,61%
Spojky [ks]	4	3	4	4
Vzdálenost [m]	515,2	533,6	698,6	427,4
Rychlost up [mb/s]	10,9	37,7	NEMĚŘENO	24,6
Rychlost down [mb/s]	8,23	34,8	NEMĚŘENO	22,4
Bit Load Estimate				
Celkový počet měření	11460	11403	11403	11463
Hodnota Costs	603	534	542	2404
směrodatná odchylka	4,13	23,25	25,51	271,51
Link Capacity	494	524	520	214
směrodatná odchylka	1,89	9,64	10,27	35,10
BLE Tx	55	55	56	9
směrodatná odchylka	3,33	1,52	3,64	1,39
BLE Rx	60	56	55	7
směrodatná odchylka	3,33	3,64	1,52	0,67

Další naměřená data odhalují fakt, že ne vždy může korelovat přenosová rychlost s hodnotami BLE Tx/Rx. Vyplývá to z trasy Zelný trh – Jánská, kde je dosažena maximální rychlost uploadu 46,3 Mbit/s a v downloadu 28,8 Mbit/s. Avšak BLE bylo změřeno BLE Rx 29 a BLE Tx pouze 20, což je vzhledem k vysokým přenosovým rychlostem nepoměrně velký rozdíl, viz tabulka 5. Další markantní rozdíl je na trase Rašínova –

Beethovenova, kde při rychlostech mezi 15-20 Mbit/s jsou hodnoty BLE přes 80. V trasách Beethovenova – Solniční a Solniční – OD Vágner lze zaznamenat stejné nuance.

Tabulka 5: Testování topologie Brno - Střed část 2

Měřená trasa	Zelný trh-Jánská	Jánská-Rašínova	Rašínová-Beethovenova	Beethovenova-Solniční	Solniční-OD Vágner	OD Vágner - Besední dům
Celkový počet pingů	35648	35647	35648	35650	35651	35652
Celkem responsetime 1	14904	14895	34903	34918	34929	34940
Celkem responsetime 2	14876	14852	34896	34892	34921	34933
Celkem responsetime 3	14834	14788	34737	33970	34843	34391
Úspěšnost 1	41,81%	41,78%	97,91%	97,95%	97,97%	98,00%
Úspěšnost 2	41,73%	41,66%	97,89%	97,87%	97,95%	97,98%
Úspěšnost 3	41,61%	41,48%	97,44%	95,29%	97,73%	96,46%
Spojky [ks]	2	1	1	4	0	0
Vzdálenost [m]	321,7	313,9	308,3	507	118,8	415,7
Rychlost up [mb/s]	46,3	40,2	15,6	14,6	19,5	37,5
Rychlost down [mb/s]	28,8	35,5	19,3	13	36,7	36,1
Bit Load Estimate						
Celkový počet měření	11440	11449	28731	28693	28746	28724
Hodnota Costs	1468	230	291	478	1506	289
směrodatná odchylka	87,31	6,08	6,79	15,76	74,60	7,43
Link Capacity	317	750	678	549	309	680
směrodatná odchylka	15,10	10,38	8,00	8,23	9,92	5,49
BLE Tx	20	87	83	61	26	81
směrodatná odchylka	1,20	3,35	4,03	3,30	2,09	4,67
BLE Rx	29	103	93	69	24	71
směrodatná odchylka	2,43	1,90	2,55	3,90	1,84	3,17

Na snímku topologie sítě E.ON (obrázek 7) je zaznačeno, že mezi trasou CO Kryt a Husova – Studánka je ještě jedna DTS stanice s názvem Bust (DTS703634). Jedná se o stanici, která není ve vlastnictví E.ONu, proto je koaxiální kabel pouze propojen spojkou. I přes tento fakt jsou výsledky velmi příznivé a přibližně odpovídají předcházejícím výsledkům jiných tras, což vidíme v tabulce 6.

Tabulka 6: Testování topologie Brno - Střed část 3

Měřená trasa	Besední dům - Husova	Husova -CO kryt	CO Kryt-Studánka	Studánka-Česká 28	Česká 28 -Česká6	Česká 6-Magnum	Magnum-Kino Scala
Celkový počet pingů	35652	35652	35653	35654	35656	35657	35659
Celkem responsetime 1	34963	34997	34970	35013	35031	35049	35045
Celkem responsetime 2	34955	34986	34964	35009	35024	62237	35039
Celkem responsetime 3	34790	34622	34842	34956	34903	34630	34925
Úspěšnost 1	98,07%	98,16%	98,08%	98,20%	98,25%	98,29%	98,28%
Úspěšnost 2	98,04%	98,13%	98,07%	98,19%	98,23%	98,27%	98,26%
Úspěšnost 3	97,58%	97,11%	97,73%	98,04%	97,89%	97,12%	97,94%
Spojky [ks]	1	2	6	5	2	2	1
Vzdálenost [m]	185,6	194,2	376,6	879,8	208,8	54,4	126,4
Rychlost up [mb/s]	28,3	NEMĚŘENO	19,9	32,6	38,8	33,5	34,7
Rychlost down [mb/s]	31,4	NEMĚŘENO	20,3	35	39,8	34,4	34,4
Bit Load Estimate							
Celkový počet měření	28779	28753	28723	15639	28784	28744	517
Hodnota Costs	459	542	518	794	412	263	498
směrodatná odchylka	29,55	8,33	5,03	17,11	7,04	15,49	4,45
Link Capacity	558	522	530	440	588	709	541
směrodatná odchylka	17,36	3,94	2,38	5,64	5,40	17,98	2,97
BLE_Tx	63	57	59	45	67	83	57
směrodatná odchylka	11,84	2,10	2,63	3,12	4,39	3,73	1,32
BLE_Rx	73	49	56	38	53	81	56
směrodatná odchylka	4,45	2,37	2,41	1,82	1,94	3,68	0,93

Posledním úzkým místem je trasa Bašty – Karát, kde jsou přenosové rychlosti menší než 8,5 Mbit/s, viz tabulka 7. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že se jedná o delší kabelový úsek, na němž jsou čtyři spojky.

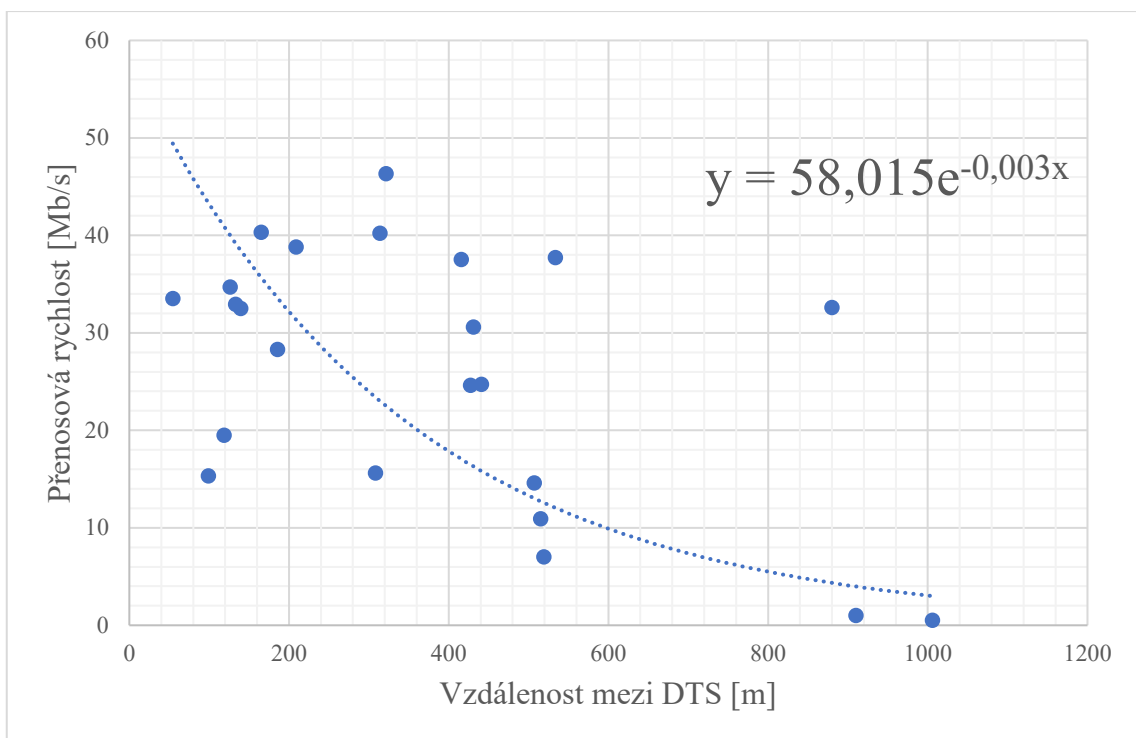
Tabulka 7: Testování topologie Brno - Střed část 4

Měřená trasa	Kino Scala-Amadeus	Amadeus-Rozkvět	Rozkvět-Radnická	Radnická-Bašty	Bašty-Karát	Karát-Sukova spořitelna	Sukova Spořitelna-ČNB	ČNB-Rozvodna
Celkový počet pingů	35658	35659	35661	35662	35651	35663	35655	35666
Celkem responsetime 1	35050	35082	35079	35096	35588	35227	35233	35269
Celkem responsetime 2	35047	35080	35076	35093	35586	35227	35233	35269
Celkem responsetime 3	34862	35062	35003	35056	35578	35176	35181	35268
Úspěšnost 1	98,29%	98,38%	98,37%	98,41%	99,82%	98,78%	98,82%	98,89%
Úspěšnost 2	98,29%	98,38%	98,36%	98,40%	99,82%	98,78%	98,82%	98,89%
Úspěšnost 3	97,77%	98,33%	98,15%	98,30%	99,80%	98,63%	98,67%	98,88%
Spojky [ks]	4	0	1	2	4	1	0	4
Vzdálenost [m]	430,8	99,2	139,5	441	519	165,1	133,2	592
Rychlost up [mb/s]	30,6	15,3	32,5	24,7	7	40,3	32,9	NEMĚŘENO
Rychlost down [mb/s]	33,5	15,8	31,9	23,3	8,49	38,5	23,9	NEMĚŘENO
Bit Load Estimate								
Celkový počet měření	28809	28823	28840	13954	28809	28843	10821	10804
Hodnota Costs	268	374	329	381	537	931	291	393
směrodatná odchylka	7,30	11,81	3,87	5,01	18,89	59,37	2,92	5,47
Link Capacity	702	613	643	606	521	405	678	598
směrodatná odchylka	8,38	9,95	3,93	3,46	9,35	14,05	3,49	3,46
BLE_Tx	81	67	75	65	50	37	79	71
směrodatná odchylka	3,24	2,15	2,31	3,72	2,91	1,69	3,31	4,71
BLE_Rx	83	60	81	67	73	42	75	60
směrodatná odchylka	3,85	2,16	3,01	3,16	3,21	6,05	3,10	4,66

Z rozsáhlého měření vyplývá, že hodnoty pingu nejsou vypovídající pro určení kvality spojení a nebyla sledována spojitost mezi fyzickými vlivy a nástrojem ping. Nižší procento počtu přijetí ping dotazu a odpovědi mohlo být způsobeno paralelním provozem při měření. V úseku Mahenovo divadlo – Františkánská se využívají BPL modemy Longhaul, které mají komunikační spektrum posunuto od 0,75 až po 5 MHz. To je přibližně 6krát užší spektrum, díky čemuž bylo možné zpřístupnit komunikační trasu.

