

Fakulta elektrotechnická Regionální inovační centrum elektrotechniky

Výzkumná zpráva o bezdrátové komunikaci s robotem v okolí přenosových sítí pod napětím

Pracoviště: Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Číslo dokumentu: 22190-056-2018

Typ zprávy: Výzkumná zpráva

Řešitelé: Jindřich Křivka, Jiří Žahour, Kamil Kosturik, Pavel Valenta, Jiří Skála, Vjačeslav Georgiev, Jiří Hammerbauer, Zdeněk Kubík

Vedoucí projektu: Karel Noháč

Počet stran: 12

Datum vydání: 31. 12. 2018

Oborové zařazení: JE – Nejaderná energetika, spotřeba a užití energie

JA – Elektronika a optoelektronika,
elektrotechnika

Zpracovatel:

Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
tel. 377634343
nohac@kee.zcu.cz

Anotace

Výzkumná zpráva předkládá zejména praktické poznatky s datovou komunikací v prostředí s velmi vysokým napětím. Popisuje průběh testování jak ve vysokonapěťové laboratoři, tak přímo na vedeních VN a VVN. Jsou zde zhodnoceny dosažené výsledky a samotný návrh komunikačního modulu.

Klíčová slova

VVN vedení; Modem; LTE; WiFi

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

The Report of Robot Communication in High Voltage Transmission Lines Area

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

The research report presents practical experiences with data communication in high voltage transmission lines environment. It describes the communication module validation as in the high voltage laboratory and on transmission lines. There are too evaluated the real measured data and the design of communication module itself.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

High Voltage Transmission Line; Modem; LTE; WiFi



Robot pro inspekci a diagnostiku distribuční a přenosové sítě NET-Robotics

Číslo projektu: TH02020319

Výzkumná zpráva o bezdrátové komunikaci s robotem v okolí přenosových sítí pod napětím

Výzkumná zpráva: TH02020319-2018V006; evidenční číslo: 22190-056-2018

Kamil Kosturik, Jindřich Křivka, Jiří Žahour, Pavel Valenta, Jiří Skála, Jiří Hammerbauer,
Vjačeslav Georgiev, Zdeněk Kubík

(ZČU/Energon¹)

31. prosince 2018

¹ Identifikátory organizací: ZČU –Západočeská univerzita v Plzni, Energon – Energon Dobříš s.r.o.

Tento dokument je součástí projektu TH02020319/Robot pro inspekci a diagnostiku distribuční a přenosové sítě -NET-Robotics, realizovaného za finanční spoluúčasti Technologické agentury České republiky.

T A
Č R

I.	Úvod	4
II.	Vývoj měřicí platformy – komunikační rozhraní	5
III.	Testování ve vysokonapěťové laboratoři	7
IV.	Testování na linkách VN a VVN	9
V.	Závěr	11

I. Úvod

V této etapě řešení projektu od 1.1.2018 do 31.12.2018 byla současně s vývojem napájecího zdroje (viz. Funkční vzorek napájecího zdroje s induktivní vazbou - TH02020319-2018V003) řešena problematika komunikace robotu se základnovou stanicí.

Pro urychlení vývoje byl zakoupen komerční LTE – WiFi modem Huawei E5577C. Byl dán předpoklad, že pokud bude v blízkosti VVN vedení komunikovat tento levný komerční modem, tak nebude řešení komunikace na průmyslové úrovni, problematické z hlediska výběru vhodné technologie.

Po zakoupení modemu a jeho implementace do měřicí platformy, určené pro testování napájecího systému, byla provedena série pokusů ve vysokonapěťové laboratoři. Komunikace byla spolehlivá bez ztráty signálu do napětí vedení 70 kV. Test byl nicméně zkreslen silnými elektrickými výboji, které se při měření objevovaly od cca 60 kV a měly za následek výpadky komunikace. Výboje byly způsobeny uspořádáním měřicího stanoviště, kdy zemní potenciálová deska byla příliš blízko (cca 15 cm) měřicí platformě. Nicméně zařízení nevykazovalo známky poškození a platforma byla podrobena dalším testům.

Po otestování zdrojové části v těžké laboratoři RICE, byla měřicí platforma nainstalována na 22kV vedení v blízkosti Křimic. Z hlediska spolehlivosti komunikace, byl test úspěšný a nevykazoval výpadky a ztrátu přenášených dat pomocí LTE modemu.

