

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Optická sonda pro distribuované snímání mechanických vibrací na střední vzdálenosti

typ výsledku (G_{funk}), ID: 159768, RIV/00216305:26510/19:PR32190

Dokumentace k výstupu projektu
**Systém pro centralizovaný dohled nad komplexními a rozlehlými
objekty kritické infrastruktury státu**

Projekt VI20172020078

Program bezpečnostního výzkumu České republiky 2015-2020 (BV III/1-VS)

Ministerstvo vnitra České republiky

Příjemce účelové podpory:
Zodpovědná osoba:

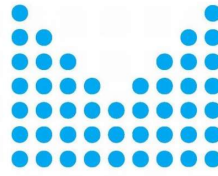
Vysoké učení technické v Brně
doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

Brno 2021

1. **Dokument:** Dokumentace k výstupu projektu
2. **ID projektu:** VI20172020078
3. **Název projektu:** Systém pro centralizovaný dohled nad komplexními a rozlehlými objekty kritické infrastruktury státu
4. **Příjemce účelové podpory:** Vysoké učení technické v Brně,
Antonínská 548/1, 601 90 Brno,
Fakulta podnikatelská – Kolejní 2906/4, 612 00 Brno
5. **Trvání projektu:** 01.10.2017 – 30.04.2021
6. **Rok vypracování:** 2021
7. **Kontaktní osoba:** doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.
tel: +420 541142227
novotnyv@fbm.vutbr.cz

OBSAH

1	Předmět výsledku	1
2	Technický popis výsledku	1
2.1	Optická sonda pro distribuované snímání mechanických vibrací na střední vzdálenosti 1	
2.2	Systém pro centralizovaný dohled nad komplexními a rozlehlými objekty	3
3	Technické parametry výsledku	4
4	Aplikace výsledku	5
5	Přednosti navrhovaného systému	6
6	Ukázka činnosti v reálných podmínkách	6
6.1	Nasazení systému u aplikací s liniovými trasami s dlouhým dosahem	7
6.2	Testování a sběr náměrů u aplikací na ochranu perimetru	8
6.2.1	Testování systému na perimetru č. 1	9
6.2.1.1	Testovací polygon č. 1	9
6.2.1.2	Zahájení testování a měření	11
6.2.2	Dohled nad perimetrem č. 2	12
6.2.2.1	Příprava testovacího polygonu	12
6.2.2.2	Kalibrace měřicího systému	13
6.2.3	Porovnání vlivu okolního materiálu pokládky sensorického kabelu	15
6.2.4	Testování a rozpoznání událostí	16
7	Zhodnocení	19



1 PŘEDMĚT VÝSLEDKU

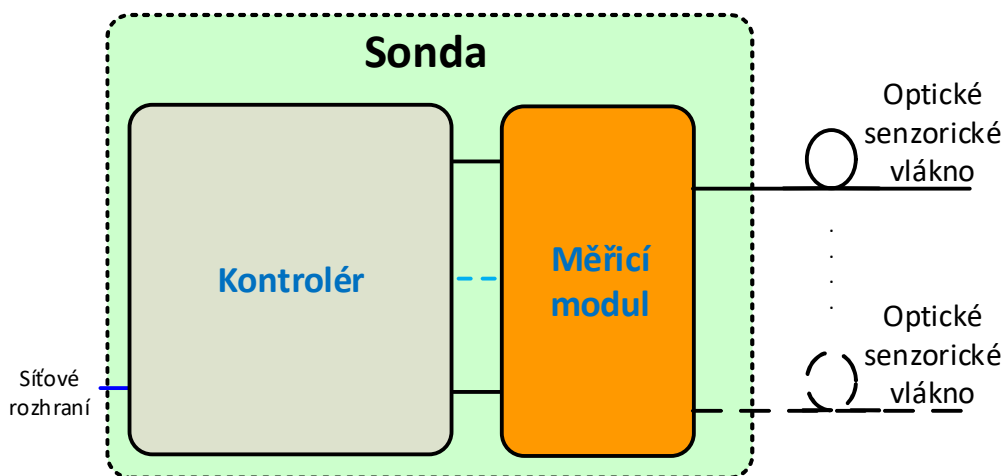
Výsledek s názvem „Optická sonda pro distribuované snímání mechanických vibrací na střední vzdálenosti“ představuje základ systému pro distribuované sledování výskytu zdrojů mechanických vibrací pomocí jednovidového optického vlákna na vzdálenosti desítek km (>50km) s možnostmi současné vícečetné detekce, lokalizace a klasifikace zdrojů vibrací. Předností je značný dosah, v případě uložení do země neodhalitelnost senzoru a nevyžadování dodávky elektrické energie podél senzorické trasy. Využití systému je v oblastech, jako jsou monitoring liniových staveb (železnice, produktovody) či sledování perimetrů objektů, jako jsou sklady či zdroje strategických produktů (zásobárny pitné vody, plynu, zbraní, aj.) nebo objekty představující klíčové uzly rozvodů médií.

2 TECHNICKÝ POPIS VÝSLEDKU

2.1 OPTICKÁ SONDA PRO DISTRIBUOVANÉ SNÍMÁNÍ MECHANICKÝCH VIBRACÍ NA STŘEDNÍ VZDÁLENOSTI

Z hlediska technického principu fungování optické sondy se jedná o **optovláknový senzor mechanických vibrací** označovaný často zkratkou **DVS** (*Distributed Vibration Sensor*), distribuovaně snímající jevy mechanické povahy (vibrací) v blízkém okolí senzoru – optického vlákna. Optickým vláknem prochází optický signál, jenž je při průchodu ovlivňován vnějšími jevy, v tomto případě mechanickými vibracemi. Vyvíjený systém slouží k **získávání informací o dynamických jevech**. Neslouží tedy k měření statické či dlouhodobě a pozvolně se vyvíjející tenze ve vlákně. Přijímací část Sondy senzorického systému tak vyhodnocuje změny v přijímaném signálu generované vibracemi mechanické povahy. Pro snímání mechanických vibrací musí být senzorické optické vlákno v co nejlepším akustickém kontaktu se zdrojem vibrací, tj. výsledek je do jisté míry závislý na prostředí, ve kterém se senzorický prvek (optické vlákno) nachází. To je ovlivněno jednak konstrukcí kabelu, ve kterém je vlákno umístěno, a jednak vlastnostmi materiálu mezi kabelem a zdrojem vibrací z hlediska přenosu vibrací.

