

## **Bezpečnostní technologie pro ochranu perimetru**

Ivo REBENDA, Vladimír DUDYCHA, Vojtěch HAVLÍČEK

Z.L.D. spol. s r.o., Praha

Sokolská 22, Praha 2, 120 00 Praha 2

[ivo.rebenda@zld.cz](mailto:ivo.rebenda@zld.cz), [vladimir.dudycha@zld.cz](mailto:vladimir.dudycha@zld.cz), [vojtech.havlicek@zld.cz](mailto:vojtech.havlicek@zld.cz)

*Abstrakt:* Představení řešení výzkumu, vývoje, testování a možnosti použití nového způsobu detekce narušení vymezeného, v některých případech i nevymezeného perimetru. Pro dosažení stanoveného cíle se využívá zařízení FG3000, které novým způsobem aplikuje kvalitní seismické detektory, akcelerometry a další elektroniku. Provádí detekci a lokalizaci mechanických vzruchů, analyzuje detekované vibrace způsobené možným pokusem o narušení či překonání perimetru. V principu jde o zachycení alespoň dvou signálů (vzruchů), které jsou lokalizovány a zpracovávány s přednostním využitím Fourierových a vlnkových transformací (wavelet transform). Uskutečňuje rozpoznávací a porovnávací kroky, které umožňují lokalizovat místo a čas narušení. To vše ve spojení se sofistikovaným integračním řešením dalších bezpečnostních prvků a systémů vytváří novou moderní platformu ochrany perimetru.

*Klíčová slova:* Perimetr, Detekce, Analýza, Adaptivní algoritmus, Vyhodnocení korelací, Integrace

### **1 Perimetrická ochrana a její limity**

V oblasti ochrany kritické infrastruktury, ochrany zdraví, života a majetku jsou stále více používány sofistikované technologicko psychologické prostředky, které mají za cíl nejen zajišťovat včasnou detekci a sledování osob a narušitelů ve vymezeném i nevymezeném prostoru. Velmi častou úlohou je současné odrazení potenciálního pachatele od úmyslu narušit, překonat, poškodit, zcizit, apod. Bohužel většina dostupných technologií buďto není schopna splnit vzrůstající nároky na kvalitu zabezpečení, anebo jsou příliš náročné z hlediska pořizovací ceny nebo provozních nákladů. Navíc, častou nevýhodou většiny takových systémů je malý dosah a tedy nutnost velkého počtu detekčních a vyhodnocovacích prvků, velká citlivost na okolní podmínky, velká energetická náročnost. U aktivních systémů pak další nevýhodou bývá nutnost vysílání vlastního signálu, což usnadňuje odhalení a rušení detektoru/čidla, závislost na charakteristickém průběhu vzruchu konkrétních zdrojů, nižší odolnost proti rušení, možnost zmatení systému umělou simulací naučené vlny, a další.

Jako značně účinné a tedy velmi rozšířené jsou detektory založené na snímání vibrací přímo z fyzické bariéry. Sem patří například mikrofonní kabely, které převádí mechanické vzruchy kdekoliv po jejich délce na elektrické signály. Ty jsou následně zpracovány vyhodnocovací elektronikou. Výhodou je nízká cena a snadná montáž, nevýhodou však je omezená možnost lokalizace přesného místa narušení.

Další rozšířenou variantou je instalace otřesového čidla na jednotlivé plotové dílce. Zde určení přesného místa narušení problém nečiní, ale vyžadují značný počet čidel a mnohdy náročnou instalaci i údržbu.

Stručně naznačené problémy bylo snahou eliminovat posledním projektem výzkumu, vývoje a inovací za účelové podpory Ministerstva vnitra ČR, ukončeného v závěru roku 2012. Jednalo se o Projekt: „Ochrana hraničního polygonu perimetru prostřednictvím analýzy geoakustických vln – VG20102012058“, kde primární výstup tvoří nový elektronický detekční prvek fyzické ochrany perimetru s pracovním označením FG3000.

#### **1.1 Podstata nového řešení**

Vlastní článek má za cíl stručně popsat cíl a způsob řešení FG3000 a jeho vliv na vznik nového systému ochrany objektu s vymezeným perimetrem, ve specifických případech i objektu s nevymezeným perimetrem.

