

OSOBNÍ DOHLEDOVÝ SYSTÉM URČENÝ PRO ZVÝŠENÍ BEZPEČNOSTI A AKCESCHOPNOSTI SLOŽEK INTEGROVANÉHO ZÁCHRANNÉHO SYSTÉMU

PERSONAL MONITORING SYSTEM DESIGNED TO IMPROVE THE SAFETY AND AGILITY OF THE INTEGRATED RESCUE SYSTEM

Tomáš Veselý^a, Lukáš Kučera^a, Martin Vítězník^a, Pavel Smrčka^a, Zdeněk Hon^{a*}, Martin Staněk^a

^a ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, Česká republika

*Korespondující autor. e-mail: zdenek.hon@fbmi.cvut.cz, tel.: +420 224 359 899

Abstrakt

Příspěvek shrnuje průběžné výsledky výzkumu a vývoje systému, který je zaměřen na zvýšení bezpečnosti zasahujících složek integrovaného záchranného systému při řešení mimořádné události či krizové situace a na podporu jejich výcviku. Příslušníci především základních složek integrovaného záchranného systému jsou ve své práci vystaveni značnému fyzickému a psychickému zatížení. Nadměrný stres a únava, nejenom že přímo ohrožují jejich zdraví, ale mohou negativně ovlivnit okamžitou schopnost rychle a správně se rozhodnout v kritické situaci. Perspektivní možností, jak těmto situacím předcházet, jsou osobní dohledové systémy, které monitorují a v reálném čase automaticky vyhodnocují vybrané fyziologické parametry snímané z těla v kombinaci s parametry z okolního prostředí.

Klíčová slova: dohledový systém, monitorování, integrovaný záchranný systém

Abstract

The article summarizes ongoing results of the research and development of a system focused on enhancing the safety of teams participating in the integrated rescue system managing extraordinary events or crisis situations, and on the support in the course of training. Primarily members of the basic components of the Integrated Rescue System are exposed to considerable physical and psychological burdens. Excessive stress and fatigue, not only directly threatens their health, but can also negatively affect their immediate ability to quickly and accurately make decisions in critical situations. Perspective ways such situations to some extent can be prevented are with personal surveillance systems which monitor in real time and automatically evaluate selected physiological parameters sensed from the body in combination with parameters of the environment.

Key words: Surveillance system, Monitoring, Integrated Rescue System

1. ÚVOD

Příslušníci základních složek integrovaného záchranného systému (IZS), stejně tak jako členové některých vojenských jednotek či operátoři složitých technických zařízení (řízení letového provozu, operátoři jaderných elektráren, piloti apod.), jsou ve své práci vystaveni značnému fyzickému a psychickému zatížení. Nadměrný stres a únava, zejména při dlouhodobé a pravidelné expozici, nejenom že přímo ohrožují jejich zdraví, ale mohou negativně ovlivnit okamžitou schopnost rychle a správně se rozhodnout v kritické situaci. Ne vždy je možné těmto rizikovým stavům dokonale předcházet vhodnou organizací práce či použitím relaxačních technik. Procesy zejména u Armády ČR, ale také u některých složek IZS, jsou často tradičně nastaveny nad dlouhodobě fyziologicky únosné hranici člověka a až v posledních letech se začíná uvažovat o následcích. Povolání vykoupená bolestí a potom si po relativně krátké profesní kariéře berou daň na tělesných schránkách v podobě izolovaných fyzických či psychických potíží až po syndrom vyhoření.