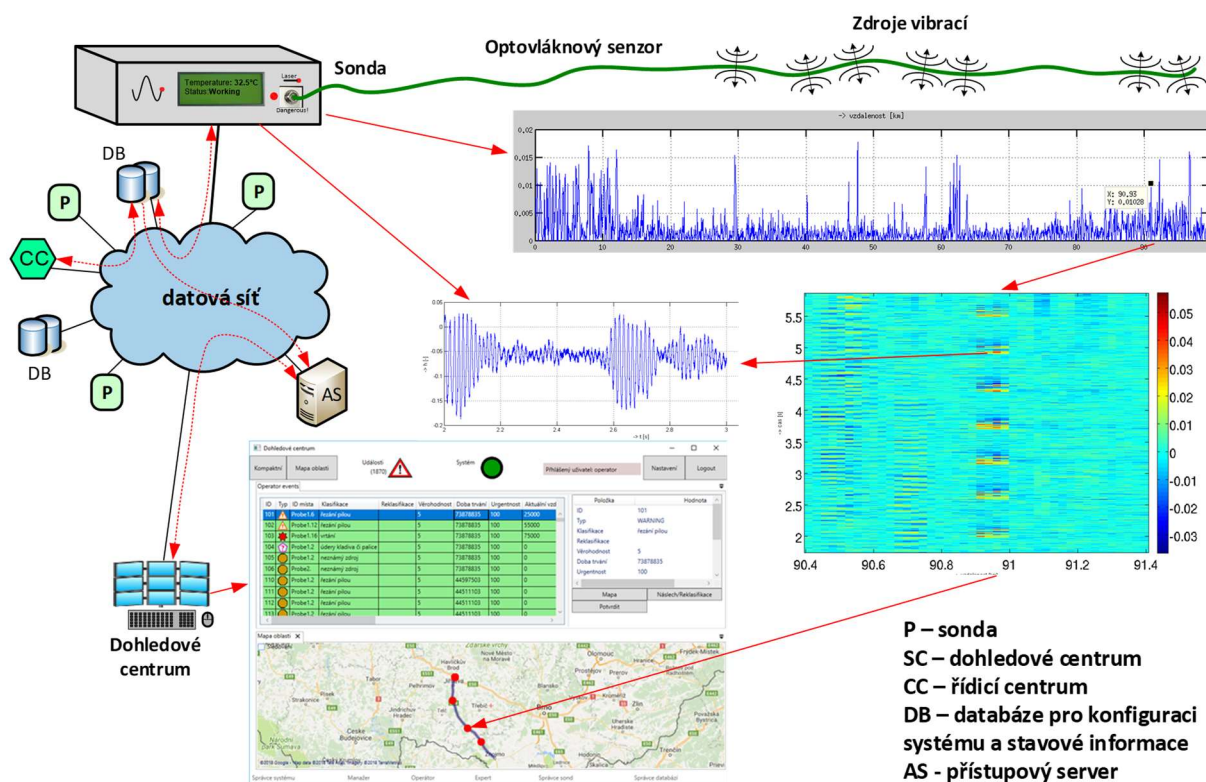
Optická sonda sestává ze dvou základních částí, a to z **Měřicího modulu** a **Kontroléru**, viz Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Základní bloková struktura Sondy

- **Měřicí modul** generuje měřicí signály, přijímá odezvu senzorního prvku, a tu upravuje do podoby vhodné pro následnou digitalizaci a zpracování.
- **Kontrolér** ovládá měřicí modul, řídí proces měření, digitalizuje a zpracovává digitalizovaný signál pro účely detekce, lokalizace a klasifikace událostí.

Optická sonda je součástí rozsáhlejšího dohledového systému, podrobněji viz kap. 2.2. Činnost sondy je graficky znázorněna na Obr. 2.2. Z mnoha po sobě jdoucích odezví optického vlákna se sestavuje prostorovočasový obraz dějů (tzv. waterfall) podél senzorního vlákna a jeho zpracováním se řeší detekce, lokalizace a případně i klasifikace dějů. Výsledné informace se zasílají do úložiště, k dalšímu zpracování a výsledné prezentaci v dohledovém centru.



Obr. 2.2: Princip detekce a lokalizace s napojením na mapové podklady

2.2 SYSTÉM PRO CENTRALIZOVANÝ DOHLED NAD KOMPLEXNÍMI A ROZLEHLÝMI OBJEKTY

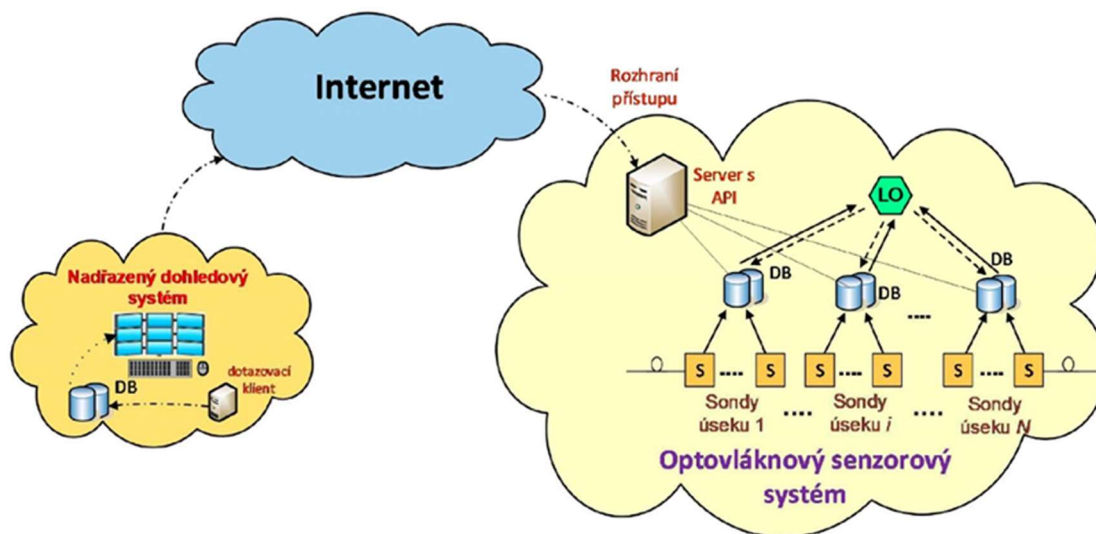
Celkový systém pro centralizovaný dohled nad komplexními a rozlehlými objekty je komplexní řešení, které představuje hierarchicky uspořádaný, škálovatelný distribuovaný senzorický systém pro snímání mechanických vibrací. Vyznačuje se modulární architekturou a kontinuálním **dosahem** senzorického prvku od stovek metrů, přes desítky kilometrů až do 250 kilometrů za použití jedné senzorické jednotky, tzv. „sondy“, s možností zařazení více takovýchto sond do systému a adekvátním navýšením dosahu až na jednotky tisíců km.

Systém v základu sestává z následujících prvků:

- **Optické vlákno** – senzorický prvek, pasivní prvek systému primárně představovaný jednovodovým telekomunikačním optickým vláknem, na nějž mohou působit různé vlivy z okolí jeho uložení – mechanické vibrace, tlak, teplota, záření, chemikálie, apod.
- **Sonda** – aktivní prvek představující základní uzel systému napojený jednak na senzorický prvek a jednak do datové sítě, a sloužící k vlastní realizaci činností se snímáním jevů v okolí senzorického prvku, zpracováním informací a předáváním výsledků do dalších částí systémů přes datové komunikační rozhraní. Jedna sonda může obsluhovat jeden či více senzorických prvků, tj. optických vláken.

- **Databáze** – centrální informační uzel uchovávající informace pro činnost celého systému a informace o zjištěných událostech ve sledované oblasti.
- **Místní obslužný systém (místní řídicí a dohledové centrum)** – uzel sloužící k dohledu nad úseky pokryté sondami s optickými vlákny, ke konfiguraci vlastních měření a sledování stavových informací sond a databázi
- **Přístupový server** – uzel pro bezpečný přístup k informačním databázím optovláknového sensorického systému ze strany nadřazeného systému dohledu jiného dodavatele řešení.
- **Úložiště naměřených dat** – uzel sloužící k ukládání nezpracovaných, i částečně zpracovaných nebo zkomprimovaných dat. V řadě případů, hlavně v již zaběhnuté fázi nasazení se jedná o postradatelný prvek, který má uplatnění především ve fázích vývoje systému a adaptace systému na nové podmínky nasazení.

Architekturu celého hierarchického systému s možností napojení na dohledový systém třetí strany (Nadřazený dohledový systém) zachycuje obr. 2.3.

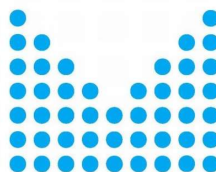


Obr. 2.3: Architektura navrhovaného měřicího systému (S – sonda, DB – databáze, LO – místní obslužný systém)

3 TECHNICKÉ PARAMETRY VÝSLEDKU

„Optická sonda pro distribuované snímání mechanických vibrací na střední vzdálenosti“ se vyznačuje následujícími technickými parametry:

- Senzor mechanických vibrací,
- Distribuovaná forma senzoru,
- Optický mechanismus snímání,



- Senzorickým prvkem je jednovidové optické vlákno,
- Mnohačetné současné sledování výskytů zdrojů vibrací,
- Dosah - 80 km
- Prostorové rozlišení – desítky metrů,
-

4 APLIKACE VÝSLEDKU

Aplikace vyvíjeného systému lze najít jak v civilní, tak i v bezpečnostní oblasti. Vyvíjený systém skýtá velký potenciál aplikací v oblasti komplexních systémů zabezpečení či ochrany různých objektů především kritické infrastruktury. Sem patří různé typy **liniových staveb** - státní hranice, potrubní systémy, silniční a železniční stavby, rozvody energetických i komunikačních sítí; dále **perimetry objektů** – sklady nebezpečného materiálu, zbraní a střeliva, strategických surovin, letiště, elektrárny, střelnice, vojenské újezdy; včetně soukromých pozemků a staveb.