Primárním cílem projektu bylo dosažení spolehlivé detekce a lokalizace místa narušení s co nejnižším počtem použitých čidel. Šlo o zajištění možnosti realizovat ekonomicky rentabilní a spolehlivé systémy perimetrické ochrany s minimálními nároky na instalaci a údržbu.

Srdce snímacího prvku tvoří micro-seismické senzory pracující v pásmu 0 - 40Hz doplněné o snímací a přenosovou elektroniku a autonomní zdroj napájení. Tyto nové prvky jsou umístěny

v odstupech několika desítek metrů po obvodu hraniční bariéry. Vyhodnocení využívá časových charakteristik mechanického vlnění šířícího se bariérou.

Principem nového řešení je rozmístění snímačů vibrací na vhodných místech fyzické bariéry vymežující hlídaný prostor, přičemž je určena vzájemná poloha těchto snímačů vibrací a stanoveno pole snímačů vibrací. Každý snímač je spojen s blokem pro úpravu signálu, který mimo jiné zajišťuje zesílení získaných signálů v požadovaném frekvenčním pásmu, a dále jsou signály vedeny do bloku pro digitalizaci, kde se provádí jejich převod z analogové na digitální formu. Pro další číslicové zpracování se signály vedou do bloku digitální filtrace, kde se zbavují nežádoucích artefaktů, kterými jsou například stejnosměrný posun, rušení od elektrických rozvodů a jiná rušení elektronického původu. Dále se zpracované signály vedou do bloku pro výpočet korelací, kde je pro každý úsek bariéry vypočtena celková úroveň vzájemné korelace signálů získaných z každého snímače vibrací nebo z každého pole snímačů vibrací.

Pro řešení relativně rychle ověřitelné v praxi bylo použito dvou metod a to předně tzv. Maticového algoritmu, kdy úroveň aktivace čidel se rozpočítává na jednotlivé zóny a místem napadení je zóna s nejvyšší mírou aktivace. Koeficienty pro rozpočítání ale nejsou stanoveny na základě vzdáleností, nýbrž jsou určeny maticí spočítanou na základě cvičné/uměle definované datové sady.

Následně byl řešen i tzv. Lineární algoritmus, kdy tento algoritmus počítá místo napadení jako poměr mezi aktivací nejvíce vybuzeného čidla s aktivací jeho více vybuzeného souseda. Stejně jako u předchozích algoritmů, napadení je vyhodnoceno pouze v případě, že úroveň aktivace překročí prahovou hodnotu.

Již v této fázi aplikovaného výzkumu prokazatelně docházelo jednak ke kompenzaci účinků větru na základě informací zjištěných z další sady čidel, jednak k zohlednění odlišných charakteristik (různých homogenit) plotu v konkrétních částech perimetru.

Vzhledem k tomu, že vzájemná poloha snímačů vibrací je v konkrétní instalaci stálá, bylo možné časy z důvodu úspory výpočetního času i výkonů vypočítat předem a uložit do tabulky pro provádění následných výpočtů. Pro každý úsek fyzické části perimetru tak byla vypočtena doba, kterou vibrace potřebuje k překonání vzdálenosti z daného bodu narušení ke každému snímači jako podíl vzdálenosti a rychlosti šíření vzruchu. Pro vlastní výpočet místa (bodu) narušení perimetru tak mohla být uvažována

korelační mapa, jejíž výpočet tvoří základní předpoklad budoucího souřadnicového určení polohy – místa narušení.

Algoritmus popisovaného řešení pak byl ověřován v několika verzích SW (firmware), kdy byly laděny možnosti modifikací, zajišťující, aby mohl systém pracovat v režimu senzor, router nebo koncentrátor. Velkou výhodou stávajícího řešení projektu bylo, že použité komponenty čidla jsou běžně komerčně dostupné, takže lze konkrétní realizaci v některých detailech obměňovat, a to podle možnosti použití čidla, jeho umístění a v neposlední řadě dle bezpečnostních požadavků v závislosti na finančních možnostech investora.