Jednou z perspektivních možností, jak tyto situace zkoumat, monitorovat a případně jim předcházet, jsou takzvané osobní dohledové systémy, které s využitím elektroniky a dostupných informačních a komunikačních technologií monitorují a v reálném čase automaticky vyhodnocují polohu probanda a vybrané technické a případně i fyziologické parametry v kombinaci s parametry z okolního prostředí s cílem detekovat či dokonce předvídat rizikové stavy sledovaných osob. Tato nová skupina biotelemetrických systémů se ve světě etablovala v posledních několika letech právě na zakázku vojenských jednotek či hasičů. Výzkum a vývoj v této oblasti zatím probíhá živelně a na trhu se postupně objevují první reálně použitelné produkty s různými formami řešení – od jednoduchých senzorů signalizujících přehřátí či nízký tlak v kyslíkové láhvi až po experimentální systémy založené na nositelné elektronice a využívající různých variant chytrých textilií. Typickým příkladem komerčně dostupného systému určeného pro hasiče je systém Dräger PSS Merlin, který sleduje a telemetricky přenáší k veliteli zásahu informaci o zbývajícím tlaku v kyslíkových lahvích jednotlivých zasahujících. Jako zástupce skupiny systémů, jejichž účelem je lokalizace zasahujících uvnitř budov lze uvést systém LifeNet, který využívá k lokalizaci princip radiomajáků, které jsou schopné detekovat konkrétní členy týmu v jejich blízkosti a dokonce i jejich vzdálenost a polohu vůči majáku za použití ultrazvukového vysílače – díky tomu je možné hasiče lokalizovat uvnitř rozsáhlých komplexů. K zařízení mohou být připojeny i miniaturní monitory, které jsou umístěny do dýchací masky hasiče a díky nim pak může přímo zasahující hasič sledovat svou polohu a polohu svých kolegů vůči jednotlivým majákům. Toto zařízení v sobě rovněž skrývá tepelný senzor a možnost připojení dalších senzorů, například akcelerometru [6]. Zástupcem klasického a na trhu dobře zavedeného systému, zaměřeného na monitoraci fyziologických parametrů, je např. Zephyr BioHarness, který k bezpečnostní monitoraci využívá zodolněnou podobu klasického sport-testeru s hrudním pásem pro snímání tepové frekvence, doplněného o měření dechové frekvence a tělesné teploty. Tato data se jednak lokálně zaznamenávají a dále je možné je dálkově přenášet pomocí rozhraní Bluetooth. Dodávaný software umožňuje sledovat signály v reálném čase z několika monitorovaných osob.

2. VÝVOJ OSOBNÍHO DOHLEDOVÉHO SYSTÉMU

Univerzálnější systémy nové generace, které v sobě integrují možnosti monitorace technických i fyziologických veličin spolu s lokalizací osob, jsou dosud ve stádiu experimentálního vývoje. Mezi takovéto pokročilejší dohledové systémy patří také systém FlexiGuard, vyvinutý na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Systém FlexiGuard umožňuje dlouhodobé telemetrické sledování zdravotně-fyziologických parametrů a environmentálních parametrů. Umožňuje individuální i hromadný monitoring v reálném čase a všechny snímané parametry ukládá pro zpětnou analýzu trendů, reakcí i stavu probanda a to jak lokálně na osobní snímací jednotce na paměťovou kartu u každého monitorovaného jedince, tak i centrálně na vizualizační jednotce. Pracuje s osobními profily jednotlivých probandů, kdy meze jednotlivých parametrů lze individuálně nastavovat a sledovat vývoj během jednotlivých fází tréningu, akce, výcviku, zásahu apod. a studovat reakce na jednotlivé podněty psychické a fyzické zátěže. Všechny parametry lze snímat z více probandů najednou a zobrazit je ve stejné časové ose.

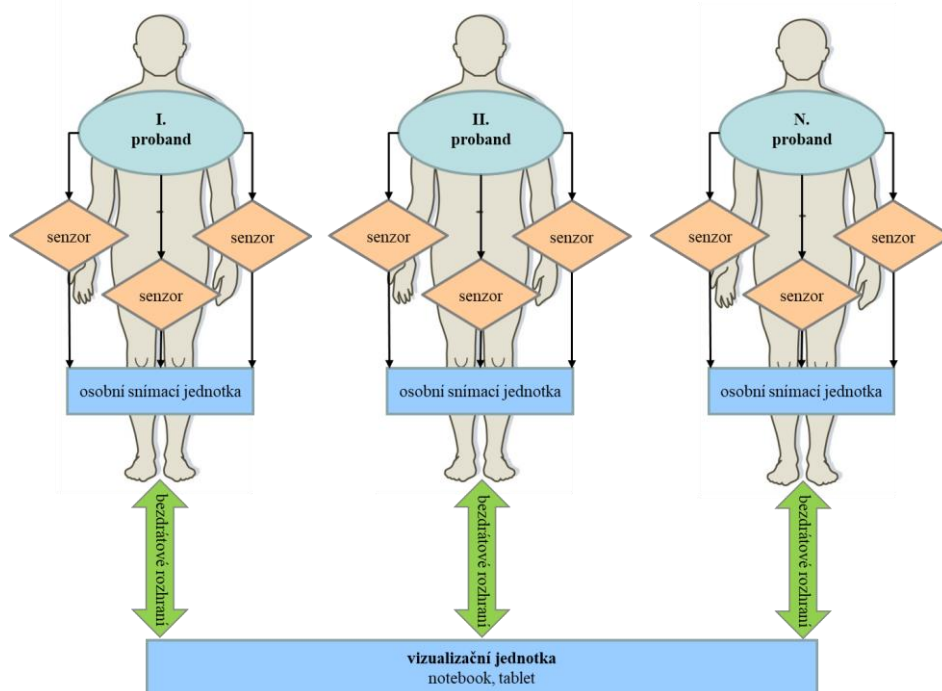
2.1 Princip fungování dohledového systému