Senzorický systém tedy lze využít k:

- **detekci, lokalizaci a klasifikaci zdrojů mechanických vibrací** za účelem:
 - **dohledu**, tj. získání přehledu situace v blízkém okolí senzorického vlákna
 - **vyhodnocení stupně nebezpečnosti situace**, tj. zda se jedná o potencionálně nebezpečnou situaci, což slouží k předcházení škodám na dohledovaném objektu či jeho úplnému vyřazení z provozu, a tak pomáhá zabránit větším dopadům, které mohou mít formu nejen finančních či majetkových škod, ale i újmy na zdraví či dokonce na životech obyvatel.

Příklady jevů či událostí mohou být:

- **Periodické zdroje** – chůze, běh, skákání osob či zvíře, údery, vrtání, kopání, řezání, vozidla v provozu (auto – osobní, nákladní; motocykl; zemědělské stroje; vlaky; apod.) s pohybem i bez něj, zvuk dalších strojů, hluk provozů, aj.
- **Jednorázové zdroje** – výstřel, výbuch, úder padajícího objektu (např. stromu, či balvanů utržených z okolní skály), náraz pohybujícího se zdroje do překážky, srážka pohybujících se zdrojů, aj.

U některých aplikací bude dostačující **pouze detekce** (především u aplikací krátkého dosahu, řádově nízké stovky metrů, u některých bude **žádána detekce a lokalizace** (aplikace, které předpokládají pouze jeden či několik málo typů zdrojů vibrací, např. železniční tratě), další aplikace **vyžadují i klasifikaci (identifikaci) zdrojů**, a jiné chtějí znát i další doplňující informace.

- **získání doplňujících informací** o okolí senzorického vlákna – sledování vývoje (chování) události v čase – změna polohy objektu generujícího událost, tj. pohyb, rychlost pohybu, změna rychlosti pohybu, tedy určení rychlostního profilu objektu

pohybujícího se podél senzorického vlákna, četnost výskytu objektu (zdroje vibrací) určitého typu v dané lokalitě, apod.

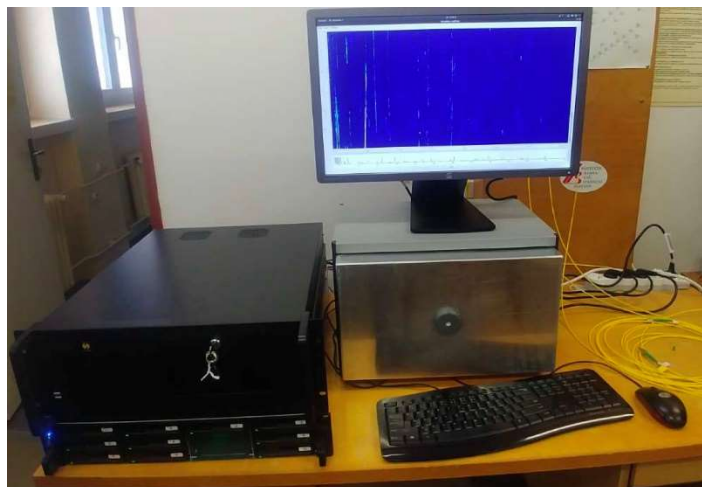
5 PŘEDNOSTI NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU

Při srovnání s ostatními senzorickými systémy lze najít následující přednosti vyvíjeného systému využívající optického vlákna jako senzoru:

- **Značný dosah** či **rozsah** oblasti snímání,
- **Kontinuita snímání v prostoru a času** - distribuovaný senzor s periodou snímání v řádu mikrosekund,
- **Současné** sledování a **analýza mnoha událostí** na sledované trase,
- **Detekce a lokalizace** událostí se **zpožděním stovek ms**,
- **Klasifikace** událostí se **zpožděním cca 6 až 7 sekund**,
- **Neviditelnost a nedetekovatelnost senzoru** při umístění optického kabelu pod zemský povrch a zahlazení stop po instalaci,
- **Nezávislost na světelných podmínkách** (den, noc, mlha),
- Senzorická trasa **nevyžaduje** po celé své délce **dodávku elektrické energie**.

6 UKÁZKA ČINNOSTI V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH

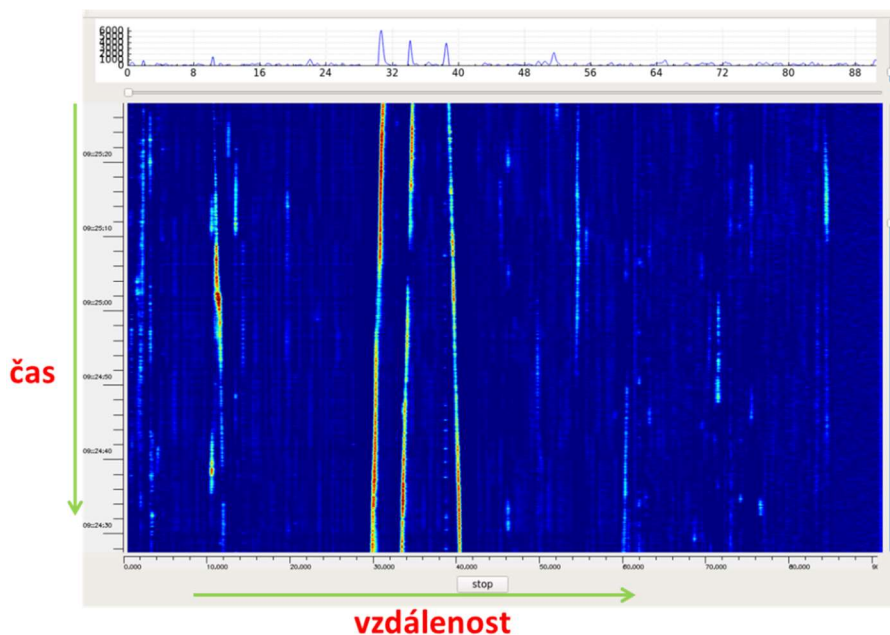
Obr. 6.1 zachycuje reálný případ nasazení systému v terénu za účelem testování funkčnosti a schopností systému, a za účelem sběru dat pro trénování systému pro tvorbu znalostní báze a trénování tzv. klasifikátoru událostí. Obr. 6.1 prezentuje Sondu a Úložiště dat vzájemně propojené spojením 10 Gb/s. Sonda je dále napojena na senzorický prvek – jednovláknové optické vlákno, a dalším síťovým rozhraním na datovou síť (Internet) a potažmo na databázi, a dohledové centrum.