## 1.2 Konfigurace FG3000

Projektem definovaná aparatura (ověřovací vzor) může obsahovat jak volitelné části, tak i přidružené periferie, které mohou významně zvýšit komfort a v konečném důsledku spolehlivost provozu FG3000. Důležitým prvkem pro menší náchylnost na poruchy pronikající z elektrické sítě je záložní zdroj napájení (UPS). K prvkům zvyšující komfort obsluhy patří externí konfigurační, on-line spojení s vyhodnocovacím centrem (LAN, telefonní linka), GSM modem nebo ovládací prvky jako standardní/optické bezdrátové klávesnice, myš. V současné době se uvažuje i o mnohých dalších perifériích.

## 1.3 Senzorová síť

Senzorový systém se skládá ze tří základních prvků – čidla, routery a koncentrátor.

**Čidlo** je již od počátku koncipováno jako samostatný bezdrátový senzor napájený z baterie. Zařízení se připojuje do zabezpečené bezdrátové MESH sítě, postavené na komunikačním protokolu dle standardu IEEE 802.15.4.

Jednotlivé prvky sestavené do bezdrátové MESH sítě, komunikují s řídicím prvkem nazývaným koncentrátor.

**Koncentrátor** se funkčně skládá z:

- **Koordinátor** – vytváří, řídí a udržuje MESH síť v provozu.
- **Výpočetní jednotka** místa narušení – přijímá předzpracovaná data z jednotlivých prvků a provádí finální výpočet zóny, kde došlo k narušení perimetru.
- **EZS ústředna** – umožňuje připojení k PCO, jiné EZS ústředně, ovládání světel/kamer, propojení s integrační nadstavbou Peggy II.

Dále se stará o komunikaci s okolím, k čemuž může využívat rozhraní Ethernet, RS232, nebo RS485.

Dosah sítě je možné dále zvyšovat pomocí tzv. hopů, k čemuž slouží prvky – **routery**. Jedná se o retranslační prvek, který i přes minimální odběr musí být napájen ze sítě a zvyšuje dosah bezdrátové sítě.

#### 1.4 Zvláštnosti nové filozofie bezpečnosti

Hlavní předností je proti současným EZS, které standardně vyhodnocuje pouze narušení ochrany, reakce systému na tzv. „prealarm“. Jedná se o zvýšenou hladinu vzruchu, kdy ještě nedochází k narušení perimetru. Systém na tuto hladinu reaguje automaticky natočením PTZ kamer na místo narušení, zapnutí infra přísvitu u CCTV kamer v případě špatné viditelnosti, informování PCO, atp. Standardně PCO reaguje na alarm výjezdem či konzultací s vlastníkem. Naproti tomu s využitím FG3000 a systému PEGGY II se pracoviště PCO rozšiřuje pouze o jednu monitorovací jednotku (monitorovací stěnu), kde není limitem počet zobrazovacích jednotek – monitorů, ale možnost ihned zobrazit obraz místa, kde došlo ke zvýšení vzruchu na mez alarmu – otevřením tzv. alarmového okna. Tento systém je značně efektivní, avšak vyžaduje změnu v myšlení pracovníků PCO a všech bezpečnostních a zásahových složek i vlastníků. Zásadní změnou tedy je prvotní verifikace události a až dle situace organizují účinná opatření, popřípadě zásah proti narušiteli. Značnou výhodou je rychlost vyhodnocení události a úleva od nadměrné zátěže neefektivního sledování kamer, na kterých nedochází k záznamu útoku ani jiného důvodu záznamu zvýšené aktivity systému.