Hodnoty BLE Tx a Rx vypovídají s vysokou pravděpodobností o kvalitě trasy. Parametr Link Capacity úzce souvisí s hodnotami BLE. Čím vyšší jsou hodnoty BLE, tím vzrůstá parametr Link Capacity. Rozsah hodnot se pohybuje od 180 až po 750. I přestože je k dispozici více druhů parametrů, žádný nekoreluje přímo s naměřenými rychlostmi.

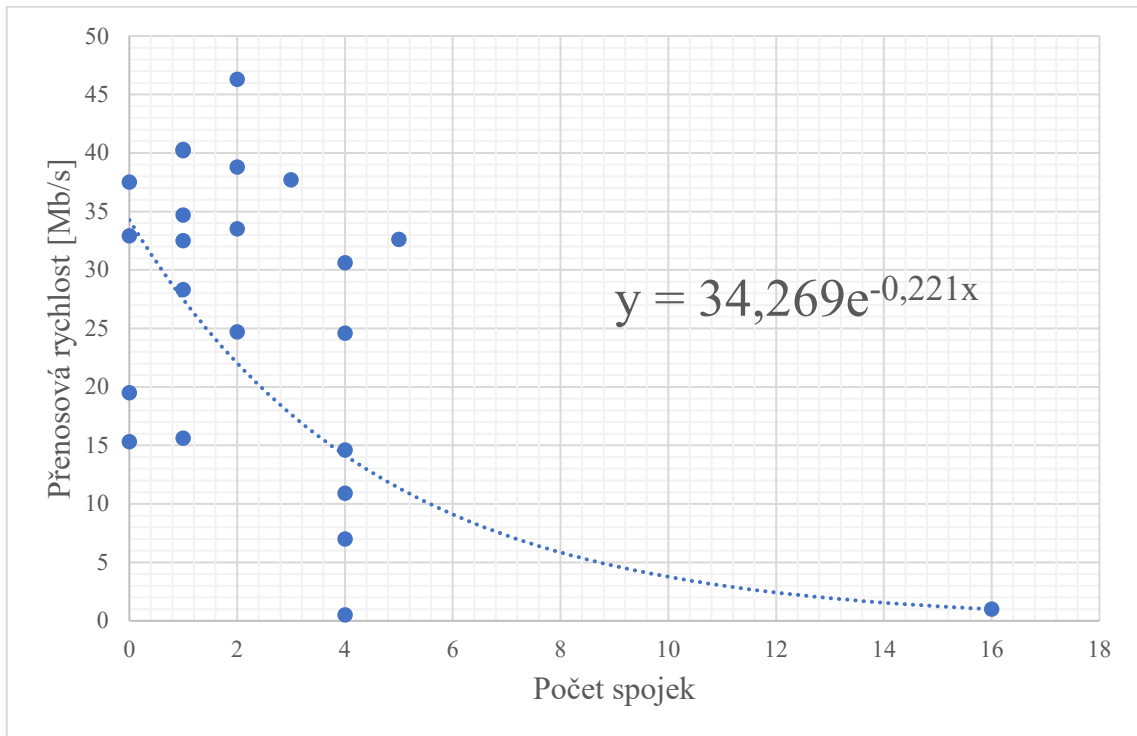
Z analýzy vzdáleností (obrázek 9) a spojek (obrázek 10) vyplývá, že pro dosažení rychlosti alespoň přibližně 20 Mbit/s by měla být vzdálenost mezi DTS stanicemi maximálně 300 metrů a pro dosažení rychlosti alespoň 10 Mbit/s by neměla vzdálenost převyšovat 600 metrů. Obrázek 9 znázorňuje trend závislosti přenosové rychlosti na komunikační vzdálenosti. Z tohoto trendu závislosti již lze předurčit, jaká bude pravděpodobná rychlost pro přibližnou vzdálenost.



Obrázek 9: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi

Avšak s tím taktéž souvisí počet spojek, které jsou na kabelové trase. Proto, aby byla vysoká pravděpodobnost, že přenosová rychlost bude vyšší než 20 Mbit/s, by mělo být dodrženo maximálního počtu dvou kusů spojek na trase. Pro dosažení alespoň 10 Mbit/s by neměl počet spojek překročit hranici 4 kusů na trase, viz obrázek 10. V případě hloubkové analýzy každé trasy separátně, je vhodné se zaměřit na konkrétní typy spojek.

Distributoři mají svůj vlastní geografický informační systém (GIS), v němž je možné dohledat délky kabelových tras a jejich spojky.



Obrázek 10: Závislost přenosové rychlosti na počtu spojek

3. DIAGNOSTIKA POMOCÍ POWERLINE MODEMŮ PRO SMART GRIDS

Vzdálené monitorování stavů kabelů je základní charakteristikou nové generace Smart Grids sítí, které budou schopny soustavného sledování infrastruktury sítě. Nesmírnou výhodou je diagnostika kabelu kontinuálním sledováním stavu kabelu za účelem identifikace, posouzení a lokalizace možných degradací. Poruchy kabelů v provozu vedou k potenciálně nebezpečným situacím a vážným ekonomickým ztrátám.

Obslužné programy pro detekci poruch a degradaci na lince obvykle používají metody zjišťování reflektometrie, jako je Time Domain Reflectometry (TDR), Frequency Domain Reflectometry (FDR) nebo Joint Time-Frequency Domain Reflectometry (JTFDR) [9].

Jak již bylo zmíněno dříve, širokopásmová komunikace je schopna odhalit vadný kabel či spojku. Při znalostech určitých vstupních dat s využitím statistických metod by bylo možné přidělovat měřeným kabelovým trasám koeficient, který by vyhodnocoval životnost kabelové trasy.

Vstupními daty jsou veškerá data z GISu, tím jsou například délky tras, počty spojek, typy spojek. V současné době jsou BPL modemy s rozhraním 1 000 Mbit/s, avšak využívají se i s menším rozhraním, a to s hodnotou 200 Mbit/s. Připojením a proměřením trasy poskytnou data, která jsou vhodná pro analyzování a lze je náležitě využít. Je to například rychlost v uploadu a downloadu, dále dokážou určit hodnoty SNR (Signal-to-Noise Ratio), Costs – parametr udávající cenu dané komunikační trasy, Link Capacity² – je definovaná, jako fyzická přenosová bitová rychlost zdroje určenou Shannonovým limitem, modulací a bitovou chybovou rychlostí, BLE Tx/Rx – značí kvalitu trasy v obou směrech komunikace. Pomocí těchto dat lze určit koeficient, který znázorní s určitou pravděpodobností index poruchovosti.

Výsledná hodnota koeficientu udává životnost jednotlivého kabelu. Čím více parametrů je známo, tím přesnější koeficient bude. To napomůže k plánování obměny kabelových tras s efektivnějším přerozdělením finančních prostředků.

Vizualizace by měla tvořit mapu s kabelovou trasou. Každá trasa bude znázorňovat vlastnosti trasy. Uživatel by měl být schopen změnit vstupní parametry, přidávat další spoje, respektive modifikovat celou topologii. V případě, že nebudou zadána všechna požadovaná vstupní data, diagnostická metoda by byla schopna dopočítat například pravděpodobnou přenosovou rychlost, avšak s větší odchylkou. Pro testování byla zvolena síť Brno – Střed.

² <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/link-capacity>

4. METODIKA VÝPOČTU KOEFICIENTU

BPL technologii lze považovat za aktivní on-line metodu zjišťování technického stavu kabelového vedení, respektive je možné tuto technologii použít jako diagnostický nástroj. Z tohoto důvodu bylo možné navrhnout metodiku a vytvořit koeficient pro testovanou síť VN, který jasným způsobem dokáže říci v jaké kondici se nachází daná kabelová trasa.

Výběr parametrů a stanovení posloupnosti, v jakém rozmezí může daný parametr ovlivňovat komunikaci, je na základě odborné literatury [5], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19] a diskuze s odborníky a provozními techniky ze společnosti E.ON Distribuce a.s. stanoven následovně:

1. Počet spojek – daný počet spojek na komunikační trase. Lze předpokládat, že pokládka kabelu a samotný kabel z výroby je v nejlepší kondici. Jestliže se vyskytne problém, daná část kabelu je odstraněna a nahrazena novým kabelem s minimálně jedním kusem spojky. Zde vzniká riziko nesprávné instalace spojky či vniknutí vlhkosti.
2. Vzdálenost – vzdálenost mezi jednotlivými stanicemi se pohybuje nejčastěji v rozmezí desítek až vyšších stovek metrů, které limitují korektní navázání komunikace. BPL modemy lze instalovat pouze do stanic/DTS a není možnost implementace dodatečných opakovačů.
3. Stáří kabelu – rok instalace každé kabelové části může ovlivnit komunikaci po trase.
4. Typ spojky – pod typem spojky lze uvést označení spojky, např. POLJ (spojka se šroubovacími spojovacími), avšak v tomto případě postačí, jestliže je spojka plastová anebo smršťovací teplem.
5. Stáří spojky – dle roku instalace spojky lze odhadnout, jaký je konkrétní typ spojky, zda se jedná o plastovou nebo smršťovanou teplem. Dále samotné stáří ovlivňuje životnost a komunikační parametry (např. vniknutí vlhkosti do spojky je nejběžnějším problémem).
6. Přenosová rychlost – parametr je nutné změřit za pomoci měřicího nástroje iPerf 3.0 (nebo komerčními nástroji s RFC metodikami), který umí změřit komunikaci v obou směrech, jak v uploadu, tak v downloadu. Přidanou hodnotou měření je zjištění doby odezvy mezi stanicemi.
7. BLE – Bit Load Estimate – parametr vyjadřuje kvalitu spojení mezi stanicemi.
8. SNR – Signal-to-Noise Ratio – odstup signálu od šumu značí stav spojení v čase. Například modemy značky Corinex měří SNR a alokaci počtu bitů na nosnou.