Obr. 6.1: Sonda středního dosahu s úložištěm naměřených dat

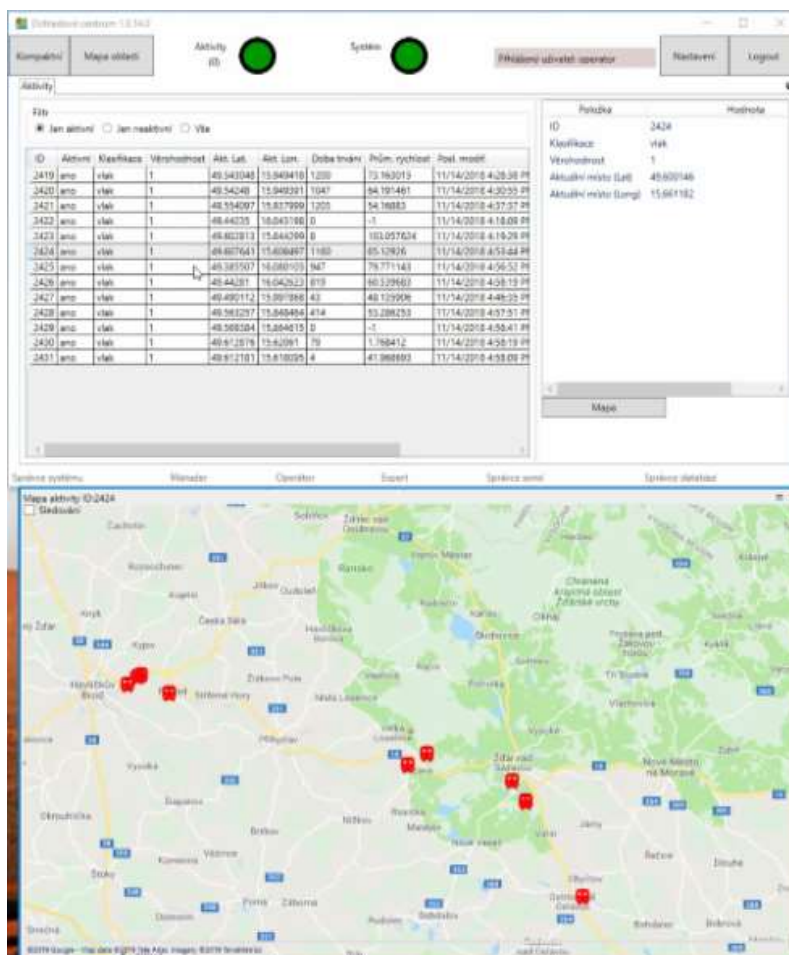
6.1 NASAZENÍ SYSTÉMU U APLIKACÍ S LINIOVÝMI TRASAMI S DLOUHÝM DOSAHEM

Na Obr. 6.2 je zachycena časoprostorová projekce výskytu událostí na vláknech o délce 88 km, tzv. **waterfall**, kde barva vyjadřuje intenzitu vibrací v daném čase a v daném místě. Jedná se již o předzpracovaný signál pro zvýraznění událostí a také s kompresí v čase, aby byla rychlost posunu obrazu na displeji pro vnímání člověka přiměřená a nezávislá na četnosti průběhů za jednotku času.



Obr. 6.2: Časoprostorová prezentace výskytu událostí, tzv. „waterfall“

Dohledové centrum prezentující detekované události s mapovým podkladem zachycuje Obr. 6.3.



Obr. 6.3: Dohledové a řídicí centrum

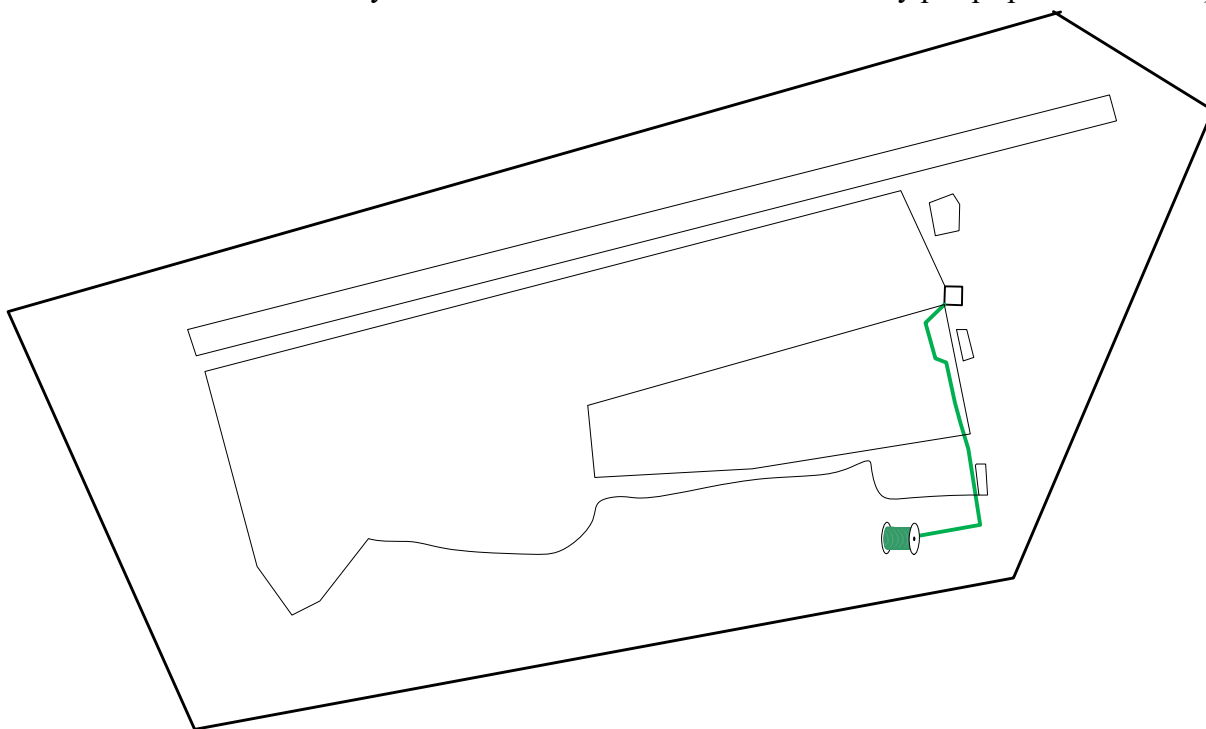
6.2 TESTOVÁNÍ A SBĚR NÁMĚŘŮ U APLIKACÍ NA OCHRANU PERIMETRU

Díky spolupráci se dvěma organizacemi bylo možné vybudovat dva testovací polygony ve dvou zcela odlišných půdních podmínkách, a tak prověřit systém při uložení vlákna v černozemi (sorpčně nasycené hlubokohumózní půdy) a regozemi (syhké sedimenty s minerálně chudým substrátem – naváté písky).

6.2.1 Testování systému na perimetru č. 1

6.2.1.1 Testovací polygon č. 1

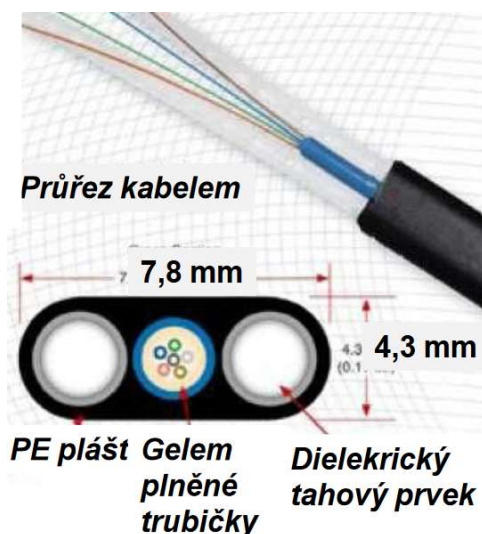
V prostoru areálu byl vytvořen testovací polygon v celkové délce 240 m (je třeba dále přičíst cca 10 m zavedení do budovy a 250 m stočeného kabelu na konci trasy pro případné rozšíření)



Obr. 6.4: Testovací polygon v areálu č. 1

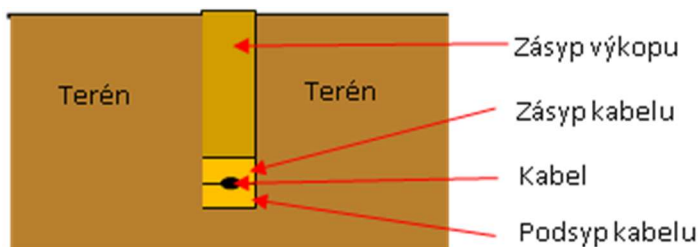
Jako senzorký kabel byl položen optický kabel se SM vlákny typu Mini LT Flat Drop, 12 vl. AW FLEX – 9/125, viz Obr. 6.5