## 2 Fyzikální principy

### 2.1 Základní princip detekce

Základní princip je založen na sledování a vyhodnocení seismických vln. Seismické vlny se rozdělují na tyto základní typy:

- Podélné (P-vlny) – nejrychlejší vlny, šíří se na akustickém principu – materiál stlačují a rozpínají
- Příčné (S-vlny) – materiál rozkmitají kolmo k ose, nemohou procházet kapalinami
- Povrchové (Rayleighovy a Loveovy vlny) – jedná se o nejpomalejší seismické vlny

Pro účely detekce využíváme kombinaci podélného a povrchového seismického vlnění, získaného skrz senzory typu geofon a akcelerometr.[2]

### 2.2 Výhody využití seismické detekce

Vyhodnocování narušení na základě seismických signálů má vůči dosud běžně používaným metodám

nezpochybnitelnou výhodu v zaznamenání narušitele v předstihu, dříve než dojde k narušení střeženého objektu/perimetru. Tuto výhodu lze využít například k natočení PTZ kamer na předpokládané místo narušení, zapnutí infra přísvitu v noci, ještě před skutečným narušením střeženého objektu. Tím může být bez zbytečného prodlení zajištěn obrazový záznam, jako důkazní prostředek, od samého počátku aktu narušení.

## 3 Zpracování signálu

Zpracování seismického signálu probíhá na 2 úrovních:

- Senzor provede číslicovou filtraci a základní analýzu signálu
- Koncentrátor zpracuje přijatá data a provede následující transformace

### 3.1 Fourierovy vs. Wavelet transformace

Pro řešení nového typu senzoru, jak bylo naznačeno úvodem, bylo zkoumáno více principů a možností vyhodnocení detekovatelných signálů na úrovni velmi dlouhých vln. V rámci aplikovaného výzkumu pak byl značný důraz kladen na analýzu nestacionárních signálů.

Výzkum potvrdil, že sice lze použít Fourierovy transformace (po dlouhou dobu se vyvíjela a zlepšovala), ale s ohledem na nevýhody, respektive pro zanedbání dynamické časové závislosti signálu, se jeví využitelnější pro zpracování stacionárního signálu.

Pro analýzu seismických, tedy nestacionárních signálů, se pak jeví jako výhodnější vlnková transformace (wavelet transformace). Analýza signálu postavená na wavelet transformaci se ve světě využívá od komprese dat přes zpracování signálů až po detekci ponorek nebo letadel, proč ji tedy nezkusit i v našem případě! Důvod a hlavní přednost wavelet transformace spočívá v malém rozměru „vlnky“ (oproti sinusoidě Fourierovy transformace) a v možnosti realizovat časové x frekvenční rozlišení. Teorie vychází ze základní "mother wavelet"  $\psi(t)$ , která je definována jako:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$$

Parametr  $a$  určuje stupeň komprese, parametr  $b$  určuje časové vlastnosti signálu. Z tohoto předpisu je patrné, že zmíněné vlnky mají časové šířky přizpůsobeny jejím frekvencím, což tvoří hlavní

důvod pro použití této metody v našem případě zkoumání seismických dat. [1]

### 3.2 Patentová přihláška

Vzhledem k úspěšnému zpracování detekovaných signálů bylo možné realizovat sofistikovaný systém detekce a lokalizace mechanických vzruchů, využívající analýzu vibrací bariéry ohraničující perimetr způsobených možným pokusem o její narušení či překonání. Způsob lokalizace narušení perimetru pak byl autorem přihlášen jako vynález u Úřadu průmyslového vlastnictví. Nejdůležitějším momentem je rozpoznávací krok, v jehož průběhu se zachycené signály porovnávají navzájem. Pro každý vhodně zvolený úsek bariéry se vypočítá úroveň vzájemné korelace signálů získaných z jednotlivých snímačů vibrací nebo z každého pole snímačů vibrací. Hodnoty korelací v takto získaných korelacích odpovídají úrovni vibrací vznikajících v daném vyhodnocovaném úseku.

Hodnota korelace v daném bodě je dána funkcí:

$$K(x) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N C_{ij}(t_{ij})$$

Kde:

x	je poloha zóny na bariéře
N	je počet snímačů
$C_{ij}(t)$	je vzájemná korelace kanálů i a j s časovým odstupem t

Získané korelace jsou automaticky vyhodnocovány adaptivním algoritmem, který na základě úrovně vibrací rozložených po bariéře a jejich umístění, umožňuje vyhodnotit počet a povahu potenciálních narušení vznikajících ve sledovaných oblastech.