Tabulka 8 obsahuje seznam ohodnocení jednotlivých parametrů, které ovlivňují komunikaci. Nejvíce ovlivňující parametr je počet spojek, které se nacházejí na dané komunikační trase. S tím také souvisí vzdálenost mezi stanicemi bez použití opakovačů.

Tabulka 8: Ohodnocení parametrů pro koeficient na VN síti

Pořadí	Parametr	Rozsah hodnot	Interval koeficientu	Podíl na hodnotě koeficientu
1.	Počet spojek	0–20	0–0,2	20 %
2.	Vzdálenost bez opakovačů	50–1200	0–0,2	20 %
3.	Stáří kabelu	0 nebo 1*	0 nebo 0,1	10 %
4.	Typ spojky	0 nebo 1**	0 nebo 0,05	5 %
5.	Stáří spojky	0 nebo 1***	0 nebo 0,05	5 %
6.	Průměrná přenosová rychlost na transportní vrstvě	0–50	0–0,15	15 %
7.	BLE – Bit Load Estimate	5–110	0–0,05	5 %

* jestliže byl kabel instalován před rokem 1980, hodnota bude 0, je-li kabel mladší, hodnota bude rovna 1

** jestliže je spojka smršťovací teplem, hodnota bude rovna 0, jestliže se jedná o plastovou, hodnota bude 1

*** jestliže byla spojka instalována před rokem 1980, hodnota bude rovna 0, je-li spojka mladší, hodnota bude 1

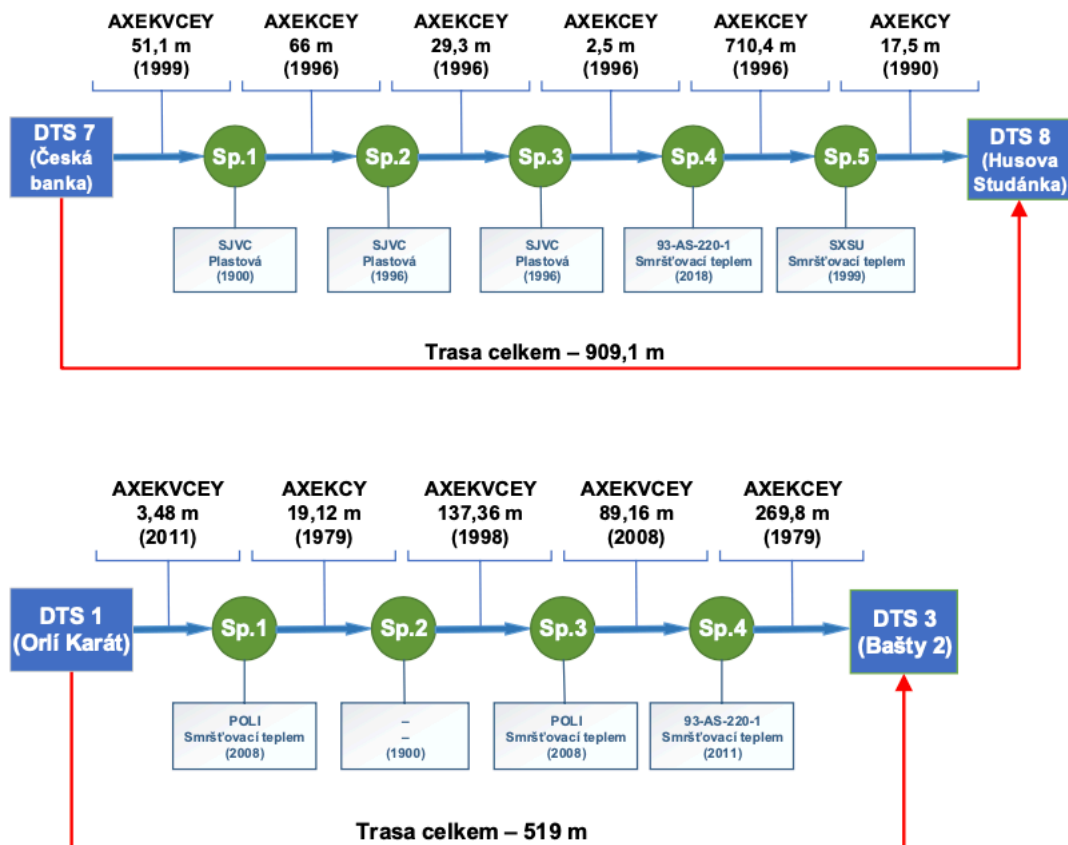
4.1 Parametr počet spojek

Počet spojek je jedním z hlavních faktorů, který ovlivňuje komunikaci po silnoproudém vedení, což ukázala měření provedená VUT ve spolupráci s E.ON Distribuce a.s. [9] a také je diskutováno v publikaci [11]. Z obdržených dat od energetických společností provozujících BPL komunikaci byl sestaven průběh, který znázorňuje závislost počtu spojek na komunikační rychlosti, viz obrázek 10. Počet spojek na jedné kabelové trase je stanoven v rozmezí 0 až 20 kusů. Komunikaci bylo možné navázat na trase s 16 spojkami. Koeficient zde může nabývat hodnot 0 až 0,2. Parametr ovlivňuje celkový podíl koeficientu z 20 procent. Toto tvrzení značně podporují publikace [9] a [11].

$$\begin{aligned}
 \text{počet spojek} = 0 &\rightarrow \text{koeficient} = 0,2 & (4.1) \\
 \text{počet spojek} \in < 1; 20 > &\rightarrow \text{koeficient} = \frac{0,198 \times 1}{\text{počet spojek}}
 \end{aligned}$$

4.2 Parametr vzdálenost

S předchozím parametrem souvisí také vzdálenost mezi jednotlivými stanicemi. Dle teoretického předpokladu by měla být kvalitnější trasa kratší nežli delší. Konkrétní měření komunikační trasy mezi DTS Česká banka a Husova Studánka, jejíž trasa měří 909,1 metrů v porovnání s druhou trasou mezi DTS Orlí Karát a Bašty 2 v níž je trasa dlouhá 519 metrů. Viz obrázek 11 a obrázek 12.



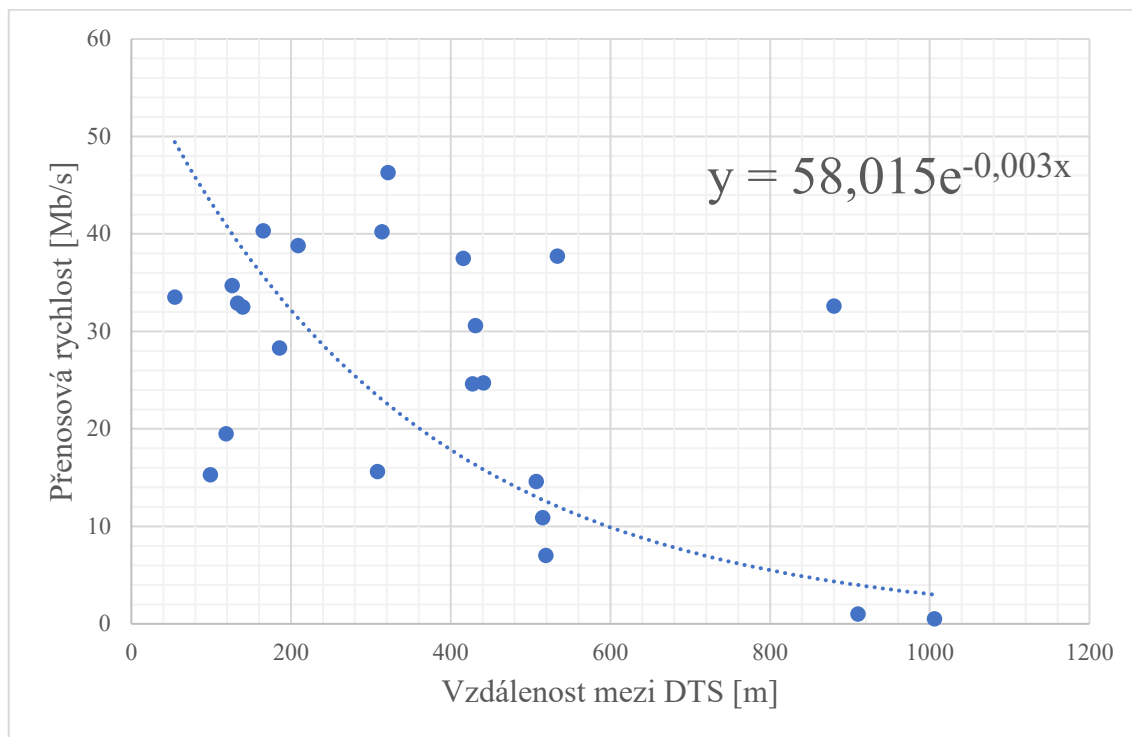
Obrázek 11: Měření dvou kabelových tras, nejdelší a nejhorší [12]

Porovnání TCP propustnosti ukazuje nesoulad s teoretickými předpoklady, kdy s rostoucí délkou vedení roste útlum a klesá propustnost. Nejdelší trasa (909 metrů) vykazuje vysokou propustnost a spolehlivost oproti teoretickým předpokladům, viz tabulka 9.

Tabulka 9: Porovnání tras, nejdelší a nejhorší [12]

TCP propustnost [Mbit/s] (TCP okno 43.8 KB)	Nejhorší (519 m)	Nejdelší (909 m)
Průměr	5,35	32,21
Medián	5,29	32,00
Směrodatná odchylka	1,35	1,18
Min	2,72	28,30
Max	8,89	35,70

Proto je parametr ohodnocen stejně, jako počet spojek a může nabývat 0 až 0,2. Limitní vzdálenosti pro komunikaci je do 1 200 metrů, což bylo ověřeno, jak simulací, tak reálným měřením, viz obrázek 12.



Obrázek 12: Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi

$$vzdálenost \in \langle 5; 1200 \rangle \rightarrow koeficient = \frac{0,2 \times 50}{vzdálenost} \quad (4.2)$$

Naměřená data vykazují určitý trend vývoje rychlosti v závislosti na vzdálenosti. Jestliže je rychlost významně nižší, než očekáváme, značí to problém na trase, a proto musí být koeficient snížen. Tedy například máme vzdálenost 519 m Orlí Karát – Bašty, kdy očekáváme 18 Mbit/s, ale reálné měření ukázalo pouze 5 Mbit/s – proto je koeficient snížen.