Další instalace proběhla na vedení 110 KV v blízkosti vesnice Oplot, zde již docházelo ke ztrátě dat během přenosu. Nicméně nebylo možné blíže specifikovat příčinu tohoto jevu. Z odborné diskuze v rámci řešitelského týmu vyvstal názor, že byl nejspíše zarušený přenos dat po vnitřních metalických signálových rozvodech mezi řídícím mikrokontrolérem a samotným modemem. V závěru toho měření bylo vedení pravděpodobně zatíženo bleskovým výbojem, ten byl potvrzen i ze strany pracovníků distribuční společnosti. Následkem tohoto přírodního jevu byla poškozena elektronika uvnitř měřicí platformy. Z hlediska komunikačního modulu došlo k poškození komunikačního rozhraní USB.

Na základě těchto poznatků byl vyspecifikován průmyslový komunikační modul Teltonika RUT955. Modul umožňuje integraci přímo do datové infrastruktury inspekčního robotu pomocí ethernetového a RS485 komunikačního rozhraní. V rámci spolehlivosti budou osazeny v robotu dva nezávislé moduly, kde se počítá s využitím dvou různých poskytovatelů mobilního datového připojení.

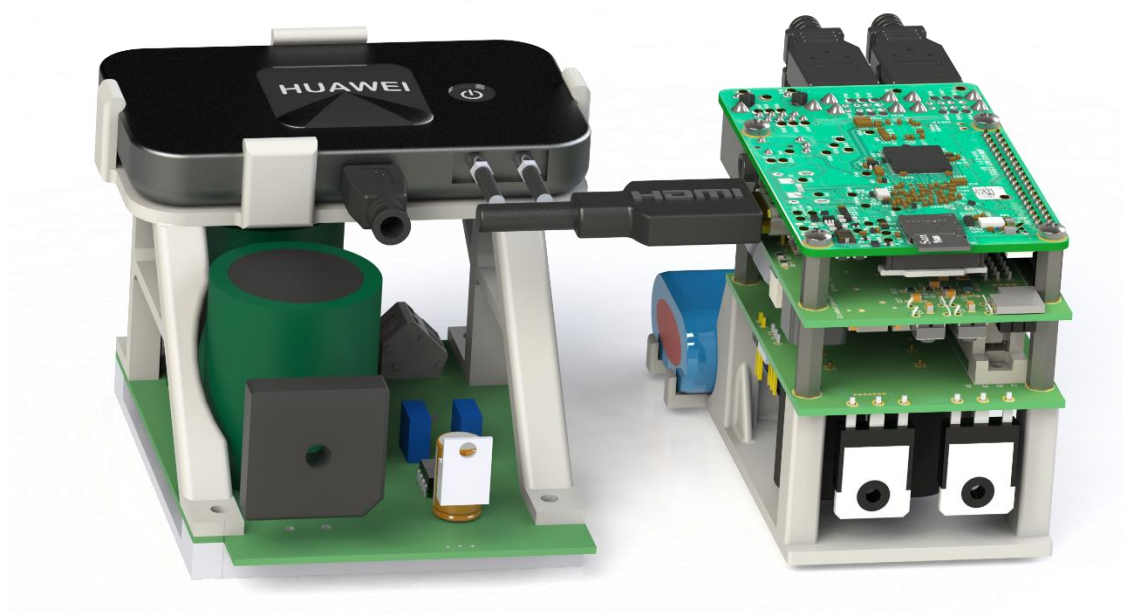
Tento modul byl integrován do nově připravované testovací platformy, která má za cíl ověřit technologie pro využití v samotném finálním prototypu robotu. Modem byl úspěšně otestován v laboratoři s maximálním napětím vedení 115kV. Během tohoto testování, byl LTE i WiFi modem podroben zatěžkávacím zkouškám spolehlivosti a kapacitě přenosového kanálu. Výsledky jsou dobré a v následujícím období bude kladen důraz na otestování modemu v provozních podmínkách reálného distribučního vedení o napětí 110 kV.

II. VÝVOJ MĚŘICÍ PLATFORMY – KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ

Pro nabytí základních zkušeností s jevy spojenými s chováním komunikačních rozhraní v blízkosti VVN vedení, byl zakoupen běžný komunikační modem Huawei E5577C. Byl zvolen na základě předpokladu, že pokud bude fungovat v blízkosti vedení obyčejný komerční modem, tak bude možné využít pro komunikační rozhraní robotu běžné technologické vybavení.

Modem Huawei E5577C umožňuje mimo jiné také datovou komunikaci pomocí sítě LTE (4G) ve frekvenčních pásmech 800/850/900/1800/2100/2600 MHz s deklarovanou maximální rychlostí přenosu do modemu 150 Mbit/s a 50 Mbit/s při odchozím přenosu dat.