Systém funguje na principu snímání jednotlivých veličin (tj. technické, fyziologické a environmentální) měřených na těle probanda, či v jeho těsné blízkosti. Veličiny jsou snímány pomocí sítě autonomních senzorů a signály ze senzorů (čidel) jsou v rámci takzvaného uzlu (nodu) sítě BAN (Body Area Network) digitalizovány a bezdrátově přeneseny do osobní snímací jednotky krátkodosahovým komunikačním rozhraním. Každý proband má přitom svoji vlastní osobní snímací jednotku, na kterou jsou zasílána data z příslušných autonomních senzorů. Osobní snímací jednotka je vybavena několika rozhraním (bezdrátová BAN síť, A/D převodníky) pro připojení velkého množství různých typů senzorů. Je k ní možné připojit teoreticky jakýkoliv senzor vybavený příslušným rozhraním [8].

Připojení senzorů k osobní snímací jednotce probíhá zcela automaticky. Po zapnutí senzoru a umístění v bezdrátovém dosahu jednotky jsou senzory automaticky připojeny k této jednotce. V průběhu měření je možné libovolně připojovat či odebírat jednotlivé senzory. Odpojení senzorů probíhá pouze jejich deaktivací či vzdálením mimo dosah rádiového spojení. Opětovné připojení probíhá zapnutím či vrácením do dosahu osobní snímací jednotky bez nutnosti restartu, či ovlivnění již připojených senzorů.

Z osobní snímací jednotky jsou naměřená data v reálném čase přenesena pomocí dalšího rádiového rozhraní do tzv. vizualizační jednotky. Princip propojení osobních snímacích jednotek s vizualizační jednotkou je znázorněn na obr. 1.

Obrázek 1: Princip propojení osobních snímacích jednotek s vizualizační jednotkou [4]



Vizualizační jednotkou může být například zodolněný notebook, nebo tablet s operačním systémem MS Windows, MacOS nebo GNU/Linux. Software přehledně zobrazuje parametry všech sledovaných probandů, barevně indikuje poruchy a fyziologický stav (zelená – vše v pořádku, oranžová – varování, např. překročení individuálních mezí konkrétního parametru, červená – porucha nebo významné překročení individuálních mezí). Do záznamu je možné vkládat časové značky (tagy) a detekovat stisk bezpečnostního tlačítka na osobní snímací jednotce. Mezi počítané parametry patří např. výpočet energetického výdeje probanda podle individuálně kalibrovatelného modelu, možnost sledování náklonů a přetížení těla. Výstupní data lze následně individuálně interpretovat a dle přednastavených hodnot identifikovat rizikový stav každé osoby vybavené tímto systémem.

2.2 Funkční součásti dohledového systému

Osobní snímací jednotky obsahují řídicí mikrokontrolér, rádiové komunikační rozhraní, napájecí modul a sadu základních senzorů. Celkem je možné připojit až 35 jednotek a všechny probandy současně sledovat v reálném čase. Mezi základní vestavěné senzory patří: (1) tepová frekvence s rozlišením na 1 ms, údaj je odvozený ze skutečné a medicínsky přesné EKG křivky s interní vzorkovací frekvencí 1 kHz a rozlišením AD převodníku 24 bitů, (2) dechová křivka získaná z bioimpedance hrudníku, vzorkovací frekvence 10 Hz, (3) zrychlení ve třech kolmých směrech X, Y a Z, rozsah max. +/- 8 G, zdrojovým signálem je tříosý akcelerometr, (4) tělesná teplota, rozlišení 0,1 °C, (5) teplota pod oděvem (rozlišení 0,1 °C) a (6) relativní vlhkost pod oděvem s rozlišením +/- 2 %. Jednotka dále obsahuje magnetometr, gyroskop a GPS/GLONASS modul. Vestavěný LiPol akumulátor vystačí na 30 hodin nepřetržitého provozu. Jednotka je také vybavena bezpečnostním tlačítkem, kterým může proband signalizovat změnu svého stavu. Přes lokální rádiovou síť typu BAN je možné připojit další externí senzory. K dispozici je např. senzor ionizujícího záření a doplňkové senzory teploty, zrychlení a vlhkosti, které lze umístit kamkoliv do výstroje resp. pracovního oděvu probanda. Všechny tyto měřené parametry se

nepřetržitě ukládají na vestavěnou paměťovou kartu (funkce osobní fyziologické „černé skříňky“) a dále se rádiově přenášejí do vizualizační jednotky pro velitele zásahu nebo pro vzdálený dohled a záznam např. na operační a informační středisko. Dosah telemetrie je až 2 km v otevřeném prostoru, v budově pak typicky pokrytí 3 sousedících podlaží. Zařízení je vodotěsné, potu odolné a mechanicky robustní. Při vývoji bylo testováno např. použití v protichemickém obleku.