4.3 Parametr stáří kabelu

Dalším adekvátním parametrem je stáří kabelu. Tento údaj bývá vždy uváděn pro každý úsek kabelu. Dle jiných instalací u distributorů elektrické energie není vhodné instalovat BPL komunikaci na olejové typy kabelů, které se používaly v první polovině 20. století. Ve většině případů nebylo vůbec možné navázat spojení. Zaměříme-li se na stejné porovnání dvou dříve zmiňovaných kabelových tras a porovnáme jejich fyzické parametry, lze odhalit další souvislosti.

Tabulka 10: Porovnání stáří kabelových tras [12]

POROVNÁNÍ STÁŘÍ VEDENÍ					
Nejhorší (519 m)			Nejdelší (909 m)		
Pořadí	Rok výstavby	Délka	Pořadí	Rok výstavby	Délka
1	2011	3,5	1	1999	54,1
2	1979	19,1	2	1996	66
3	1998	137,4	3	1996	29,3
4	2008	89,2	4	1996	2,5
5	1979	269,8	5	2018	710,4
	-	-	6	1990	17,5

Tabulka 10 porovnává roky výstavby nejhorší trasy Orlí Karát – Bašty a nejdelší Česká Banka – Husova Studánka. Nejstarší část kabelu je z roku 1990 u trasy Česká Banka – Husova Studánka, kdežto u trasy Orlí Karát – Bašty je významná část kabelového úseku z roku 1979. Z tohoto důvodu byl stanoven podíl na celkové hodnotě koeficientu na 10 procent. Jestliže byl kabel instalován před rokem 1980, část koeficientu je nulová. Pokud byl kabel instalován po roce 1980, koeficient je roven 0,1.

$$\begin{aligned} \text{stáří kabelu} < 1980 &\rightarrow \text{koeficient} = 0 \\ \text{stáří kabelu} > 1980 &\rightarrow \text{koeficient} = 0,1 \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.4 Parametr typ spojky

Typů spojek je velké množství (podrobněji 2.1.2), ale dělí se na dva nadřazené druhy, a tím je spojka plastová a smršťovací teplem. Proces výměny, respektive instalace spojky je časově náročný úkon, v němž lze velmi snadno udělat chybu. Jestliže se do izolace dostane vlhkost, velmi brzy začne kabel probíjet. Problém odhalí až napěťová zkouška. Porovnáním dvou měřených tras s ohledem na parametr typ spojky lze usuzovat, že vhodnější se jeví spojky plastové. Přestože jsou plastové spojky starší, komunikace skrze ně probíhá lépe.

Tabulka 11: Porovnání stáří spojek kabelových tras [12]

POROVNÁNÍ TYPU A STÁŘÍ SPOJEK							
Nejhorší (519 m)				Nejdelší (909 m)			
Pořadí	Typ	Materiál	Rok montáže	Pořadí	Typ	Materiál	Rok montáže
1	-	-	?	1	-	-	?
2	smršťovací teplem	93-AS-220-1	2011	2	smršťovací teplem	SXSU	1999
3	smršťovací teplem	POLJ	2008	3	plastová	SJVC	1996
4	-	-	?	4	plastová	SJVC	1996
5	smršťovací teplem	POLJ	2008	5	plastová	SJVC	1996
				6	plastová	SJVC	1990

Na základě výše uvedeného lze usuzovat, že typ spojky může mít vliv na životnost kabelu a komunikaci. Avšak dle podkladů z GIS systému je tento parametr velmi často nevyplněn a tím je tato informace nepříliš validní a nelze prokazatelně říct, že je problém právě v typu. Tabulka 11 obsahuje hodnoty právě ze zmíněného GIS systému a je vidět, že některé pozice nejsou vyplněné, protože se údaj nedochoval. Také v trase Orlí Karát – Bašty jsou celkem tři teplem smršťovací spojky a dva nedochované údaje, proto lze usuzovat, že právě onen typ smršťovací spojky je problematický. Z těchto důvodů je celkový podíl na koeficientu pouze 5 procent. Jestliže je spojka plastová nebo na trase není žádná, koeficient má hodnotu 0,05. Je-li spojka smršťovací, koeficient je roven 0.

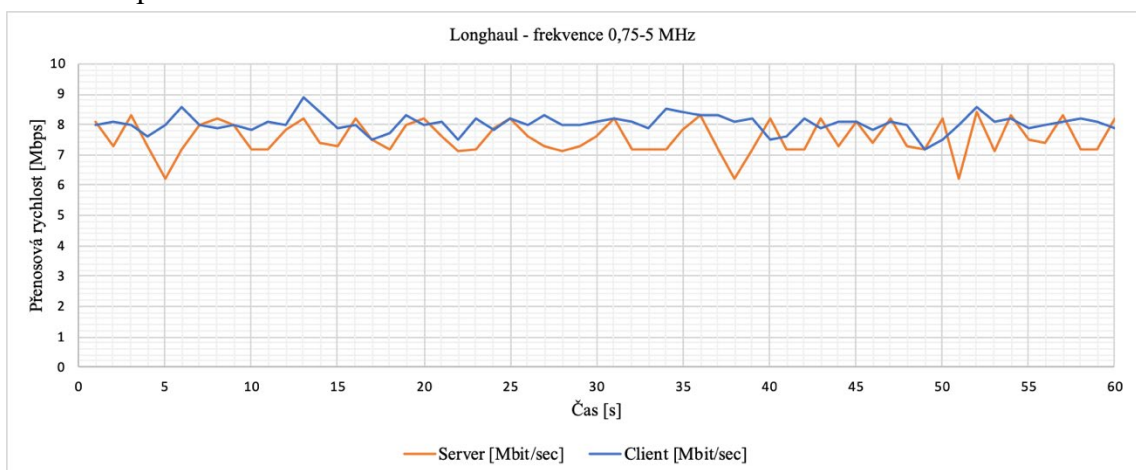
$$\begin{aligned} \text{typ spojky} = \text{"smršťovací teplem"} &\rightarrow \text{koeficient} = 0 \\ \text{typ spojky} = \text{"plastová"} &\rightarrow \text{koeficient} = 0,05 \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.5 Parametr stáří spojky

Stáří spojky velmi úzce souvisí s typem spojky. Jak již bylo zmíněno v předchozím parametru, vhodnější pro komunikaci jsou spojky plastové, přestože jsou starší. Avšak spojky vlivem stáří a vlhkosti korodují. Proto představují riziko pro distributory. Hodnocení stáří spojky na celkovém podílu je pouze z 5 procent.

$$\begin{aligned} \text{stáří spojky} < 2000 &\rightarrow \text{koeficient} = 0 \\ \text{stáří spojky} > 2000 &\rightarrow \text{koeficient} = 0,05 \end{aligned} \quad (4.5)$$

V průběhu měření BPL technologie v Brně – Středu byla díky nemožnosti komunikace BPL odhalena zvlhlá spojka, jenž fungovala jako vysokofrekvenční filtr a díky tomu byla znepřístupněna komunikace. Jak je vidět na obrázku 13, komunikace občasně probíhala, avšak v průběhu času klesla na úroveň blízkou 1 Mbit/s a spojení se začalo rozpadávat.



Obrázek 13: Komunikace před výměnou upravených modemů [15]

Standardní modem pracuje na rozsahu frekvence 2-30 MHz. Po výměně tohoto typu modemu bylo možné navázat komunikaci podstatně stabilněji. Využívá se upravených BPL modemů, které mají snížený frekvenční rozsah na 0,75-5 MHz. Následně komunikační rychlost začala oscilovat v rozmezí 7 až 8 Mbit/s po celou dobu měření [15]. Průběh komunikace po úpravě modemu je zobrazen na obrázku 14.



Obrázek 14: Komunikace po výměně modemu [15]

4.6 Parametr průměrná rychlost

Parametr je nutné změřit pomocí nástroje iPerf 3.0 nebo jiného softwaru. Dle zkušeností z předchozích měření je potřeba nechat test probíhat delší dobu, alespoň 24 hodin, aby se předešlo výkyvům zatížení sítě. Program iPerf umí měřit s TCP spojením a automaticky se výsledek zobrazuje jako průměrná rychlost.

Podíl na celkovém koeficientu byl vyhodnocen na 15 procent. Díky tomuto parametru lze online diagnostikovat kabelové spojení, a tak dispečer může v reálném čase přizpůsobit síť a předejít tak odstávce dodávky elektrické energie.

Z měření vyplývá, že rychlost se pohybuje v rozmezí kilobitů za sekundu až desítky megabitů za sekundu ve spojení point-to-point.

$$rychlost \in < 0; 50 > \rightarrow koeficient = \frac{0,15 \times rychlost}{50} \quad (4.6)$$

4.7 Parametr BLE – Bit Load Estimate

Posledním parametrem je hodnota BLE neboli Bit Load Estimate. Hodnota vyjadřuje aktuální stav dané komunikační linky ve směru od vysílače nebo k vysílači, proto označení Tx a Rx. Pro vyhodnocení poměrné části koeficientu je vhodnější počítat s horším případem. Proto se bere nižší hodnota z BLE Tx anebo Rx.

Zaznamenáváním hodnoty BLE nebo obdobného parametru, například SNR (Signal-to-Noise Ratio), lze zjistit aktuální stav komunikační linky, tedy stav fyzického silového kabelu. Z měřeného parametru lze provádět online diagnostiku kabelu.

Parametr BLE má podíl na celkové hodnotě koeficientu 5 procent, jelikož se jedná o dílčí měření, které může ovlivňovat i chybná konfigurace v komunikační infrastruktuře. V případě, kdy ještě zařízení alespoň komunikují, musí být hodnota vyšší než 5. Dle předchozích měření nebyla zjištěna vyšší hodnota než 103, proto je maximální hodnota 110 [13] a [14].

$$BLE \in \langle 5; 110 \rangle \rightarrow \textit{koeficient} = \frac{0,05 \times BLE}{110} \quad (4.7)$$

4.8 Koeficient technického stavu kabelu

Distribuční společnosti instalují nové, ale také obměňují starší kabelové trasy v pravidelných intervalech. Kabely se pravidelně mění v intervalu čtyřiceti let s průběžnými napět'ovými zkouškami. Jestliže se kabel v průběhu let testuje a nevykazuje problém s nadměrným počtem ČV (částečných výbojů), může se používat i déle než čtyřicet let. Využitím BPL technologie je k dispozici online metoda kontroly kabelů. Tím lze velmi dobře upřesnit onen koeficient technického stavu. Koeficient nabývá hodnot 0,200 až 1,000. Jestliže jej převedeme do časového hlediska zjistíme, že místo obnovy za 40 let se nám v případě koeficientu rovného 0,200 zkrátí na obnovu za 8 let. Jelikož se BPL technologie neinstaluje na nové kabelové trasy, ale na převážně starší kabely, lze odhalit problematické úseky dříve, než dojde k poruše.