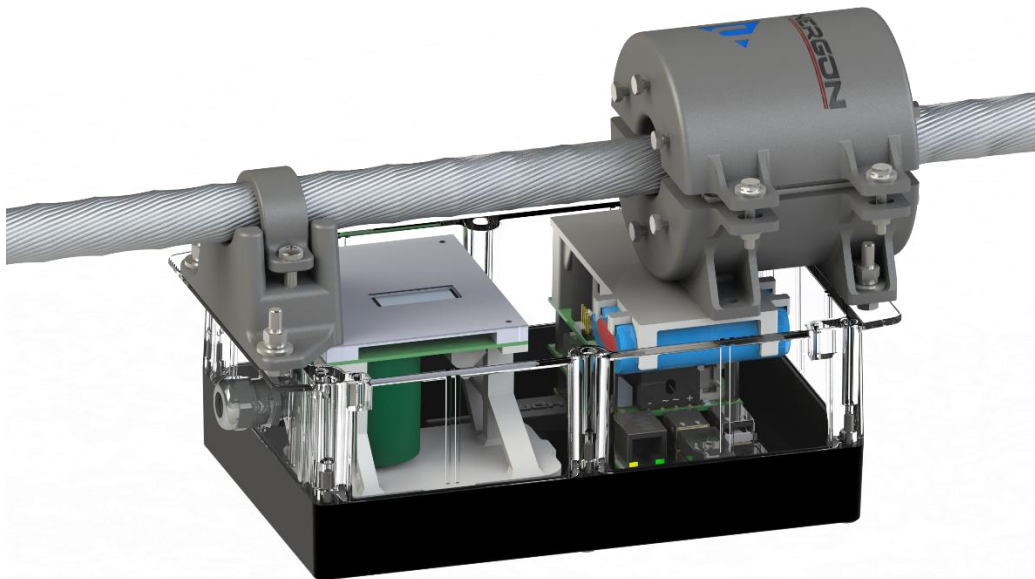
Modem byl implementován do měřicí platformy, která byla vyvinuta za účelem ověření možnosti napájení robotu pomocí proudového transformátoru (Obr. 1). Na tomto obrázku jsou zachyceny všechny elektronické moduly, které jsou vzájemně zakomponovány a jejich prostorové uspořádání je realizováno pomocí plastových distancí, realizovaných pomocí FDM 3D tiskové technologie.



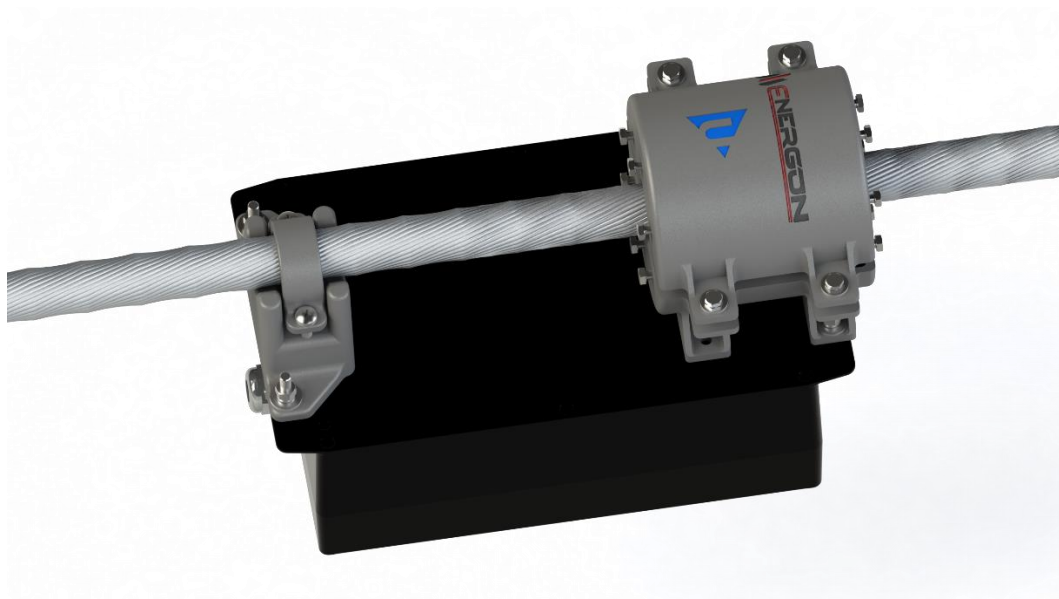
Obr. 1 3D Model měřicí platformy s komunikačním modemem