Projekt VI20172020078 – Dokumentace k výstupu projektu

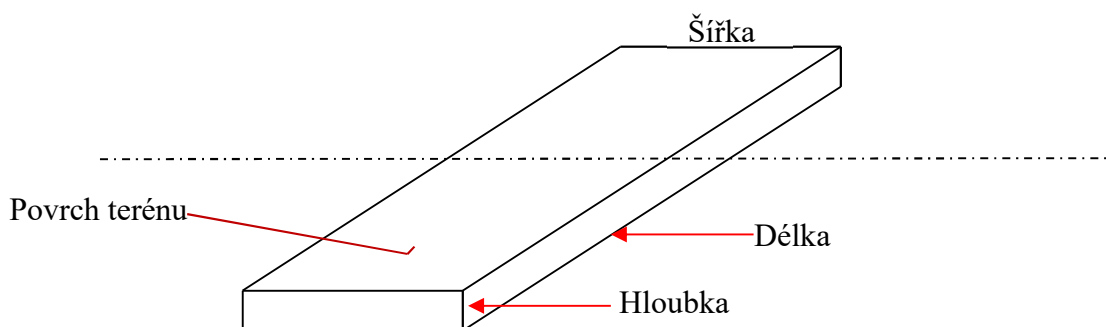


Obr. 6.5: Použitý optický kabel

Kabel Mini LT Flat Drop 09/125 12vl je určen pro pokládku přímo do země. Z 12 SM vláken byla vybrána 4 vlákna, která byla označena čísly 1 – 4 a zakončena FC/APC konektory. Vlákna pod čísly 2 a 3 byla na vzdáleném konci propojena do smyčky. Uložení kabelu bylo provedeno v různých hloubkách, a to 30, 50 a 100 cm, řešení pokládky dle Obr. 6.6.



Obr. 6.6: Průřezy znázorňující pokládku optických kabelů



Obr. 6.7: Náčres speciálních povrchových zásypů

Podrobnosti pokládky s uvedením délek a hloubek uložení jednotlivých úseků senzorké trasy jsou součástí Smlouvy o spolupráci v části Příloha č. 1

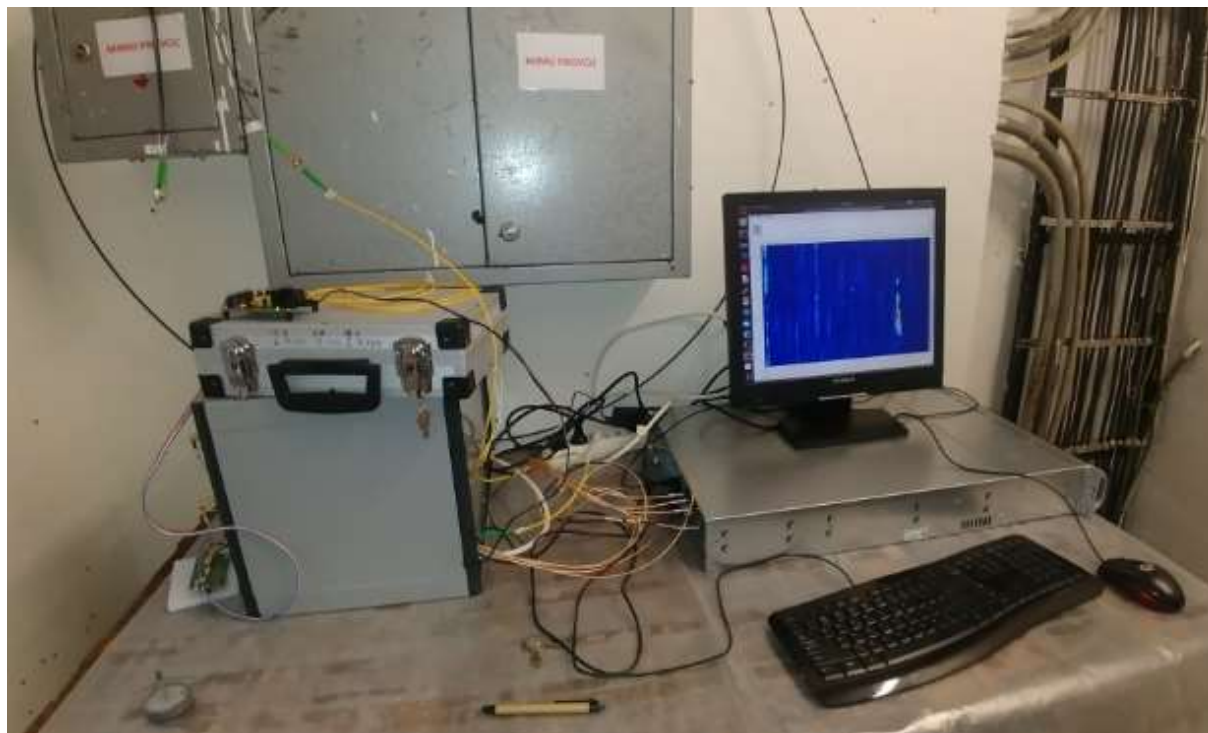


Obr. 6.8: Zakončení optických kabelů v řídicí budově

Kabel je po celé délce uložen v různých hloubkách: 30, 50 a 100 cm. Pro připojení systému jsou opět čtyři vlákna opatřeny konektory FC/APC, ale tentokrát kabel tvoří uzavřenou smyčku a dostupný je pouze začátek kabelu. Nicméně na vzdáleném konci kabelu jsou dvě vlákna propojena do smyčky, takže lze až tři vlákna zapojit sériově a události se projeví až na 3 místech současně.

6.2.1.2 Zahájení testování a měření

V budově společných rozvodů byl umístěn měřicí systém sestávající z kontroléru a měřicího modulu. Probíhající měření je pak zachyceno na Obr. 6.9.



Obr. 6.9: Funkční Měřicí systém napojený na optickou trasu polygonu

Výstupy z reálného měření pak byly využity pro optimalizaci zapojení a přesnější konfiguraci měření. Po vyladění systému pak následovala měření, jejichž cílem byl sběr vzorových dat pro následovné trénování klasifikátoru událostí. Za cíl je kladeno rozpoznání jevů typu chůze a běh jednoho či více lidí, úderů do předmětů, kopání do země, překonávání plotu či pohyb vozidla. V této fázi probíhal sběr vzorových dat, a v prostorách VUT pak jejich zpracování a analýza za účelem extrakce příznaků vhodných pro klasifikaci událostí. Na jejich základě pak probíhalo trénování klasifikátoru, jenž bude zakomponován do systému.

6.2.2 Dohled nad perimetrem č. 2

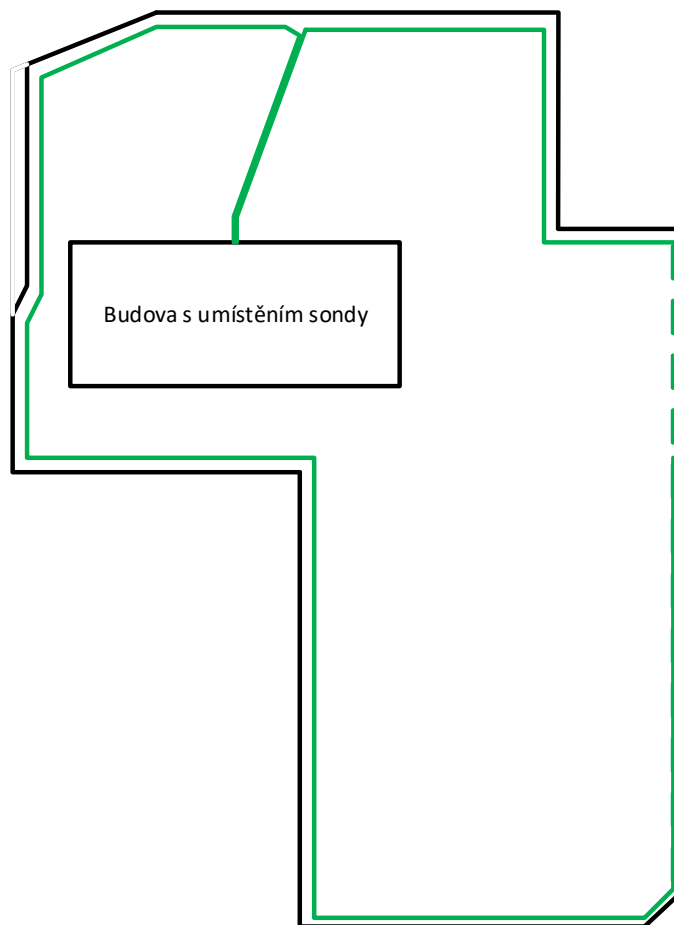
6.2.2.1 Příprava testovacího polygonu

Ve spolupráci s další společností byl v areálu vybudován testovací polygon podél celého obvodu areálu (viz obr. 6.10) v celkové délce 449 m, sestávající ze dvou různých optických kabelů:

1. Mikrokabel MiDia CT 4 vl. AW FLEX – 9/125 uložen do mikrotrubičky
2. Mini LT Flat Drop, 6 vl. AW FLEX – 9/125 uložen přímo do země

Záměrně byly použity dva různé kabely, aby bylo možné analyzovat i vliv kabelu na funkci systému. Začátek a konec obou kabelů je přiveden do stejného místa v budově společných

rozvodů a začátek a konec čtyř vláken z každého kabelu je opatřen konektory FC/APC pro připojení systému. Jednotlivá vlákna je možné použít samostatně nebo je zapojit sériově za sebou a celkovou délku reálné trasy zvýšit až na 3 592 m. Při sériovém zapojení více vláken se každá událost projeví až na 8 místech (vzdálených o 449 m) současně, což lze využít ke zvýšení spolehlivosti detekce nebo ke zvýšení počtu událostí pro trénování klasifikátoru.



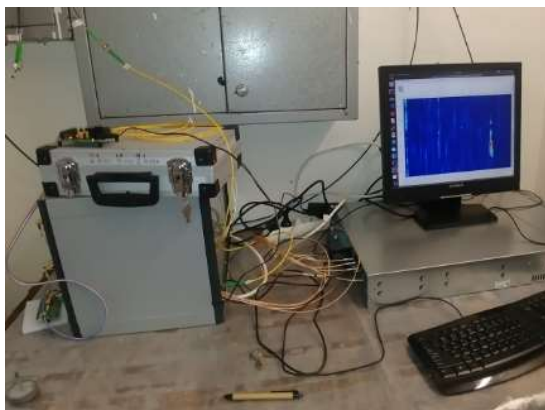
Obr. 6.10: Areál č. 2 s umístěním pokládky senzorických kabelů

6.2.2.2 Kalibrace měřicího systému

Při nasazení systému v nových podmínkách je nutné provést kromě základního ověření funkčnosti systému také kalibraci a optimalizaci systému. Zdroje vibrací totiž systém lokalizuje na základě optické vzdálenosti jejich signálu ve vláknech, zatímco uživatelé zajímá geometrická vzdálenost, resp. geografická poloha. Optická a geometrická vzdálenost se přitom mohou i významně lišit, na vinně je nepřesně stanovený index lomu (nepřímo udávající rychlost šíření závislou na materiálu vlákna a vlnové délce použitého laseru), záhyby nebo rezervní smotky vláknů podél trasy, apod.

Pro kalibraci používáme snímání úmyslně prováděných vibrací na několika místech (např. v místech změn směru vlákna, v místech očekávaných rezervních smotků, apod.). Jako nejvhodnější definovaný zdroj vibrací (a dostatečně jednoduchý na realizaci) se osvědčilo zatlukání dřevěné tyče, které představuje snadno rozpoznatelný téměř bodový a impulsní zdroj vibrací. Fotografie z průběhu této kalibrace na polygonu jsou na obr. 6.11.

Zatloukání dřevěné tyče má podobné vlastnosti jako ideální bodový zdroj impulsních vibrací, přesto se v zaznamenaném signálu projeví jisté nedokonalosti a limity systému. První zjevná vlastnost je závislost intenzity snímaného signálu na typu kabelu. Na obr. 6.12 a) je záznam signálu při zatlukání tyče pořízený na polygonu č. 2, kdy byla sériově zapojena tři vlákna kabelu Mini LT Flat Drop a tři vlákna kabelu MiDia CT. Zatloukání tyče se projeví zvýšením rozkmitu signálu (na obrázku světlé až červené oblasti) na šesti místech (ve vzdálenosti přibližně 540, 990, 1 430, 1 880, 2 320, 3 770 m) vzdálených o délku polygonu (449 m), ale první tři projevy (kabel Mini LT Flat Drop) jsou výrazně silnější než poslední tři (kabel MiDia CT). Menší citlivost kabelu MiDia CT může být způsobena menší tuhostí kabelu oproti kabelu Mini LT Flat Drop nebo uložením v mikrotrubičce, která způsobí ztlumení vibrací, oproti uložení přímo v zemi.



a)



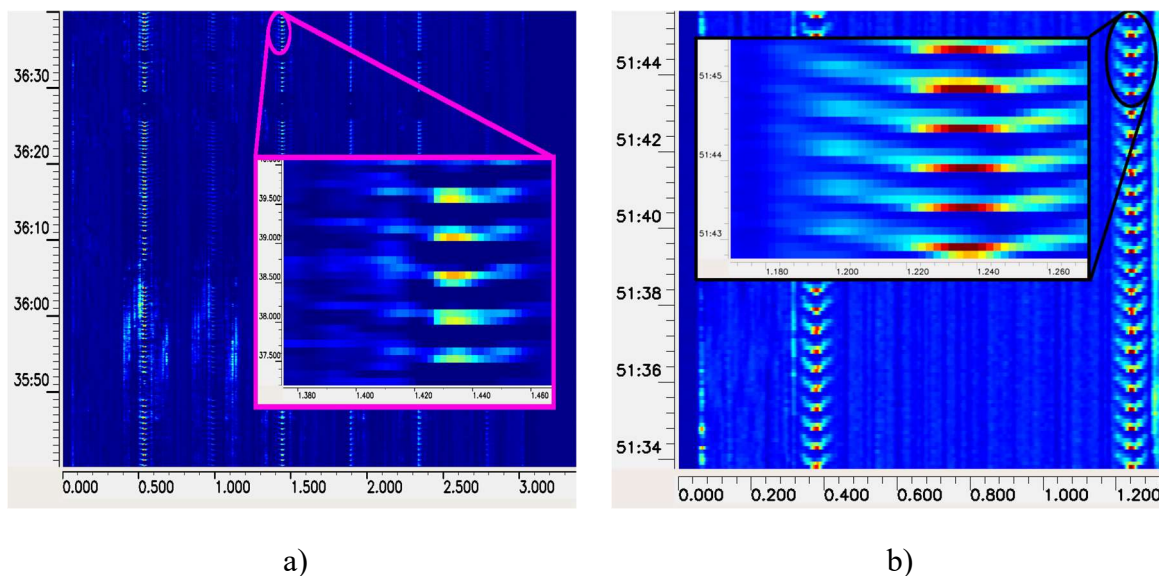
b)

Obr. 6.11: Fotografie napojení Měřicího systému na optickou trasu polygonu (a) a vytváření úmyslných vibrací v průběhu kalibrace (b)

Stejnou intenzitu nemají ale ani vzruchy z různých vláken stejného kabelu. V pořadí druhý projev ve vzdálenosti přibližně 1 km je výrazně slabší než první (ve vzdálenosti 540 m) a třetí (1 430 m). To nemůže být způsobeno klesáním intenzity signálu vlivem měrného útlumu kabelu, protože pak bychom očekávali monotónní klesání intenzity v závislosti na vzdálenosti.