Důvodem, proč koeficient nemůže klesnout pod hranici 0,200 je ten, že nelze všemi dostupnými metodami říci, že kabel je natolik špatný a výměna je nezbytně nutná. Pokud by se koeficient blížil k nulové hodnotě znamenalo by, že je kabel potřeba vyměnit ihned. Jenže kabel je primárně určen k dodávkám elektrické energie a dílčí komunikace není prioritní, takže jej distributor ihned měnit nebude.

4.8.1 Výpočet koeficientu

Výpočet koeficientu je prováděn na pozadí souboru vytvořeném v programu Excel, který slouží pro konfiguraci stanic. Koeficient je nejpřesnější v případě, jsou-li známy veškeré parametry o dané kabelové trase sloužící k výpočtu koeficientu. Pro jeho výpočet nemusí být známy, respektive zadány veškeré parametry a i přesto výsledný koeficient uživatel obdrží. S nižším počtem parametrů klesá přesnost, avšak lze vyvodit závěr s určitou tolerancí.

Nejnižší hodnota koeficientu je stanovena na 0,200, jež značí ochranný interval, do kterého nelze zasáhnout dílčím měřením. Postupným procházením jednotlivých parametrů, které byly stanoveny v tabulce 8, se koeficient může zvýšit.

4.8.1.1 Příklad výpočtu koeficientu

Konkrétní příklad výpočtu bude demonstrován na skutečné kabelové trase, která se nachází v Brně – Střed. Výpočet je uveden v rovnicích 4.8 až 4.15.

Popis komunikační trasy se všemi dostupnými parametry:

Trasa: Brno Rozvodna – TS 1941 Malinovské náměstí

Vzdálenost: 515,2 metrů

Počet spojek: 4 ks

Rok instalace kabelů: 1995, 1995, 1979, 1979, 1995

Typ spojky: plastová

Rok instalace spojek: nezadáno

Průměrná komunikační rychlost: 8,23 Mbit/s

BLE Tx: 55

BLE Rx: 60

Krok	Výpočet části koeficientu	
1.	$Koeficient_{počet\ spojek} = \frac{0,198 \times 1}{4} = 0,0495$	(4.8)
2.	$Koeficient_{vzdálenost} = \frac{0,2 \times 50}{515,2} = 0,0194$	(4.9)
3.	$Koeficient_{rok\ kabelu} = (\text{jsou starší než 1980}) = 0$	(4.10)
4.	$Koeficient_{typ\ spojky} = (\text{plastová}) = 0,05$	(4.11)
5.	$Koeficient_{rok\ spojky} = (\text{nezadáno}) = 0,05$	(4.12)
6.	$Koeficient_{rychlost} = \frac{8,23 \times 0,15}{50} = 0,0247$	(4.13)
7.	$Koeficient_{BLE} = \frac{MIN(BLE\ Tx; BLE\ Rx) \times 0,05}{110} = 0,025$	(4.14)
8.	$Koeficient_{celkový} = 0,419$	(4.15)

Výsledný koeficient lze interpretovat tak, že jeho životnost se, dle měření, sníží o 0,419 násobek dané doby obnovy. Distributor by si během 5 let měl vyčlenit potřebné finance na obnovu kabelové trasy a předběžně vyslat kabelový měřicí vůz, který stanoví míru nutnosti výměny.

4.9 Predikce průměrné komunikační rychlosti

Mezi dva hlavní parametry, které je třeba vždy znát pro budování nové BPL topologie, je zařazen parametr vzdálenosti a počet spojek. Z těchto dvou parametrů lze predikovat přibližnou průměrnou komunikační vzdálenost na základě předchozích měření.

Z poskytnutých dat byly sestaveny grafy, kde je znázorněna závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi (viz obrázek 9) a závislost přenosové rychlosti na počtu spojek (viz obrázek 10). Naměřené hodnoty byly proloženy spojnicí trendu, které určují exponenciální rovnice.

Obrázek 12, v němž je vizualizována závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi DTS stanicemi, vyšla rovnice $y = 58,015e^{-0,003x}$ a v obrázku 9, v němž je uvedena závislost přenosové rychlosti na počtu spojek vyšla rovnice $y = 34,269e^{-0,221x}$. Vložení hodnoty vzdálenosti do příslušné rovnice dostaneme předpokládanou průměrnou rychlost. Obdobný princip je použit u hodnoty počtu spojek.

Algoritmus pracuje vždy s horší variantou těchto dvou výsledných hodnot. Bude-li například stanice vzdálena 219,7 metrů a počet spojek bude roven 4, tak dosazením do příslušné rovnice dostáváme hodnotu 30,01 Mbit/s a 14,16 Mbit/s. Z těchto dvou je relevantnější hodnota ta nižší a je tedy predikováno, že průměrná komunikační rychlost bude 14,16 Mbit/s.

5. VIZUALIZACE POMOCÍ GOOGLE MAPS API V3

Vizualizace byla vytvořena za pomoci nástroje Google Maps API v3 pro JavaScript, jenž se vyznačuje nekomerčním využitím zdarma s limitem 25 000 načtením mapy za den. Pro rozsah diplomové práce byla ověřena funkčnost a následná realizace v tomto prostředí. V případě komerčního využití stačí použít vlastní placený API klíč, který provozovatel webové stránky vloží do kódu, a tím zajistí funkčnost i při nadměrném využití mapového podkladu.

Vývojové prostředí umožňuje vytvářet na mapě prakticky cokoliv. Mezi základní funkce patří umístění středu mapy pomocí geografických souřadnic a zoom na danou lokalitu. Lze také přidávat jednotlivé markery do mapy, vykreslovat spoje a nastavit vlastní vykreslování mapového podkladu od terénu až k satelitním snímkům. To vše je možné uživatelsky ovlivnit. Kompletní popis jednotlivých funkcí je možné nalézt zde [10].

5.1 Vizualizování projektu BPL Brno – střed

Vstupní data pro vizualizaci byla poskytnuta společností E.ON Distribuce a.s., jež provozuje BPL komunikační síť na VN vedení ve staré zástavbě Brno – Střed. Základními vstupními parametry jsou ty, které lze dohledat v GIS systému distribučních provozovatelů. Mezi tyto parametry patří název DTS stanice a lokace stanice, dále jsou to parametry, které souvisí se spojením k následující stanici. Mezi ně patří počet spojek, vzdálenost, stáří kabelové trasy, typ spojek a stáří spojky. Z těchto parametrů lze predikovat pravděpodobnou komunikační rychlost mezi stanicemi (viz kapitola 4).

Doplňkové parametry, které byly zjištěny měřením mezi jednotlivými stanicemi jsou průměrná přenosová rychlost a Bit Load Estimate. Tyto hodnoty svým chováním poukazují na fyzický stav kabelové trasy.

5.1.1 Konfigurační část

Jednotlivé parametry byly vloženy do programu Microsoft Excel, v němž probíhá hlavní rozřazení do jednotlivých sloupců. Taktéž slouží tento soubor pro vkládání nových stanic a dílčích měření pro potřeby vizualizace.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Název DTS	Popis DTS	Latt	Lang	Vzdálenost	Počet spojek	Typ kabelu
2	Brno Rozvodna		49,1992114	16,6139044	515,2	4	AXEKCEY AXEKCEY AXEKCEY AXEKCEY AXEKCEY
3	TS 1941 - Malinovské náměstí		49,1962958	16,6151692	533,6	3	AXEKCY AXEKCEY AXEKCEY AXEKCEY
4	TS 1912 - Mahenovo divadlo		49,1960894	16,6132561	698,6	4	AXEKCY NA2XS(F)2Y AXEKCY AXEKVCEY AXEKCY
5	TS 1949 - Františkánská		49,1928914	16,6118417	427,4	4	AXEKCY AXEKVCEY AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY
6	TS 1963 - Zelný trh		49,1926808	16,6080317	321,7	2	AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY
7	TS 1950 - Jánská Spořitelna		49,1939839	16,6098711	313,9	1	AXEKVCEY AXEKVCEY
8	TS 1951 - Rašínova FÚ		49,1957964	16,6078211	308,3	1	AXEKCY AXEKVCEY
9	TS 1952 Beethovenova 2 JAMU		49,1961314	16,6103500	507,0	4	AXEKCY AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY AXEKCY
10	TS 1953 - Solniční Pojišťovna		49,1971153	16,6068906	118,8	0	AXEKCY
11	TS 1927 - OD Vágnér		49,1966172	16,6062642	415,7	0	AXEKCY
12	TS 1935 - Besední dům		49,1957347	16,6041372	185,6	1	AXEKCY AXEKVCEY
13	TS 1983 - Husova Galerie		49,1941936	16,6049189	194,2	2	AXEKVCEY AXEKCY AXEKCY
14	TS 1986 - Husova CO kryt		49,1932656	16,6045997	156,9	2	AXEKCY AXEKCY AXEKVCEY
15	TS 703634 - Pekařská 2 BUST		49,1924408	16,6049364	219,7	4	AXEKVCEY AXEKCY AXEKCY AXEKCY AXEKVCEY
16	TS 1962 - Husova 5 Studánka		49,1918469	16,6046386	879,8	5	AXEKVCEY AXEKCY AXEKCY AXEKCY AXEKCY AXEKCY
17	TS 1939 - Česká 28 BANKA		49,1973586	16,6057303	208,8	2	AXEKCY AXEKCY NA2XS(F)2Y
18	TS 1907 - Česká 6 Brychta		49,1959483	16,6066289	54,4	2	NA2XS(F)2Y AXEKCY AXEKVCEY
19	TS 1979 - Jakubská 3 Magnum		49,1962986	16,6069967	126,4	1	AXEKVCEY AXEKCY
20	TS 1916 - kino Scala		49,1967989	16,6083469	430,8	4	AXEKCY AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY AXEKVCEY
21	TS 1914 - Amadeus		49,1948181	16,6089128	99,2	0	AXEKVCEY
22	TS 1924 - Rozkvět		49,1937975	16,6083456	139,5	1	AXEKVCEY AXEKVCEY
23	TS 1919 - Radnická PKO		49,1933497	16,6084633	441,0	2	AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY
24	TS 1908 - Bašty 2		49,1910603	16,6106758	519,0	4	AXEKVCEY AXEKCY AXEKVCEY AXEKVCEY AXEKCY
25	TS 1905 - Orlí Karát		49,1945264	16,6129697	165,1	1	AXEKCY AXEKVCEY
26	TS 1911 - Sukova Spořitelna		49,1956228	16,6125008	133,2	0	AXEKVCEY
27	TS 1985 - Sukova ČNB		49,1959225	16,6126217	592,0	4	AXEKCY

Obrázek 15: Základní rozřizení parametrů část 1.