2.3 Praktické nasazení dohledového systému

Systém se již v testovací fázi v minulých letech prakticky osvědčil při výcviku hasičů na testovacím polygonu ve Zbirohu, kde se například ukázala při reálném nasazení možnost nejen detekovat, ale i predikovat přehřátí a popáleniny. V současné době je 30 snímacích sad systému FlexiGuard využíváno na Vědeckém a servisním pracovišti tělesné výchovy a sportu, p.o. (CASRI), kde nalezl uplatnění např. při bezpečnostní monitoraci vojáků při speciálních výcvikových akcích ve vojenském výcvikovém prostoru ve Vyškově a při řešení úkolů zabývajících se vývojem a ověřováním metod pro výběr a výcvik vojenského personálu, zejména v situacích extrémního zatížení. Systém byl rovněž opakovaně nasazen při řešení různých výzkumných úkolů mimo ČVUT, souvisejících s terénním monitoringem fyziologických funkcí, např. využití systému pro výzkum psychofyziologických stavů pilotů dopravních letadel na Letecké fakultě Technické univerzity v Košicích, výzkum klimatických poměrů pod oděvem vojáků na Technické univerzitě v Liberci či hasičů ve spolupráci se Státním ústavem jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i., výzkum fyziologických parametrů během výcviku na simulačním prostředí letového provozu na katedře letectva a letecké techniky Univerzity obrany v Brně. Na projektové úrovni jsou rozpracována další uplatnění FlexiGuard, jako např. využití systému pro monitoraci fyziologických a environmentálních parametrů v transportním biovaku při převozu pacientů s podezřením na vysoce nakažlivé onemocnění, kdy je monitorace fyziologických funkcí pacienta problematická z důvodu nezbytného udržení přísné izolace transportované osoby. Výhodou telemetrických dohledových systémů je v tomto případě to, že mohou fungovat na bezdrátovém principu, čili při potřebě monitorace fyziologických funkcí pacienta není potřeba narušovat hermetičnost biovaku ani do něho předem vkládat drahé přístroje a vybavení, které ve většině případů nelze ani dekontaminovat.

Další možné využití dohledových systémů je při testování tzv. vnitřní ochrany různých typů ochranných oděvů (např. protichemických), nebo-li komfortu v rámci sledování fyziologického stavu uživatelů v reálném čase. Nevhodná vnitřní ochrana vede nejen ke zvýšení fyzické zátěže, ale také psychické zátěže vyplývající ze snahy splnit požadované úkoly a vědomí možného ohrožení sebe i druhých. Obě tyto součásti přispívají k tzv. stresové situaci, která může při dosažení určité úrovně ohrozit člověka na zdraví. Osobní dohledový systém je z tohoto pohledu využitelný při testování konstrukce vyvíjených osobních ochranných prostředků a při jejich praktickém výběru (maximální doba použití ve vztahu k tepelné a fyzické zátěži organismu, pravidla použití při výcviku apod.) v souvislosti s různými úrovněmi rizik záchranářů spojených s možnou expozicí chemickými, radiologickými, biologickými, termálními a výbušnými materiály či jinými fyzikálními vlivy.

Studie použití těchto systémů v rámci Armády Spojených států amerických ukazují, že jejich nasazení je vysoce praktické, obzvláště při výcviku a při nasazení v bojových podmínkách vzhledem k možnosti vzdáleného monitorování fyziologických funkcí s následným stanovením

aktuálního zdravotního stavu. Uvedené závěry poukazují na možnost využití dohledových systémů v rámci výcviku a akcí vojenského a nevojenského charakteru. Lze tak dosáhnout zvýšené úrovně osobní bezpečnosti pro zasahující složky, která bude představovat lepší a dokonalejší stupeň (stav) ochrany v prostoru a čase. Kromě toho lze tyto systémy využít k dosažení lepší organizace nasazení sil, k optimalizaci lidských kapacit a jejich efektivity při zásahu v rámci aktuálních bezpečnostních hrozeb.