Elektronické vybavení bylo osazeno do hliníkové instalační krabice s tloušťkou stěny 3mm (Obr. 2). Měřicí platforma je mimo jiné vybavena dvoučlánkovou Li-Ion baterií o nominální kapacitě 2250 mAh, která je dobíjena přímo z vedení pomocí zdroje s induktivní vazbou. Modem Huawei E5577C disponuje vlastní záložní Li-Pol baterií, která je nabíjena pomocí USB kabelu z řídicího modulu (Raspberry PI3). Aby bylo možné modem ovládat bylo jeho jediné ovládací mechanické tlačítko vyvedeno mimo obálku modemu. Pomocí jednoduchého elektronického obvodu je tak možné simulovat mechanický stisk toho tlačítka a zapnout nebo resetovat modem.

Této funkcionality se využívá při potřebě datové komunikace se serverem, to je využíváno pouze v případě dostatečné zásoby energie nutné pro realizaci bezdrátového přenosu dat. Při nedostatečném výkonu napájecího zdroje (malý proud primárním vinutím proudového/malé zatížení vedení) je modem vypnutý, tím nedochází k zatěžování napájecího systému měřicí platformy. Systém je navíc vybaven autodiagnostikou komunikačního rozhraní, která v případě nefunkčního datového spojení, vyvolá reset motem pomocí simulace stisku hardwarového tlačítka. Samotný datový přenos mezi modemem a řídícím modulem je realizován pomocí USB sběrnice.



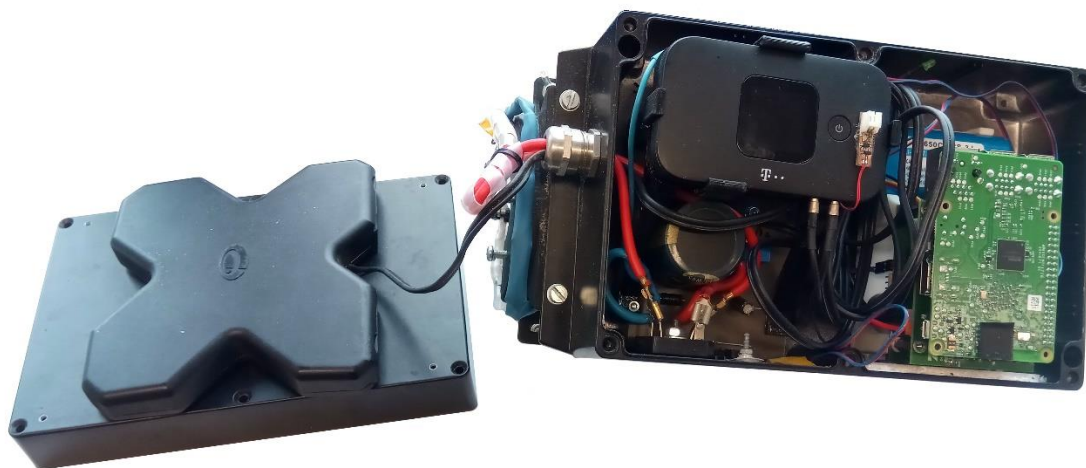
Obr. 2 3D implementace elektronických modulů do měřicí platformy – průhledný model krabice



Obr. 3 Vizualizace umístění měřicí platformy na VVN vedení

Na studii (Obr. 3) je zachycen měřicí modul zabudovaný v instalační krabici s osazeným proudovým transformátorem a přídržnou svorkou. Svorka slouží ke stabilizaci polohy měřicí platformy na laně vedení, tak aby přírodní jevy nemohli změnit její polohu v průběhu testování.

Na fotografii (Obr. 4) je zachycen měřicí modul s osazenými elektronickými moduly, připravenými k testování ve vysokonapěťové laboratoři a montáži na VVN vedení. Oproti modelové studii je navíc platforma osazena i širokopásmovou anténou pro LTE modem Huawei E5577C.



Obr. 4 Funkční vzorek měřicí platformy s osazeným komunikačním modulem a anténou

III. TESTOVÁNÍ VE VYSOKONAPĚŤOVÉ LABORATOŘI

První otestování měřicí platformy proběhlo ve vysokonapěťové laboratoři FEL. Test byl zaměřen na celkovou funkčnost systému, kde se sledovala i stabilita datového připojení. LTE modem sloužil zároveň jako přístupový bod WiFi signálu, přes který bylo realizováno připojení počítače. Na počítači pak byla periodicky testována odezva na příkaz „PING“, která má vypovídající hodnotu o stabilitě připojení.