6.2.3 Porovnání vlivu okolního materiálu pokládky sensorického kabelu

Ze srovnání obr. 6.12 a) a b) lze také usuzovat na vliv složení a vlastností okolní půdy, ve které je kabel uložen. Při uložení v sytké minerálně chudé zemině (regozemě) na polygonu č. 1 je na obr. 6.12 b) jasně rozpoznatelný okamžik každého úderu do tyče, ze kterého se trychtýřovitě šíří na obě strany čáry s klesající intenzitou. Tyto čáry jsou způsobeny kulovou vlnou vibrací šířící se z místa zatloukání tyče. Naopak u záznamů z polygonu č. 2 kde převládá sorpčně nasycené hlubokohumózní půdy (černozemě), je většina energie soustředěna v místě zatloukání tyče (viz obr. 6.12a). Trychtýřovitě se rozbíhající čáry jsou méně rozpoznatelné a rychleji zatlumené než v prvním případě.

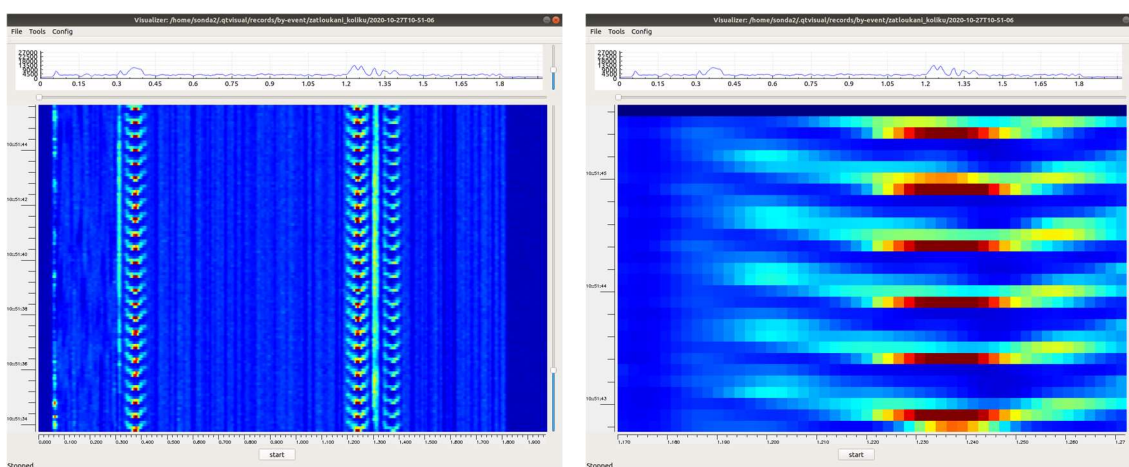


Obr. 6.12: Záznam signálu zatloukání kůlu (na vodorovné ose optická vzdálenost v kilometrech, na svislé čas v minutách a sekundách) snímaného kabelem v černozemi (a) nebo v regozemi (b)

Odlíšné projevy událostí stejného typu v závislosti na podmínkách uložení kabelu klade zvýšené nároky na pořizování záznamů pro trénování klasifikátoru. Trénovací záznamy by měly být ideálně pořizovány pro různé podmínky uložení (složení půdy, chránička, apod.) a různé povětrnostní podmínky (vliv může mít i vlhkost půdy, zmrznutí půdy, apod.). To je ale samozřejmě velmi náročné a zdoluhavé, takže návrh a vývoj zcela univerzálního klasifikátoru je téměř nemožný. Při nasazení u nového uživatele bude nutné systém a zejména klasifikátor přizpůsobit konkrétním podmínkám.

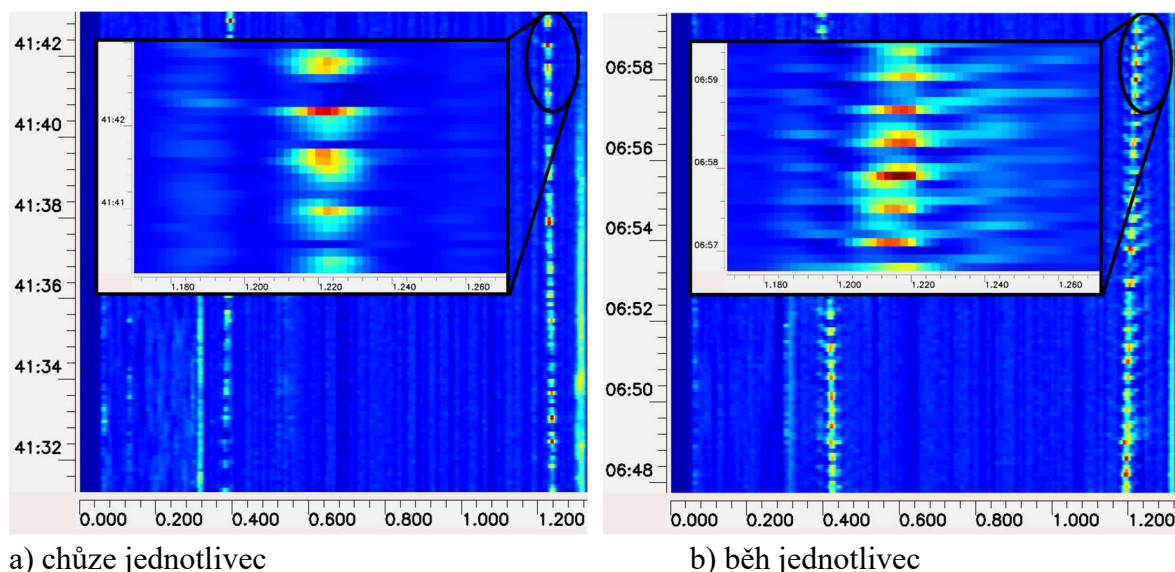
6.2.4 Testování a rozpoznání událostí

V případě bodového impulsního zdroje vibrací, jako je např. zatlukání kůlu či kopání do země, lze jednotlivé údery snadno detekovat. Z bodu zdroje vibrací se navíc šíří kulová vlna, která se ve waterfallu projeví detekcemi ve tvaru písmene “V” rozšiřujícího se od místa zdroje vibrací na obě strany – ke konci i k začátku vlákna.



Obr. 6.13: Ukázka snímání zatlukání kolíku do země v blízkosti senzorského kabelu

Podobně v případě vibrací způsobených člověkem kráčejícím podél vlákna lze detekovat jednotlivé kroky. Ve waterfallu však při normální chůzi není patrné trychtýřovité šíření kulové vlny ani není většina energie soustředěna do jediného bodu v prostoru a čase. Je to patrně způsobeno tím, že došlápnutí trvá mnohem delší dobu než úder a díky větší ploše podrážky je tlak rozložen i do větší plochy. Celková energie detekovaného signálu tak není soustředěna do jednoho okamžiku a místa ale rozprostřena do větší plochy.