Následně je situace posuzována na základě údajů získaných při vyhodnocení, kdy jejich srovnáním s definovanými podmínkami může systém vyhodnotit závažnost sledované situace a vyvolat odpovídající reakci, jako například:

- Vyvolání poplachu
- Vyvolání varování
- Upozornění obsluhy
- Zahájení záznamu
- Předání informací nadřazenému systému
- Atd.

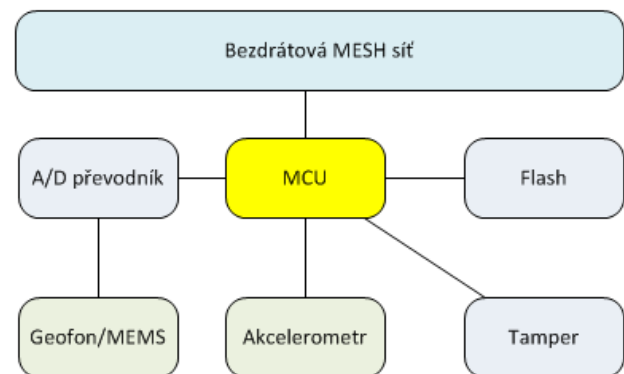
## 4 Hlavní principy nového systému postaveného na principu FG3000

### 4.1 Základní principy práce dohledového centra / PCO

- Jednoduchost
- Sofistikovanost
- Akceschopnost
- Komplexní integrace
- Dostupnost
- Spolehlivost

### 4.2 Popis hlavních prvků nového systému

Čidlo – FG3000 je zařízením, které je již od počátku koncipováno jako samostatný bezdrátový senzor napájený z baterie.

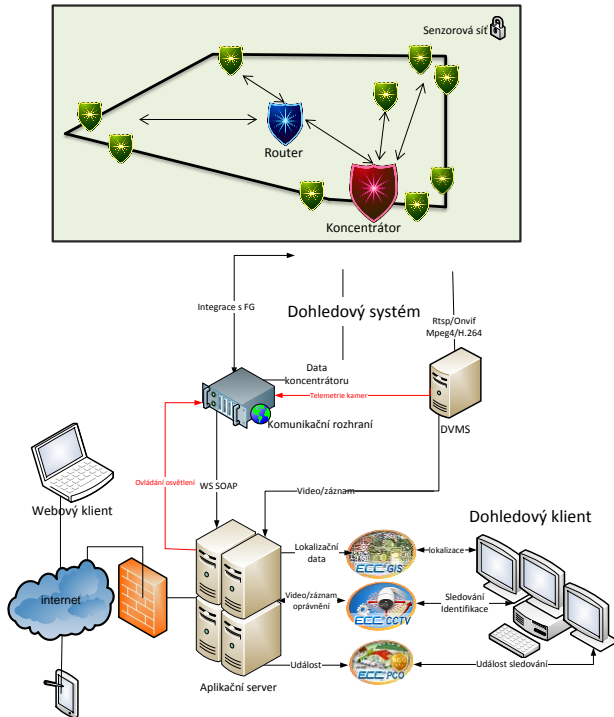


Obr. 1 Blokové schéma zařízení FG3000

Čidlo zajišťuje sběr dat z pozorovaného místa, následnou digitalizaci hodnot a v neposlední řadě provádí číslicovou filtraci získaných dat. Poté s daty provede základní analýzu signálu a odešle výsledky skrze bezdrátovou síť do koncentrátoru.

### 4.3 Schéma komplexního řešení zabezpečení

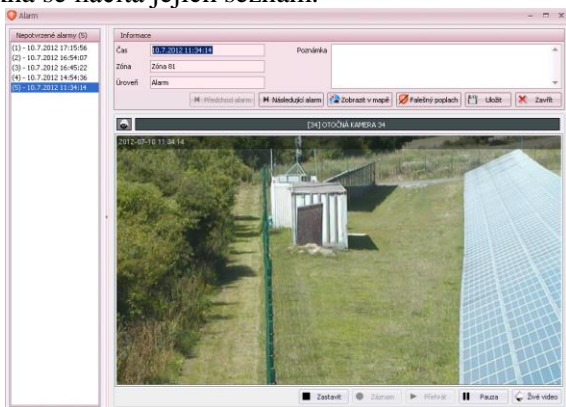
Systém je založen na diverzifikované struktuře přístupu k informacím pomocí mobilního, webového a desktopového klienta, přistupujícího k aplikačním serverům systému a databázi. Systém spolupracuje se standardními pulty PCO, na které odesílá požadované informace.