Jak lze spatřit na obrázku 15, je vytvořen sloupec s názvem „Popis DTS“. Tento sloupec slouží pro poznámky, které jsou poté vizualizovány v případě rozkliknutí stanice v mapě. Jako oddělovač ve sloupci typ kabelu a rok instalace je využit znak svislé čáry „|“ pro přehlednější hledání, respektive čtení. Pokračování dalších parametrů je níže na obrázku 16.

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Rok instalace	Typ spojky	Rok instalace	Rychlost Down	Rychlost Up	BLE Tx	BLE Rx	Koeficient			
1995 1995 1979 1979 1995	plastová	nezadáno	8,23	10,90	55	60	0,219			
1995 1979 1979 1979	plastová	nezadáno	34,80	37,70	55	56	0,314			Vložte novou stanici
1982 2007 1979 2006 1979	smršťovací	2006 2006 2007 2007	6,83		7	9	0,137			
1982 1998 2015 1979 2006	smršťovací	2006 1997 2017 2017 2015 2015	22,40	24,60	29	20	0,149			
1998 1979 2006	smršťovací	2006 1997	28,80	46,30	103	87	0,256			Generuj data pro mapu
1998 2006	smršťovací	2006	35,50	40,20	93	83	0,524			
1983 2006	smršťovací	2006	19,30	15,60	69	61	0,366			
1990 2003 1990 2006 1983	smršťovací	2006 2006 2004 2004	13,00	14,60	24	26	0,169			Rychlost rozhraní
1990	beze spojky	beze spojky	36,70	19,50	71	81	0,627			200 Mbit/s
1989	beze spojky	beze spojky	36,10	37,50	73	63	0,461			
1989 2000	smršťovací	2000	31,40	28,30	49	57	0,418			
2000 1989 1996	smršťovací	2018 2018 1996 2000	18,72		56	59	0,232			
1996 1989 2009	smršťovací	2009 1996	20,30	19,90	38	45	0,241			
1999 1996 1996 1989 2009	smršťovací	2009 1996	14,38				0,138			
1999 1996 1996 1996 1989 1990	smršťovací	1996 2018 2018 2018 2018 1996 1999	35,00	32,60	53	67	0,180			
1990 1990 2014	smršťovací	2008 1996	39,80	38,80	81	83	0,403			
2014 1990 2006	smršťovací	2005 2005 2006 2014	34,40	33,50	56	57	0,561			
2006 1990	nezadáno	2006	34,40	34,70	83	81	0,617			
1990 2003 1990 2006 2006	smršťovací	2006 2004 2004	33,50	30,60	60	67	0,350			
2006	beze spojky	beze spojky	15,80	15,30	81	75	0,582			
1998 2006	smršťovací	2006	31,90	32,50	67	65	0,545			
2011 1979 1998	smršťovací	2011	23,30	24,70	73	50	0,264			
2011 1979 1998 2008 1979	smršťovací	2008 2008 2011	8,49	7,00	42	37	0,161			
1979 2006	smršťovací	2006	38,50	40,30	75	79	0,458			
2006	beze spojky	beze spojky	23,90	32,90	62	71	0,575			
1979	smršťovací	2017 2017 2018 2006	8,45		41	49	0,160			

Obrázek 16: Základní rozřizení parametrů část 2.

Po vložení hlavních parametrů, které představují novou stanici, ve které není měření, se do sloupce K automaticky odhadne předpokládaná rychlost. Jestliže se přidá nová stanice, v níž proběhlo měření a lze parametry doplnit, je dopočten koeficient technického stavu kabelu.

Uživatel vkládá novou stanici za pomoci stisku tlačítka s názvem „Vložit novou stanicí“. Po stisku tlačítka vyskočí okno, kde je uživatel vyzván pro doplnění korektních údajů. Na následujícím snímku (obrázek 17) lze vidět příklad vložení nové stanice.

The screenshot shows a web form titled "Vložení nové DTS stanice" with a close button (X) in the top right corner. The form contains several input fields for data entry:

- Název DTS: TS -1985
- Popis DTS: osobní vlastnictví
- Zeměpisná šířka: 49.1966172
- Zeměpisná délka: 16.6815741
- Vzdálenost k další stanici: 305
- Počet spojek na trase: 2
- Typ kabelu: AXEKCEY| AXEKCEY| AXEKCY
- Rok instalace kabelu: 1975| 1999|1998
- Typ spojky: plastová
- Rok instalace spojky: 2006| 2002
- Komunikační rychlost k následující stanici: 14.5
- Komunikační rychlost od následující stanice: 13.7
- BLE Tx: 31
- BLE Rx: 28

At the bottom of the form, there are two buttons: "Zrušit" (Cancel) and "Vložit" (Save), with the "Vložit" button highlighted in green.

Obrázek 17: Vložení nové stanice

Jakmile jsou přidány veškeré stanice, stiskem tlačítka „Generuj data pro mapu“ se vykoná skript, jež vygeneruje csv soubor. Vytvořený soubor je umístěn do kořenové složky, odkud se načítá vizualizační mapa. Ve vygenerovaném souboru jsou jednotlivé parametry vloženy za sebe a jako oddělovač je využit znak čárky „ , , “. Obrázek 18 je uveden jako příklad dat, která jsou generována.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Title	Content	Lat	Long	Coef	Down	Up	Tx	Rx	Vzdaleno: Spojky	typK	instalacek typS	instalaceS		
2	Brno Rozvodna,,49.1992114,16.6139044,0.219,8.23,10.9,55,60,515.2,4,AXEKCEY							AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCEY,1995	1995	1979	1979
3	TS 1941 - Malinovské náměstí,,49.1962958,16.6151692,0.314,34.8,37.7,55,56,533.6,3,AXEKCY							AXEKCY	AXEKCY	AXEKCY	AXEKCY	AXEKCY,1995	1979	1979	1979,plastová,nez
4	TS 1912 - Mahenovo divadlo,,49.1960894,16.6132561,0.137,6.83,0,7,9,698.6,4,AXEKCY							NA2XS(F)	2Y	AXEKCY	AXEKVCEY	AXEKCY,1982	2007	1979	2006
5	TS 1949 - Františkánská,,49.1928914,16.6118417,0.149,22.4,24.6,29,20,427.4,4,AXEKCY							AXEKVCEY	AXEKVCEY	AXEKCY	AXEKVCEY,1982	1998	2015	1979	200
6	TS 1963 - Zelný trh,,49.1926808,16.6080317,0.256,28.8,46.3,103,87,321.7,2,AXEKVCEY							AXEKCY	AXEKVCEY,1998	1979	2006,smrštovaci,2006	1997			
7	TS 1950 - Jánská Spořitelna,,49.1939839,16.6098711,0.524,35.5,40.2,93,83,313.9,1,AXEKVCEY							AXEKVCEY,1998	2006,smrštovaci,2006						
8	TS 1951 - Rašínova FÚ,,49.1957964,16.6078211,0.366,19.3,15.6,69,61,308.3,1,AXEKCY							AXEKVCEY,1983	2006,smrštovaci,2006						
9	TS 1952 Beethovenova 2 JAMU,,49.1961314,16.61035,0.169,13,14.6,24,26,507,4,AXEKCY							AXEKVCEY	AXEKCY	AXEKVCEY	AXEKCY,1990	2003	1990	2006	1983,s
10	TS 1953 - Solniční Pojišťovna,,49.1971153,16.6068906,0.627,36.7,19.5,71,81,118.8,0,AXEKCY,1990,beze spojky,beze spojky														
11	TS 1927 - OD Vágnr,,49.1966172,16.6062642,0.461,36.1,37.5,73,63,415.7,0,AXEKCY,1989,beze spojky,beze spojky														
12	TS 1935 - Besední dům,,49.1957347,16.6041372,0.418,31.4,28.3,49,57,185.6,1,AXEKCY							AXEKVCEY,1989	2000,smrštovaci,2000						
13	TS 1983 - Husova Galerie,,49.1941936,16.6049189,0.232,18.72,0,56,59,194.2,2,AXEKVCEY							AXEKCY	AXEKCY,2000	1989	1996,smrštovaci,2018	2018	1996	2000	
14	TS 1986 - Husova CO kryt,,49.1932656,16.6045997,0.241,20.3,19.9,38,45,156.9,2,AXEKCY							AXEKCY	AXEKVCEY,1996	1989	2009,smrštovaci,2009	1996			
15	TS 703634 - Pekařská 2 BUST,,49.1924408,16.6049364,0.138,14.38,0,,219.7,4,AXEKVCEY							AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCY	AXEKVCEY,1999	1996	1996	1989	2009,
16	TS 1962 - Husova 5 Studánka,,49.1918469,16.6046386,0.18,35,32.6,53,67,879.8,5,AXEKVCEY							AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCEY	AXEKCY	AXEKCY,1999	1996	1996	
17	TS 1939 - Česká 28 BANKA,,49.1973586,16.6057303,0.403,39.8,38.8,81,83,208.8,2,AXEKCY							AXEKCY	NA2XS(F)	2Y,1990	1990	2014,smrštovaci,2008	1996		
18	TS 1907 - Česká 6 Brychta,,49.1959483,16.6066289,0.561,34.4,33.5,56,57,54.4,2,NA2XS(F)							2Y	AXEKCY	AXEKVCEY,2014	1990	2006,smrštovaci,2005	2005	2006	
19	TS 1979 - Jakubská 3 Magnum,,49.1962986,16.6069967,0.617,34.4,34.7,83,81,126.4,1,AXEKVCEY							AXEKCY,2006	1990,nezadáno,2006						
20	TS 1916 - kino Scala,,49.1967989,16.6083469,0.35,33.5,30.6,60,67,430.8,4,AXEKCY							AXEKVCEY	AXEKCY	AXEKVCEY	AXEKCY,1990	2003	1990	2006	2006,sm
21	TS 1914 - Amadeus,,49.1948181,16.6089128,0.582,15.8,15.3,81,75,99.2,0,AXEKVCEY,2006,beze spojky,beze spojky														
22	TS 1924 - Rozkvět,,49.1937975,16.6083456,0.545,31.9,32.5,67,65,139.5,1,AXEKVCEY							AXEKVCEY,1998	2006,smrštovaci,2006						
23	TS 1919 - Radnická PKO,,49.1933497,16.6084633,0.264,23.3,24.7,73,50,441,2,AXEKVCEY							AXEKCY	AXEKVCEY,2011	1979	1998,smrštovaci,2011				
24	TS 1908 - Bašty 2,,49.1910603,16.6106758,0.161,8.49,7,42,37,519,4,AXEKVCEY							AXEKCY	AXEKVCEY	AXEKCY,2011	1979	1998	2008	1979,smrštovaci	
25	TS 1905 - Orlí Karát,,49.1945264,16.6129697,0.458,38.5,40.3,75,79,165.1,1,AXEKCY							AXEKVCEY,1979	2006,smrštovaci,2006						
26	TS 1911 - Sukova Spořitelna,,49.1956228,16.6125008,0.575,23.9,32.9,62,71,133.2,0,AXEKVCEY,2006,beze spojky,beze spojky														
27	TS 1985 - Sukova ČNB,,49.1959225,16.6126217,0.16,8.45,0,41,49,592,4,AXEKCY,1979,smrštovaci,2017							2017	2018	2006					
28	TS -1985,osobní vlastnictví,49.1966172,16.6815741,0.288,14.5,13.7,31,28,305,2,AXEKCEY							AXEKCEY	AXEKCY,1975	1999	1998,plastová,2006	2002			

Obrázek 18: Vygenerovaná data pro mapový podklad

5.1.2 Vizualizační část

Data importovaná z konfiguračního souboru jsou načtena pomocí webového rozhraní, kde se podle kartografických souřadnic vykreslí. Vložením více informací v konfiguračním souboru lze získat přehledný seznam veškerých měřených parametrů včetně všech dat z GISu. Tím uživatel získá veškeré informace na jednom přehledném místě, s nimiž lze následně dále pracovat či prezentovat.