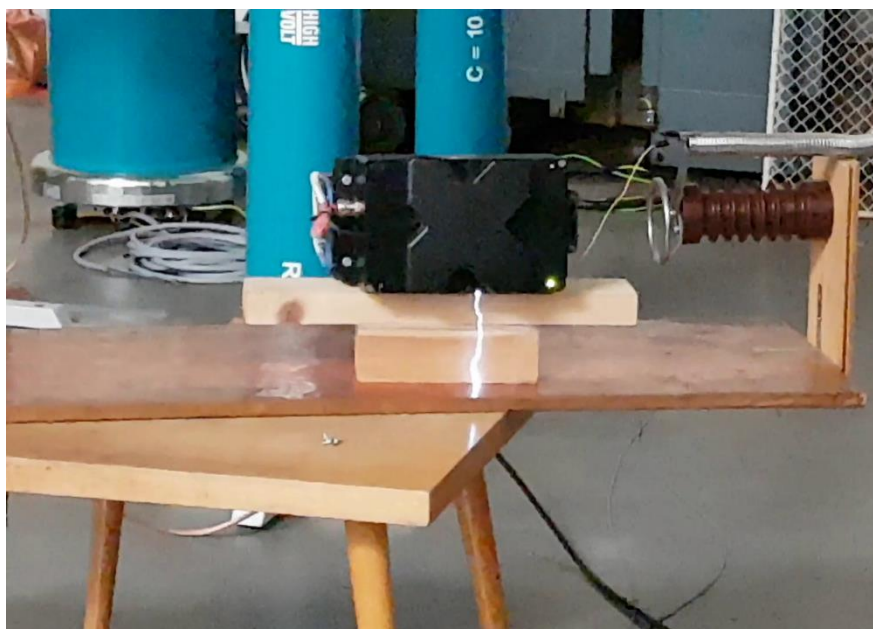
Pro první test byl použit model vedení, který byl v laboratoři k dispozici (Obr. 5). Samotný vodič vedení byl protažen proudovým transformátorem. Ukázalo se, že komunikace LTE modemem byla spolehlivá do nominálního napětí vedení 70 kV. Při překročení této úrovně docházelo k atmosférickým výbojům mezi měřicí platformou a zemním potenciálem vedení (Obr. 6). V této fázi již bylo datové připojení nestabilní a docházelo k samovolnému vypínání systému měřicí platformy. Stav a funkčnost systému, je též indikovatelná pomocí dvou stavových LED diod, které jsou osazeny na hliníkovém krytu na straně antény.

Vzhledem k blízkosti zemního potenciálu vedení od měřicí platformy, přibližně 15 cm, byl předpoklad, že na reálném vedení nebude docházet k těmto výbojům a situace bude odlišná.

Systém byl sice při překročení hranice 70 kV nestabilní, nicméně nedošlo k jeho nenávratnému poškození. Další test měl proběhnout na reálném vedení 22kV, a tak byl tento test brán vzhledem k tomuto napětí jako úspěšný.



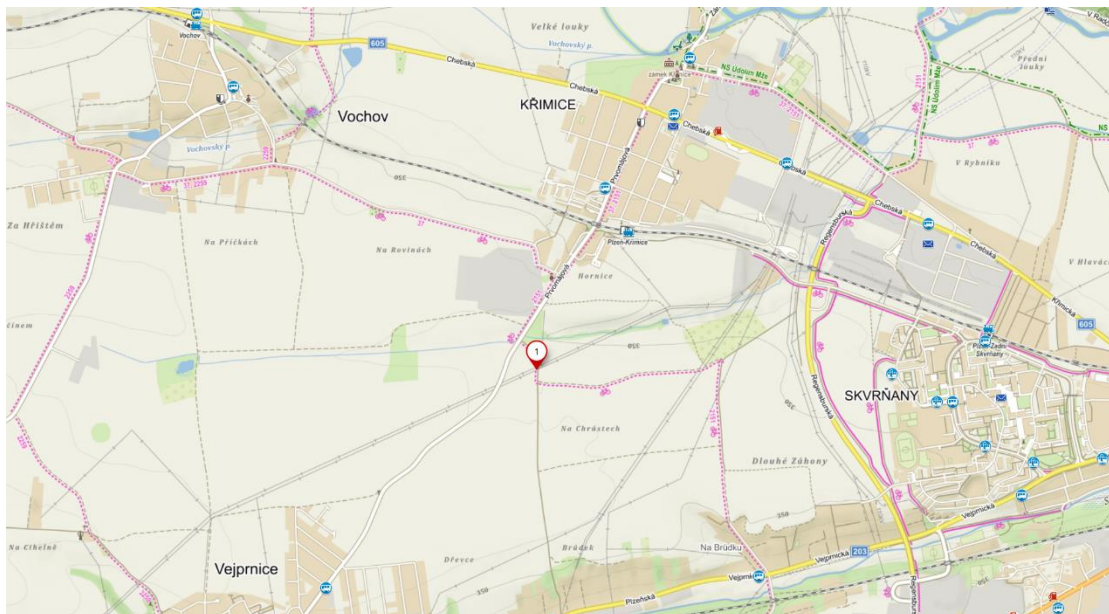
Obr. 5 Testování datových komunikací ve vysokonapěťové laboratoři FEL