Obr. 2 Schéma komplexního řešení zabezpečení

#### 4.4 Alarmové okno

Software „Alarmové okno“ je aplikace standardně běžící na pozadí systému. V okamžiku narušení perimetru se vizualizuje okno, kde dominantním prvkem je videozáznam z kamery, která vidí na místo narušení. Nad záznamem z kamery je zobrazen čas narušení, zóna, úroveň narušení a prostor k vlastní poznámce. K dispozici je tlačítko „Zobrazit v mapě“, které přesměruje na GIS se zaměřením pozice místa narušení. Pokud je vyvolaných poplachů více, v levé části Alarmového okna se načítá jejich seznam.



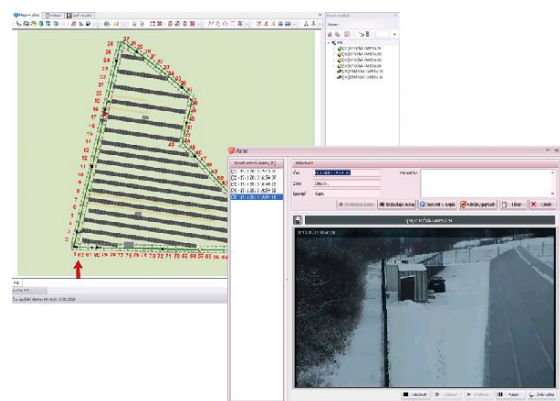
Obr. 3. Alarmové okno

Výhodou tohoto uspořádání je nejen okamžitý přehled o bezpečnostní situaci na chráněném objektu a jeho perimetru, ale i možnost okamžitě řešit jednotlivé události.

#### 4.5 Dohledové aplikace

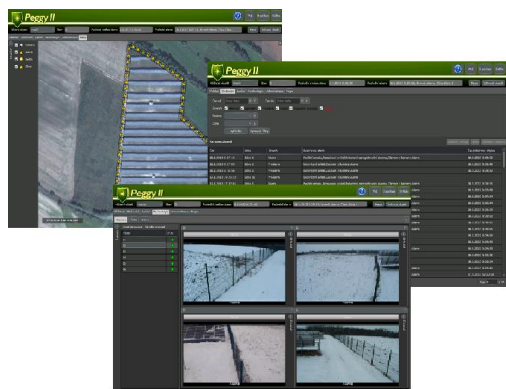
Dohledový systém umožňuje zpracování a využití informací získaných z dohledových čidel a poskytnutých koncentrátoru pro identifikaci a řešení bezpečnostních událostí na střežených objektech. Dohledový systém využívá systémové komunikační infrastruktury, po které zajišťuje spolupráci jednotlivých částí fyzické architektury systému. Zprostředkovává výměnu informací mezi aplikačními servery jednotlivých modulů a klienty, vizualizuje tyto informace v příslušných uživatelských rozhraních. Dohledový systém umožňuje zpracovat data všech úrovní bezpečnostních incidentů a zajišťuje komplexní využití integrovaných technologií, které verifikují úroveň alarmů vyžadujících zákrok.

Klientské pracoviště má tři úrovně: dohledového, webového a mobilního klienta. Dohledový klient poskytuje základní grafická uživatelská rozhraní pro ovládání dohledového systému, zpracování událostí (alarmů), jejich historie včetně tiskových a grafických výstupů. Klient je schopen zabezpečit přímý monitoring nad bezpečností střeženého objektu, nebo zpracování informací pro standardní centrální bezpečnostní dispečinku pultu centrální ochrany objektů, který řídí výjezdovou bezpečnostní službu. Komplexní technologická integrace řeší lokalizace událostí v modulu GIS, zpřístupnění videosignálu a záznamu z kamer modulu CCTV a vizualizaci stavu události či její historie v dohledovém rozhraní. Dohledový systém provádí také příslušné komunikační úlohy k událostem.