Data jsou rozdělena podle oddělovacího znaku a pomocí for cyklu se postupně načtou do mapového podkladu. Defaultní podkladová mapa je tvořena názvy ulic a jsou k dispozici veškeré POI (Points of Interests), které nejsou potřebné pro vizualizaci. Dále je k dispozici satelitní mapa, v níž lze zapnout či vypnout mapové štítky. Jestliže jsou štítky vypnuty, na mapě není zobrazen žádný text (názvy ulic, označení památek, firem, restaurací apod.). Vhodnější bylo vytvořit vlastní zobrazení mapového podkladu, aby vynikly jednotlivé stanice a jejich propojení.

☰ Menu

BPL - Brno střed

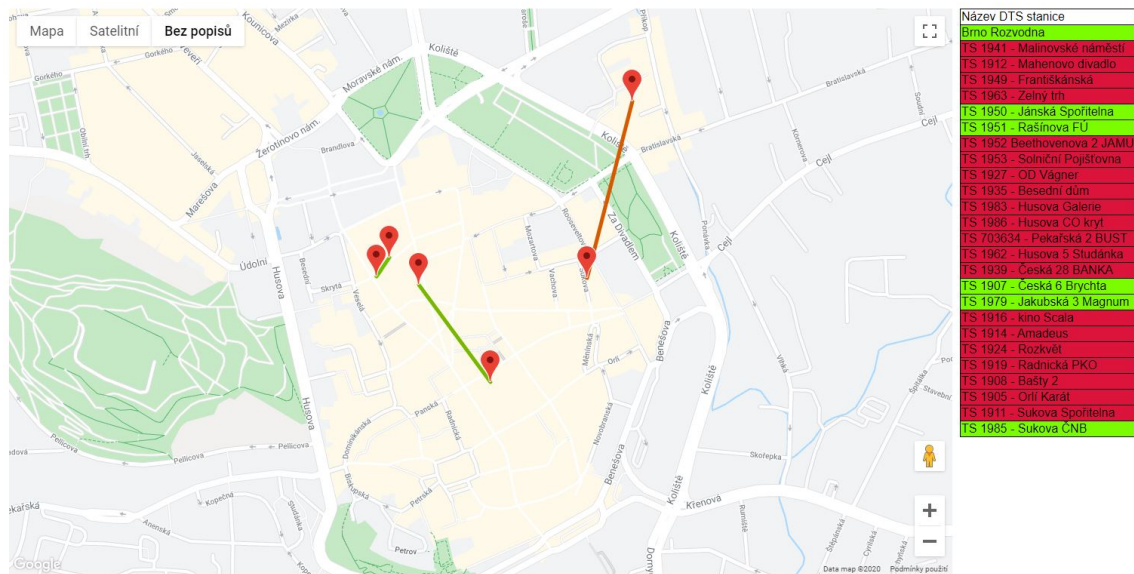


Obrázek 19: Inicializace mapového podkladu

Na obrázku 19 vidíme lokace všech DTS stanic, které jsou označeny pomocí markerů. Tyto markery jsou následně propojeny. Po pravé straně je tabulka všech stanic. Pokud si uživatel nepřeje zobrazit celou topologii, je možné kliknutím na příslušný řádek stanici skrýt. Tím dojde i k zakrytí náležité trasy. Viz obrázek 20, v němž je deaktivace trasy zobrazena červenou barvou v tabulce.

☰ Menu

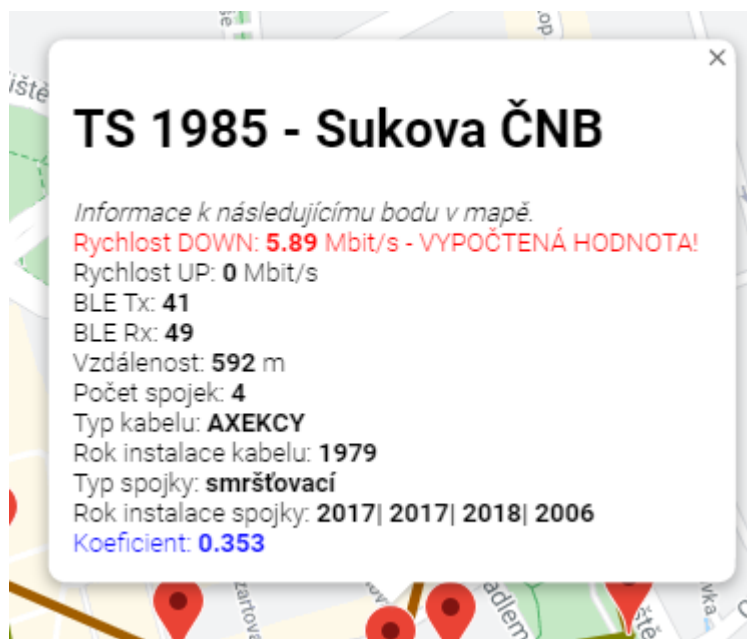
BPL - Brno střed



Obrázek 20: Zúžený výběr stanic

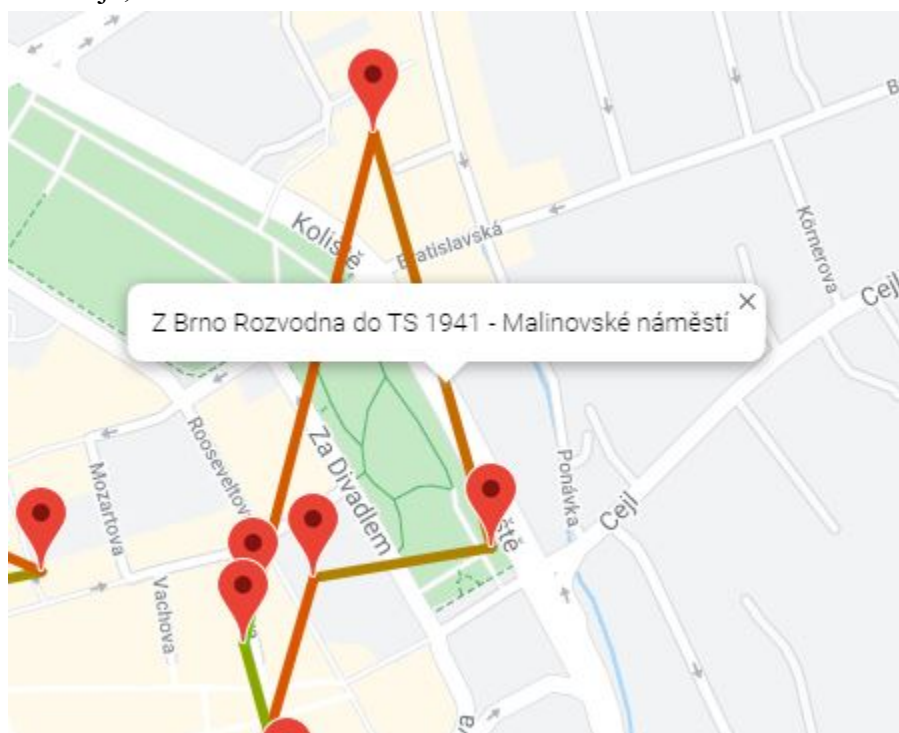
Jednotlivé markery v mapě skrývají informace o dané komunikační trase. Kliknutím na stanici se vyvolá informační cedule, tak jak je ukázáno v obrázku 21. V ceduli jsou

uvedeny veškeré informace, které uživatel zadal v konfiguračním souboru (viz obrázek 15 a obrázek 16).



Obrázek 21: Zobrazení informativního okna markeru

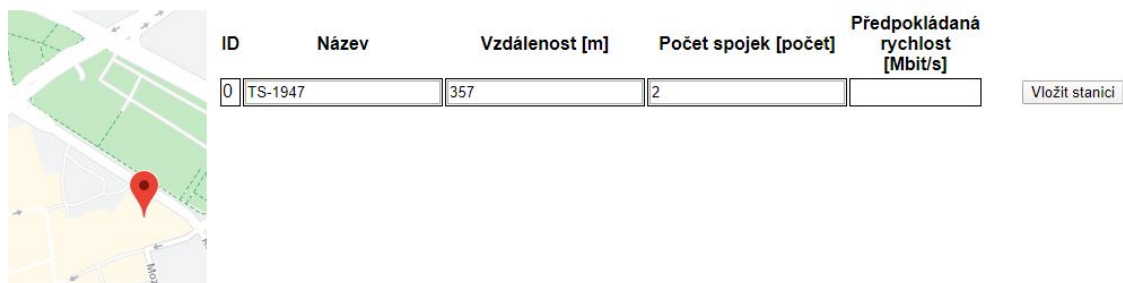
U všech markerů je možné takto vyvolat informační cedule. Otevřít lze vždy pouze jednu. Umístěním kurzoru myši na vybraný marker se zobrazí název stanice, v případě hledání není nutné klikat a uzavírat informační ceduli. Spoj mezi markery je označován jako „polyline“ a taktéž je na něj možné kliknout. Vyvolá se informační cedule odkud kam trasa směřuje, viz obrázek 22.