Obr. 6 Testování datových komunikací ve vysokonapěťové laboratoři FEL

IV. TESTOVÁNÍ NA LINKÁCH VN A VVN

Po otestování měřicí platformy NET-Robotics laboratořích FEL byly provedeny testy na vedeních VN a VVN. Prvním testem, který proběhl v oblasti u obce Křimice (Obr. 7 až Obr. 9), byl na vedení VN 22 kV. Z hlediska komunikace se během 14-denního testování nevyskytl žádný nedostatek ovlivňující kvalitu připojení, a pokud měla platforma dostatek energie, tak byla měřená data dosažitelných napájecích výkonů spolehlivě odesílána na server (více ve zprávě TH02020319-2018V003).



Obr. 7 Místo instalace měřicí platformy na 22kV vedení u obce Křimice - Mapa

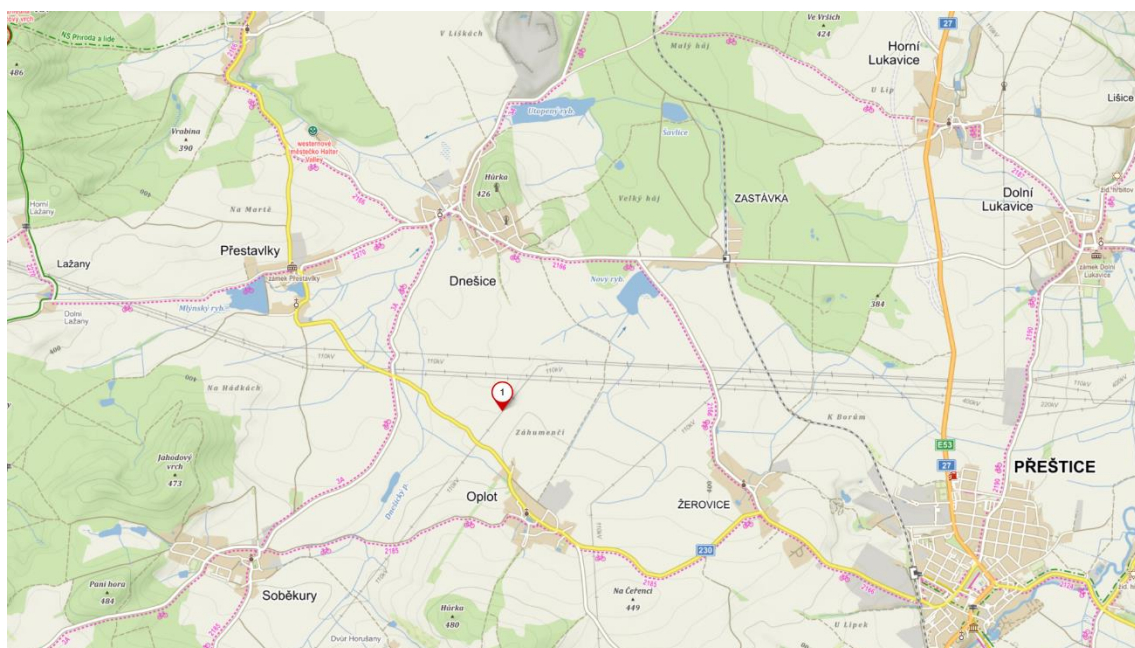


Obr. 8 Místo instalace měřicí platformy na 22kV vedení u obce Křimice - Detail montáže