3. ZÁVĚR

Lze odhadnout, že biotelemetrické systémy pro bezpečnostní profesní monitoraci se v blízké budoucnosti stanou standardním doplňkem výstroje vojáků, hasičů atd. Ukazuje se, že je zde velký potenciál uplatnění nových senzorů, rádiových komunikačních systémů a algoritmů vyhodnocení.

V posledních letech se vývoj v oblasti osobních dohledových systémů všeobecně zaměřuje jednak na vývoj vhodných matematických algoritmů pro zpracování a interpretaci naměřených fyziologických a environmentálních signálů [1, 2, 3, 5] a na zvýšení počtu různých senzorů umožňujících monitorování fyziologických, behaviorálních a environmentálních parametrů. Rovněž na lepší použitelnost systému, ergonomii a robustnost pro drsné prostředí. V oblasti vlastních senzorů se jedná o výzkum možností jejich vhodného technického umístění (např. hrudní pás, lepící náplasti, poživatelné měřící teplotní pilulky, "smart" košile a jiné textilní materiály) [7]. Cílem výzkumných týmů je dále vyvinout velmi malé biokompatibilní senzory fyziologických parametrů, které bude možné vložit pod kůži nebo zachytit na povrch sliznic, např. v zažívacím traktu [3].

Je však třeba mít na paměti, že tyto technické systémy jsou pouze malým, ač efektivním doplňkem, nikoliv jediným a samospatitelným řešením. Zásadnější roli bude hrát optimalizace pracovních postupů nastavená individuálně podle osobnostních dispozic jedinců a v nejrizikovějších akcích též postupná náhrada lidí robotickými systémy.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen projektem č. VG20102013029 v rámci Programu bezpečnostního výzkumu České republiky v letech 2010-2015 (BV II/2-VS) a projektem č. TA04010102 v rámci podpory Technologické agentury České republiky.

Použitá literatura

- [1] BULLER, Mark J., William J. THARION, Cynthia M. DUHAMEL a Miyo YOKOTA. Real-time core body temperature estimation from heart rate for first responders wearing different levels of personal protective equipment. *Ergonomics*. 2015, **58**(11), 1830-1841. DOI: 10.1080/00140139.2015.1036792. ISSN 0014-0139. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140139.2015.1036792>.
- [2] CLEMENTS, Cynthia M, Derek MOODY, Adam W POTTER, Joseph F SEAY, Rebecca E FELLIN a Mark J BULLER. Loaded and unloaded foot movement differentiation using chest mounted accelerometer signatures. *2013 IEEE International Conference on Body Sensor Networks*. IEEE, 2013, 1-5. DOI: 10.1109/BSN.2013.6575524. ISBN 978-1-4799-0330-6. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6575524/>.

- [3] FRIEDL, Karl E. *Real Time Physiological Status Monitoring (RT-PSM): Accomplishments, Requirements, and Research Roadmap* [online]. TECHNICAL NOTE NO. TN16-2. USA: US Army Research Institute of Environmental Medicine, 2016 [cit. 2018-07-18]. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA630142>, p. 39.
- [4] HON, Zdeněk et al. A SURVEILLANCE SYSTEM FOR ENHANCING THE SAFETY OF RESCUE TEAMS. 2015, *COMMUNICATIONS*. 17(1), 81-86, ISSN 1335-4205.
- [5] KEARNS, W. D., V. O. NAMS a J. L. FOZARD. Tortuosity in Movement Paths Is Related to Cognitive Impairment. *Methods of Information in Medicine*. 2010, **49**(6), 592-598. DOI: 10.3414/ME09-01-0079. ISSN 0026-1270. Dostupné také z: <http://www.schattauer.de/index.php?id=1214>.
- [6] LÖFFLER, Jobst, Markus KLANN (EDS.). Mobile response: second International Workshop on Mobile Information Technology for Emergency Response, MobileResponse 2008, Bonn, Germany, May 29-30, 2008: revised selected papers. Berlin: Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-364-2004-391, pp. 41-56.
- [7] PARK, Sungmee et al. Wearables: Fundamentals, advancements and a roadmap for the future. In: *Wearable sensors: fundamentals, implementation and applications*. S.l.: Academic Press, 2014, pp. 1-23. ISBN 978-0-12-418662-0.
- [8] SCHLENKER, Jakub, Vladimír SOCHA, Pavel SMRČKA, Karel HANA, Vladimír BEGERA, Patrik KUTILEK, Zdeněk HON, Jan KASPAR, Lukas KUCERA, et al. FlexiGuard: Modular biotelemetry system for military applications. *International Conference on Military Technologies (ICMT) 2015*. IEEE, 2015, 1-6. DOI: 10.1109/MILTECHS.2015.7153712. ISBN 978-8-0723-1977-0. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7153712/>.