Obr. 4 Dohledový klient

Webový klient obsahuje plné funkce dohledového klienta a umožňuje celkové nastavení systému. Klient je po autorizaci uživatele dostupný z jakéhokoliv PC prostřednictvím webového prohlížeče.



Obr. 5 Webový klient

Mobilní klient poskytuje uživateli vybrané služby dohledového systému z mobilních zařízení typu iPhone.



Obr. 6 Mobilní klient

## 5 Závěry a přínosy

V tomto článku jsme se stručně seznámili s problematikou zabezpečení perimetrů a s možnostmi technologických inovací bezpečnostního systému s využitím senzoru nového typu – zařízení FG3000. Bylo naznačeno uspořádání a fyzické rozhraní bezdrátové sítě, popsána činnost jednotlivých prvků a rovněž provedeno stručné seznámení s principem zpracování dat. Cílem pak bylo, vedle všeho uvedeného, zdůraznit, že jednotlivé zařízení/prvek není a nemůže být samo spásný. Naopak máme potřebu zdůraznit, že na úrovni softwarové nadstavby zde byla zmíněna většina klíčových klientů, jejich princip, využití a možnosti včetně popisu uživatelského rozhraní.

Z výše uvedených fakt jsou zde zřejmé některé základní výhody zabezpečovacího systému využívajícího FG 3000 oproti klasickému pojetí perimetrické ochrany. Díky typu zpracovávaného

signálu je zde, oproti předchozím systémům, snížena potřeba počtu dohledových prvků. I při nízkém počtu zařízení je zajištěna možnost přesného určení místa narušení.

V poslední době se využití modifikované instalace FG3000 testuje a upravuje pro možnost využití k ochraně nevymezeného perimetru s vysokou mírou členitosti terénu.

### 5.1 Přínosy systému

Nasazení systému řeší

- Ochranu rozsáhlých, ve specifických případech i neoplocených, areálů
- Opakované útoky na střežené objekty
- Ochranu lesů, sadů, zahradnictví a polí
- Ochranu vozidel na parkovacích plochách
- Ochranu areálů pískoven, šterkoven, cementáren
- Ochranu skladů a sběrů druhotných surovin
- Snížení počtu nebo nahrazení ostrahy

### 5.2 Očekávaný vývoj

Princip mikrosezismického čidla a typ získaných dat předurčuje tento systém k dalšímu vývoji v oblasti zpracování získaného signálu. V současné době směřuje testování zpracování signálu k odlišení jednotlivých typů seismických vln a využití jejich charakteristických vlastností k určení místa a zdroje vzniku vzruchu.

Reference:

- [1] M. Sifuzzaman, M.R. Islam, M.Z. Ali. *Application of wavelet transform and its advantages compared to Fourier transform*, ISSN: 0972-8791, Comilla University, 2009
- [2] Novotný Oldřich, *Seismic surface waves*, Salvado, Bahia, 1999
- [3] Dudycha Vladimír, *Analýza rizik a metod narušení a vniknutí do vojenských objektů a prostor*, Studie ve prospěch VTUE Jinonice, SOD č.: 3321/1/2002, Rok vydání 2002
- [4] Dudycha Vladimír, *Možnosti využití piezoelektrických kabelů pro řešení perimetrického zabezpečení důležitých objektů*, Studie ve prospěch VA v Brně, Objednávka č.: 25120, Rok vydání 2002
- [5] Dudycha Vladimír, *Návrh možností a optimalizace metody hodnocení efektivnosti bezpečnostních opatření pro objekty AČR*, Studie ve prospěch VTUE Jinonice, SOD č.: 3225/2/2003, Rok vydání 2003

- [6] Dudycha Vladimír, *Nová technologie perimetrické ochrany*, RESCUE report č. 5/2012, XV. ročník, reg.číslo: MK ČR 7905, strana 10 – 11, ISSN 1212-0456, Rok vydání 2012
- [7] Patent – Přihláška vynálezu ev.č.: PV2013-213, Rok přihlášení 2013