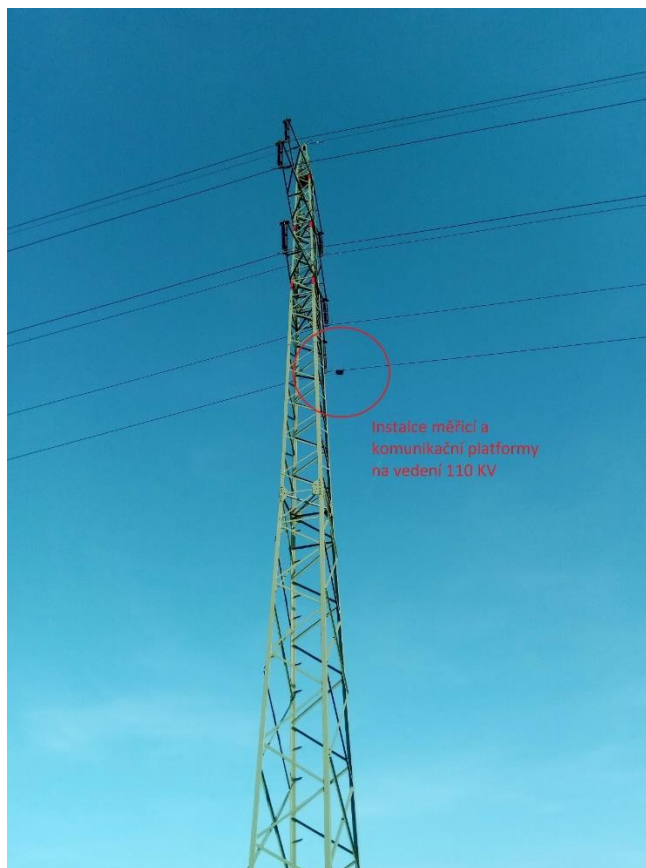


Obr. 9 Místo instalace měřicí platformy na 22kV vedení u obce Křimice – Fotografie instalačního stanoviště

Protože test na 22kV vedení dopadl úspěšně, byla záhy měřicí platforma nainstalována na VVN vedení 110 kV u obce Oplot (Obr. 10). Zde již byly zaznamenány značné výpadky přenosu dat, které vyvrcholily během konvekčního rázu počasí, kde pravděpodobně došlo k zásahu VVN vedení bleskovým výbojem. Tato informace byla potvrzena i u správce vedení ČEZ Distribuce, a. s., kde zaznamenali v tomto časovém období výpadek vedení.



Obr. 10 Místo instalace měřicí platformy na 110kV vedení u obce Oplot - Mapa



Obr. 11 Místo instalace měřicí platformy na 110kV vedení u obce Oplot – Fotografie instalovaného zařízení

V. ZÁVĚR

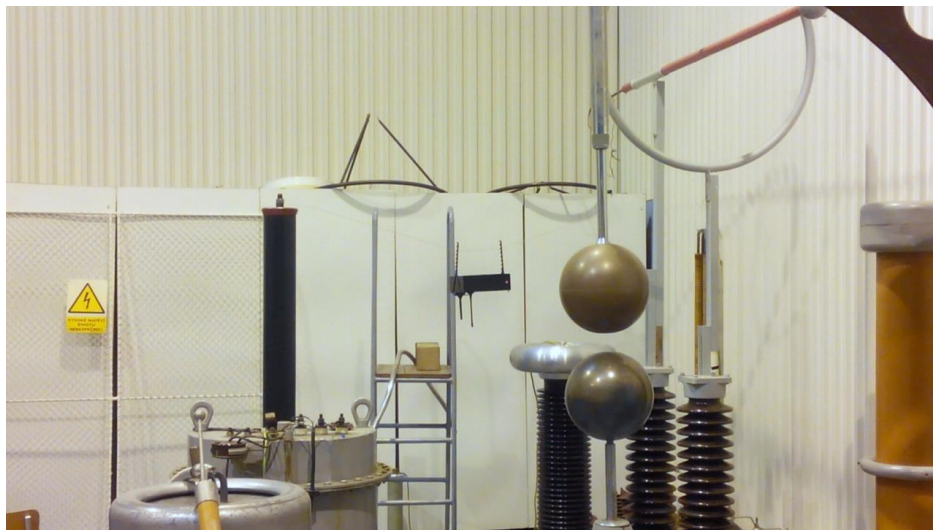
Analýzou komunikace v posledním testu na 110 kV, která byla založena na porovnání vnitřní paměti dat měřicí platformy a přijatých dat na serveru, bylo zjištěno, že výpadky komunikací mezi serverem a platformou korelují s výpadky měření celé platformy. To znamená, že v tu dobu nefungoval celý elektronický systém měřicí platformy. Z toho lze usuzovat, že na vedení 110 kV docházelo k zarušení elektroniky uvnitř hliníkové krabice.