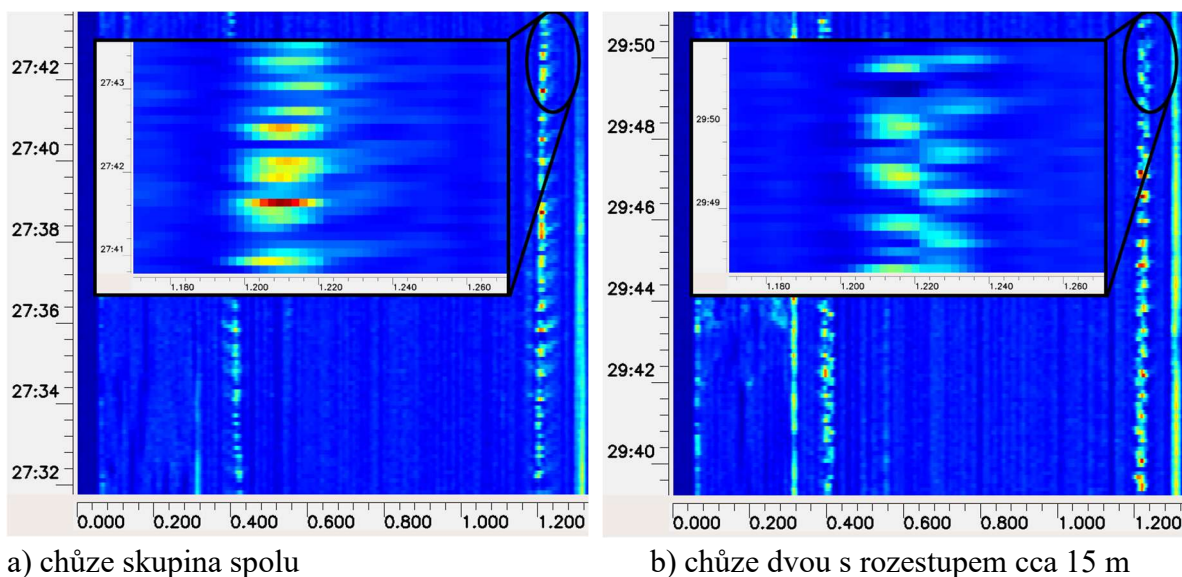
a) chůze jednotlivce

b) běh jednotlivce

Obr. 6.14: Snímání pohybu jednotlivce (chůze a běh)

U běhu, viz Obr. 6.14 b) je energie nárazu na zem již větší než u chůze, takže na obrázku lze vidět stopu tvaru písmene „V“, respektive „J“, případně jeho zrcadlového obrazu, z čehož lze usuzovat na směr pohybu běžící osoby. Toto by však vyžadovalo další testování, neboť každý člověk běží trochu jinak a bude záležet i na typu podloží.

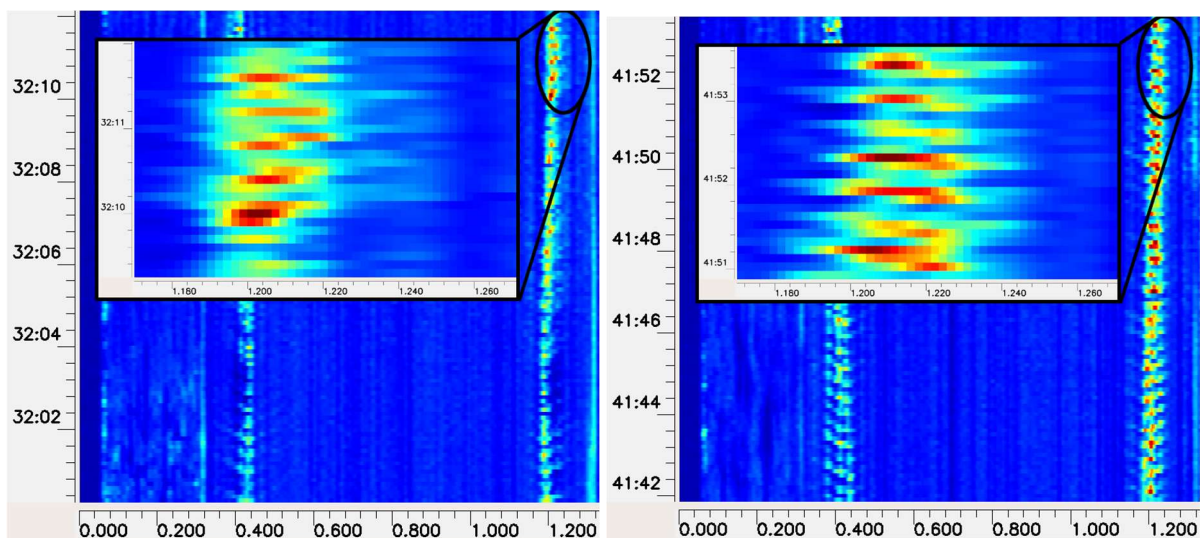
Osoby v blízkosti sensorické trasy se mohou vyskytovat ve skupinách, kde jednotlivé osoby mohou od sebe být různě vzdáleny, což komplikuje klasifikaci. Chůze a běh dvou osob v odstupu menším a větším, než je rozlišovací schopnost sensorického systému (byla nastavena na 10 m) jsou zachyceny na Obr. 6.15 a Obr. 6.16. Z obrázků s osobami s větším odstupem lze spatřit rozdílné úrovně projevu (signálu), což může poukazovat buď na rozdílné hmotnosti osob či různé vzdálenosti od sensorické trasy.



a) chůze skupina spolu

b) chůze dvou s rozestupem cca 15 m

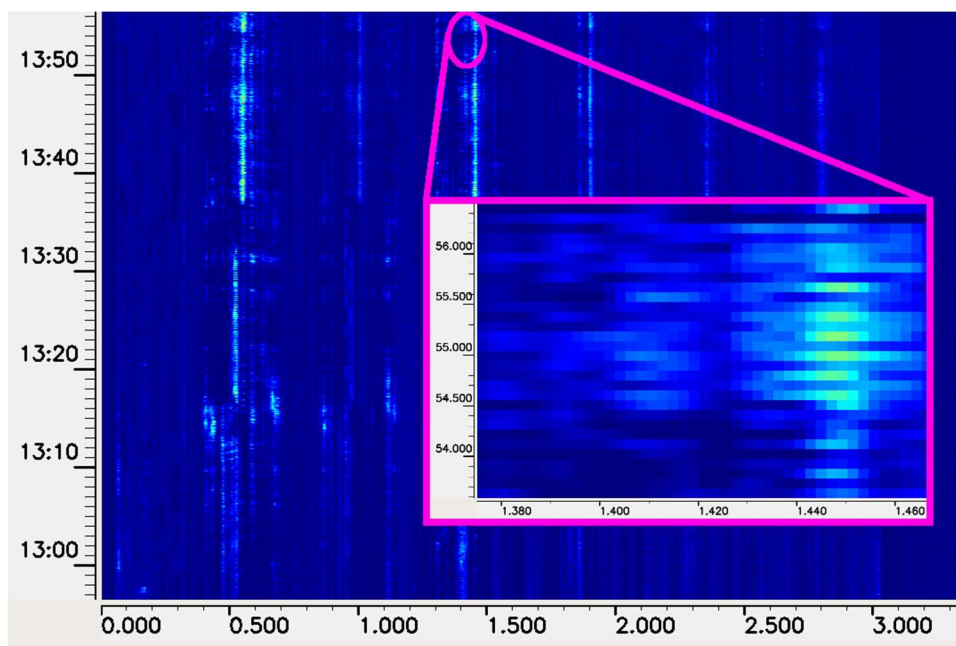
Obr. 6.15: Snímání chůze dvou osob (s minimální vzdáleností od sebe a s odstupem)



a) běh skupina spolu s minimálním odstupem b) běh skupina (dvojice) s rozestupem cca 14 m

Obr. 6.16: Snímání běhu dvou osob (s minimální vzdáleností od sebe a s odstupem)

V dalším scénáři byl simulován pokus o překonání plotu tak, že figurant cloumal plotem. V tomto případě je signál slabší, což může být způsobeno tím, že tlak způsobený vibracemi se nepřenáší na kabel přes půdu, ale vibrace nejprve rozkmitají sloupky plotu a ty teprve přes půdu působí na kabel, resp. vlákno. Nicméně prvotní pokusy naznačují, že by pokus o překonání plotu bylo možné také detekovat, viz Obr. 6.17.



Obr. 6.17: Záznam signálu snímaného při cloumání plotem

7 ZHODNOCENÍ

Byl navržen, realizován i v reálném nasazení ověřen funkční vzorek optické sondy středního dosahu, která je součástí komplexního systému dohledu nad rozsáhlými strukturami typu liniové stavby či perimetry oblastí. Systém je škálovatelný, a navíc umožňuje předávat informace do nadřazeného dohledového systému vlastníka infrastruktury.