Obrázek 22: Informační cedule trasy

5.1.3 Konfigurátor tras

Navržená vizualizace počítá s obměnou či novými instalacemi, a tak je vše vytvořeno dynamicky. Bude-li se vytvářet další topologie, je možné ji vizualizovat obdobně. K tomu také slouží jednoduchý konfigurátor, díky čemuž lze před samotnou realizací ověřit funkčnost topologie.



Obrázek 23: Konfigurátor topologie

V úvodním kroku si uživatel může zadat název první stanice, vložit vzdálenost a počet spojek k následující stanici, jak je uvedeno v obrázku 23. Tyto informace uživatel zná z GIS systému. Poté lze kliknutím do mapy umístit marker imitující stanici. Následně je nutné uložit stanici stiskem tlačítka „Vložit stanici“. Stiskem tlačítka se celý řádek uloží o pozici níže a vytváří se tak dynamická tabulka v níž se vždy predikuje předpokládaná rychlost.



Obrázek 24: Konfigurátor topologie – vkládání a odebrání stanic

Jestliže uživatel vytvoří stanici na místě, které si nepřeje nebo zadal špatné informace, lze stanici odebrat kliknutím na znak „-“ v příslušném řádku. Odebere se vždy celý řetězec stanic, tzn. jestliže uživatel vytvořil dvacet stanic a potřebuje odstranit pořadovou stanici sedmnáct, odstraní se všechny stanice až k číslu sedmnáct. Ukázka je zobrazena na obrázku 24.

6. ZÁVĚR

BPL komunikace se stala nedílnou součástí energetických společností, které ji ve značné míře využívají. Plnohodnotné využití potenciálu technologie mají distributoři na dosah. Vhodným upravením stávající BPL infrastruktury mohou odhalit problematické úseky a využít technologii k on-line metodě diagnostiky stavu kabelů.

V práci byly definovány parametry, které jsou významné pro komunikaci, a které ve značné míře ovlivňují přenosovou rychlost. Tyto parametry byly dále využity pro ohodnocení stavu vedení pomocí koeficientu technického stavu kabelu. Koeficient technického stavu kabelu byl vytvořen tak, aby byl jednoduše upravitelný a v případě rozšiřujícího se počtu vzorků se všechny koeficienty přepočítaly a zpřesnily.

Vizualizace ukázkové topologie byla vytvořena za pomoci Google Maps API, která umožňuje vkládat data do mapového podkladu Google map. Topologie načítá data ze souboru dynamicky a to je velkou výhodou v případě jakékoliv změny. Vložení dalších měření do grafu (obrázek 9 a obrázek 10) se upraví rovnice spojnice trendu, u výsledných koeficientů dojde k přepočítání a tím se data zpřesní.

V práci byl vytvořen predikční algoritmus pro odhadnutí možné komunikační rychlosti pro nové instalace či topologie. I tato část je vypracovaná variabilně a v případě rozšíření počtu vzorků začne algoritmus zpřesňovat odhad rychlosti. Více podrobností lze nalézt v kapitole 4.9.

Potenciál využití je zřejmý, tedy pro diagnostiku kabelové trasy. Vytvoření měřicí soupravy by mohlo být, z hlediska času a následné doby testování, vhodnějším řešením nežli kabelové měřicí vozy. Instalace BPL zařízení s induktivním vazebním členem zabere v jedné DTS stanici cca 30 minut. Následné testování lze provádět on-line, tedy za plného provozu kabelové trasy. Proto lze získat i jiné výsledky než při napěťových zkouškách.

Možné rozšíření diplomové práce je další pokračování analýzy fyzických parametrů, které ovlivňují BPL komunikaci a pokračování spolupráce s distributory využívající tuto technologii pro rozšíření počtu vzorků. Analyzováním vzorků se nadále budou učící se algoritmy zpřesňovat a budou dokonce predikovat vývoj. Další možnost rozšíření je vytvoření vlastního PLC komunikačního systému, kde by na pozadí mohl být spuštěn analyzující software, jenž bude poskytovat další měřená data pro analýzu.

Poskytnutá data distributorů mi byla nápomocná k vytvoření článku s názvem „Influence of physical parameters and age of power lines on PLC/BPL performance and reliability“, jenž byl přijat do studentské konference EEICT 2020. Také jsem se podílel na spolupráci VUT a E.ON Distribuce při měření topologie v Brně – Střed.

Literatura

- [1] ŠEBESTOVÁ, K. Kabelové měřicí vozy. E.ON Czech [online]. 2013, číslo 10 [cit. 2019-12-10], p. 10–11. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a7573---s5nVLDx-/rijen-pdf>.
- [2] HEJHAL M., BRERRSCHNEIDER Z., HANUŠ R. Prioritizace obnovy distribuční sítě s využitím SW PRIOTOOL: ČK CIRED 2019.
- [3] ŠTASTNÝ L., BENEŠ B., ZAORÁLEK J., LOJEK D. Rozdíly a přínosy online diagnostiky ve srovnání s offline metodami: ČK CIRED 2019.
- [4] Datasheet PHG 70 TD. Bauer.eu.
https://www.baur.eu/XooWebKit/bin/download.php/11fa63_fd61d442f2/DS_VLF%20test%20and%20diagnostics%20system_PHG%2070_PHG%2080_TD-PD_BAUR_cs-cz.pdf [cit. Prosinec 12, 2019].
- [5] ČEZ Distribuce a.s., Trasy_Strekov_spojky_delky.xlsx, Interní dokument společnosti ČEZ Distribuce a.s., [cit. Prosinec 12, 2019].
- [6] LEDNICKÁ, M. Projekt BPL. E.ON Czech [online]. 2013, číslo 9 [cit. Prosinec 15, 2019], p. 16–1. Dostupné z: <https://www.eon.cz/-a7571---zTVM38gG/zari-pdf>.
- [7] Link Capacity – an overview | ScienceDirect Topics. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [online]. Copyright © 2019 Elsevier B.V. or its licensors or contributors. [cit. Prosinec 16, 2019]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/link-capacity>.
- [8] Broadband Powerline products – Power Plus Communications AG. Home – Power Plus Communications AG [online]. Copyright © PPC 2019 [cit. Prosinec 16, 2019]. Dostupné z: <https://www.ppc-ag.com/products-and-services/bpl-products/>.
- [9] Cable Diagnostics with Power Line Modems for Smart Grid Monitoring. GroundAI – Every ArXiv paper needs to be discussed [online]. Dostupné z: <https://www.groundai.com/project/cable-diagnostics-with-power-line-modems-for-smart-grid-monitoring/1>
- [10] Overview | Maps JavaScript API | Google Developers. Google Developers [online]. Dostupné z: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/tutorial>

- [11] MLÝNEK P., FUJDIÁK R., ŠILHAVÝ P., BLAŽEK P., SLÁČIK J., Vysoké učení technické. HLAVNIČKA J., E.ON Distribuce, a.s. Monitoring trafostanic pomocí BPL komunikace po VN vedení In 22. Konference ČK CIRED. České Budějovice: EGC České Budějovice, 2018. s. 1-18. ISBN: 978-80-905014-7-8.
- [12] E.ON Distribuce a.s. Měření BPL v lokalitě Brno – Střed. 6.11.2011, 67 stran. Interní dokument společnosti E.ON Distribuce a.s.
- [13] E.ON Distribuce a.s. Zátěžová matice. 9.7.2019, 93 stran. Interní dokument společnosti E.ON Distribuce a.s.
- [14] E.ON Distribuce a.s. Zátěžová matice 2. 25.10.2019, 122 stran. Interní dokument společnosti E.ON Distribuce a.s.
- [15] BENEŠL, L. Influence of physical parameters and age of power lines on PLC/BPL performance and reliability. In Proceedings of the 26 th Conference STUDENT EEICT 2020. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2020 (PŘIJATO, ČEKÁ NA VYDÁNÍ)
- [16] HRASNICA H., HAIDINE A., LEHNERT R. Broadband Powerline Communications: Network Design – Knihy Google. Knihy Google [online]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=d270N6yvWCoC&pg=PA7&lpg=PA7&dq=0-470-85741-2&source=bl&ots=SNedXCLmBJ&sig=ACfU3U0v1596lll_I-NDB6KD5aHRkTkb6w&hl=cs&sa=X&ved=2ahUKEwiztenY2rfpAhVBQhUIH YKXDdEQ6AEwAXoECAoQAQ#v=onepage&q=0-470-85741-2&f=false
- [17] GREGOR, Filip. Inteligentní systém pro dálkový sběr dat [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=194087. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.
- [18] P. Mlýnek, R. Fujdiak and J. Mišurec, "Power line topology prediction using time domain reflectometry," 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Vienna, 2016, pp. 199-202, doi: 10.1109/TSP.2016.7760859.
- [19] Ndjiongue, Alain Richard & Ferreira, Hendrik. (2019). Power Line Communications (PLC) Technology: More Than 20 Years of Intense Research. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 1-20. 10.1002/ett.3575.

Seznam symbolů a zkratk

Zkratky:

3G	...	třetí generace mobilních telekomunikačních technologií
4G	...	čtvrtá generace mobilních telekomunikačních technologií
API	...	Application Programming Interface
BLE	...	Bit Load Estimate
BPL	...	Broadband over Powerline
Csv	...	Comma-separated values
ČEZ	...	České energetické závody
ČV	...	částečné výboje
DS2	...	standard PLC
DTS	...	distribuční trafostanice
E.ON	...	Enhanced other network
FDR	...	Frequency Domain Reflectometry
GIS	...	Geografický informační systém
GPRS	...	General packet radio system
IEEE1901	...	standard PLC
JTFDR	...	Joint Time-Frequency Domain Reflectometry
KMV	...	kabelové měřicí vozy
LTE	...	Long Term Evolution
NN	...	nízké napětí
P2P	...	point-to-point
PLC	...	Powerline Communication
POI	...	Points of Interests
POLJ	...	spojka se šroubovacími spojovači
PPC	...	německá firma zabývající se BPL komunikací
PRE	...	Pražská energetika
RIS	...	Rozpojovací jistící skříň
Rx	...	Received (Přijaté)
SAP	...	Systeme Anwendungen Produkte
SCADA	...	Supervisory Control And Data Acquisition
SIM/MIM	...	sekundární impulsní metoda / několikanásobná impulsní metoda
SNR	...	Signal-to-Noise Ratio
TCP	...	Transmission Control Protocol
TD	...	tangens delta
TDR	...	Time Domain Reflectometry
Tx	...	Transmitted (Odeslané)
VN	...	vysoké napětí

Symboly:

Hz	...	Hertz – Jednotka frekvence
kV	...	kiloVolt – Jednotka elektrického napětí
Mbit/s	...	Megabit za sekundu – Jednotka přenosové rychlosti
MHz	...	MegaHertz – Jednotka frekvence
ms	...	milisekunda – Jednotka času