Pokud vyjdeme z teoretického předpokladu, že hloubka vniku elektromagnetického pole vodiče vedení s frekvencí 50 Hz bude přibližně 5 mm, tak je současné zakrytování pouze pomocí 3 mm šířky stěn nedostatečné.

Pro eliminaci tohoto jevu je v dalším postupu vývoje zvoleno krytování pomocí železného plechu o tloušťce 1 mm. Pro tento materiál je hloubka vniku elektromagnetického pole na této frekvenci přibližně 0,9 mm. Navíc bude kryt vodivě propojen s potenciálem vedení, to by mělo zajistit lepší parametry stínění elektroniky.

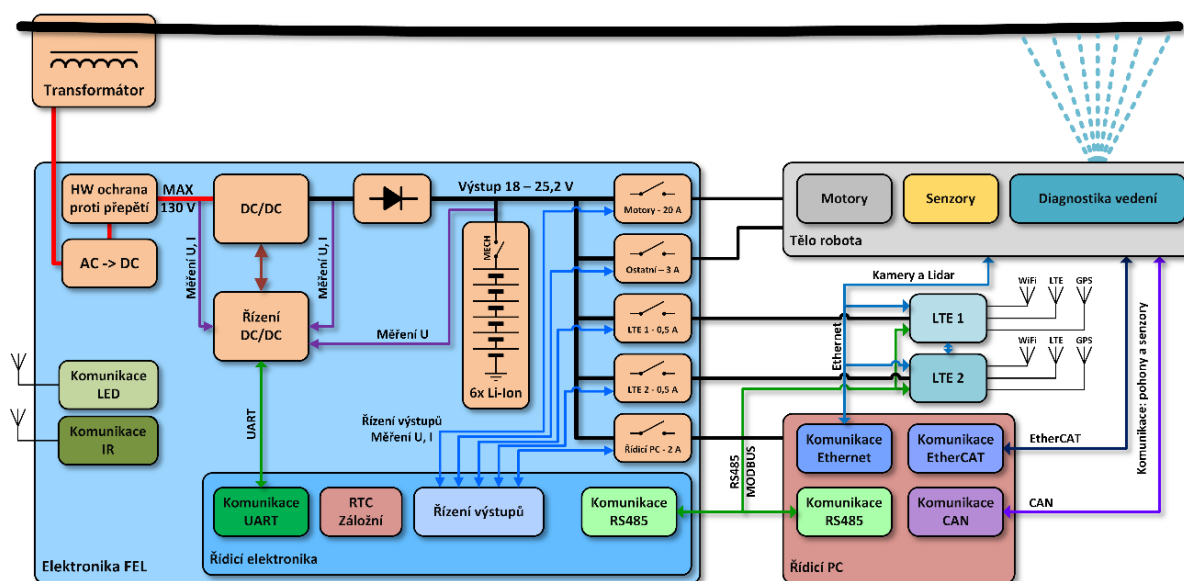
V závěru toho období řešení projektu, tak byl realizován experiment s novým komunikačním modulem RUT955 a plechovou krabicí ve vysokonapěťové laboratoři FEL (Obr. 12). V laboratoři byl navíc nainstalován nový model vedení, který umožňoval zavěšení funkčního

vzorku komunikačního modulu přímo do volného prostoru. Testy dopadly velmi dobře. Nominální napětí vedení bylo testováno do hodnoty 115 kV, což je maximální hodnota napětí, kterou toto laboratorní vybavení je schopno generovat. Během testování navíc byly vyzkoušeny různé varianty polohování komunikačního modulu, vždy se stejným výsledkem – spolehlivé komunikace. Stabilita komunikace byla oproti předchozímu testu navíc doplněna o zkoušku datové propustnosti pomocí přenosu obrazového signálu, která také ve všech případech proběhla s dobrým výsledkem.



Obr. 12 Testování funkčního vzorku komunikačního modulu ve VVN laboratoři na napětí 115 kV

Ve spolupráci s ostatními řešitelskými týmy bylo vyspecifikováno blokové zapojení napájení a komunikace celého elektronického systému robotu (Obr. 13). V robotu, tak budou využity paralelně dva komunikační moduly, zejména z důvodu redundance komunikačních kanálů. V dalším období bude kladen důraz na precizaci konečné podoby komunikačního rozhraní robotu a jeho verifikaci v provozu na reálném vedení VVN. Následně bude provedeno zabudování komunikačního rozhraní spolu s ostatními elektronickými moduly do těla prototypu robotu.



Obr. 13 Blokové schéma zapojení jednotlivých systémů robotu - NET-Robotics