

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. lékařská fakulta

Clever Technologies, s.r.o.

(Spin-Off firma Fakulty biomedicínského inženýrství
ČVUT v Praze a 1. lékařské fakulty UK v Praze)

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Zdravotnická technika a informatika

ID studijního oboru: 5345T018

Bc. Vít Caithaml

**Návrh implementace mobilního
dohledového systému v armádě ČR**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Radek Fiala

2009

Praha, 25. 05. 2009

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval firmě *Clever Technologies, s.r.o.* a *Společnému pracovišti biomedicínského inženýrství ČVUT a UK v Praze, Albertov*, zejména pak Ing. Radku Fialovi, za odborné vedení, technickou podporu, zajímavé nápady a ochotu při spolupráci. Dále bych rád poděkoval MUDr. Miroslavu Lastičovi za zprostředkování praktického měření na základně *73. tankového praporu v Přešlavicích* a všem vojákům účastnících se praktického měření za ochotu. V poslední řadě bych rád poděkoval všem, kteří mě v průběhu mé práce podporovali a byli mi na blízku.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem:

Návrh implementace mobilního dohledového systému v armádě ČR

vypracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), pokud budou dodrženy podmínky firmy Clever Technologies, s.r.o.

Firma Clever Technologies, s.r.o. si vzhledem k zachování obchodního tajemství produktu dohledového systému nepřeje, aby tato práce byla veřejně přístupná a byla poskytnuta třetí straně bez jejího výslovného souhlasu.

Souhlasím s podmínkami firmy Clever Technologies, s.r.o. vázaných na toto dílo a souhlasím také s užitím mé práce nebo jakékoliv její části firmou Clever Technologies, s.r.o. k jejím vlastním účelům.

V Praze dne 25. 05. 2009

.....
Clever Technologies, s.r.o.

.....
Bc. Vít Caithaml

Kontakt:

email: info@clevertech.cz

Pobočka: Studničkova 7, Praha 2, 120 00

Sídlo: U Hřiště 149 Světice, Říčany u Prahy 251 01

IČO: 272 243 25

DIČ: CZ 272 243 25

IDENTIFIKAČNÍ ZÁZNAM

CAITHAML, Vít. *Návrh implementace mobilního dohledového systému v armádě ČR.* [Concept for the Implementation of the Mobile Monitoring System in the Armed Forces of the Czech Republic]. Praha, 2009. 80 s., 3. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Clever Technologies, s.r.o., spin-off firma Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze a 1. lékařské fakulty UK v Praze. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Fiala.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá mobilním dohledovým telemetrickým systémem nazvaným Soldier Inspect a návrhem jeho implementace v armádě ČR. Účelem dohledového systému je poskytnout veliteli na základě monitorovaných biologických a technických veličin přehled o aktuálním psychickém a fyzickém stavu vojáků a pomocí alarmových mezí upozornit na abnormální hodnoty monitorovaných veličin. Systém by měl přispět k prevenci úrazů vzniklých vyčerpáním a ke zvýšení bojeschopnosti celé jednotky. Soubor veličin použitých v první generaci systému byl vybrán na základě podrobné analýzy všech dostupných veličin. V práci je dále popsána koncepce celého systému a uspořádání jednotlivých modulů systému. Ze zpracování snímaných signálů je navržen a popsán algoritmus pro úpravu hodnot tepové frekvence zatížených artefakty. Je také popsána kalibrace termistorů a zpracování aktigrafických dat. Pro vyšší přehlednost systému je definována pomocná veličina, tzv. komplexní veličina, která si klade za cíl propojit informace ze všech snímaných veličin. Jsou popsány možnosti jejího výpočtu a na základě provedené analýzy je jedna z metod vybrána a implementována v dohledovém systému. Dále jsou navrženy nové módy pro zobrazení monitorovaných veličin a stručně popsána metodika používání systému. Funkčnost celého systému včetně navržených a použitých algoritmů byla ověřena při praktickém měření. Výsledky měření a poznatky v rámci celé práce se staly základem pro návrh druhé generace systému a úpravy prezentovaných algoritmů.

Klíčová slova

telemetrický systém, mobilní dohledový systém, zpracování tepové frekvence, odhad energetického výdeje

IDENTIFIKAČNÍ ZÁZNAM

CAITHAML, Vít. *Návrh implementace mobilního dohledového systému v armádě ČR.* [Concept for the Implementation of the Mobile Monitoring System in the Armed Forces of the Czech Republic]. Praha, 2009. 80 s., 3. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, Clever Technologies, s.r.o., spin-off firma Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze a 1. lékařské fakulty UK v Praze. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Fiala.

Abstract

The thesis concerns the mobile monitoring telemetry system Soldier Inspect and its implementation within the Armed Forces of the Czech Republic. The object of the monitoring system is to give commanders an overview, based on the monitoring of biological and technical values, of the current mental and physical state of their soldiers, and with the help of alarm limits to warn of abnormal readings of the monitored values. The system should help prevent injuries caused by exhaustion and should improve the combat efficiency of the whole unit. The set of values used in the first generation of the system was created based on a full analysis of all available values. The thesis goes on to describe the concept of the system as a whole and the alignment of each separate module. An algorithm for the adaptation of heart rate values, including misreads, is described and devised from the processing of measured signals. The calibration of thermistors and the processing of actigraphy data is also described. For better clarity, a supporting value is defined, the „complex value“, the purpose of which is to connect information from all the measured values. Methods of calculation are proposed and, based on analysis, one of these methods is selected and implemented into the monitoring system. Furthermore, new modes of displaying value readings are suggested and the procedures for system usage are briefly described. The functionality of the system, with algorithms both proposed and used, was verified through practical measurement. The results and findings throughout the thesis form the basis for the design of a second generation system and for modifications of the presented algorithms.

Key words

telemetry system, mobile monitoring system, heart rate processing, estimation of energy expenditure

OBSAH

1	Úvod	9
2	Dohledový systém v armádě ČR	11
2.1	Mobilní dohledové systémy ve světě	12
3	Přehled veličin, které lze monitorovat	13
4	Analýza veličin vhodných pro dohledový systém	16
4.1	Analýza požadavků na monitorované veličiny	16
4.2	EKG a tepová frekvence	18
4.3	Krevní tlak.....	20
4.4	Teplota	22
4.5	Monitorování oxygenace krve	24
4.6	Technické veličiny – pohybová aktivita	26
4.7	Veličiny vybrané pro první generaci systému.....	27
5	Návrh první generace systému.....	28
5.1	Obecná struktura systému	28
5.2	Moduly a jejich technické řešení	29
5.2.1	Moduly pro snímání veličin (EKG, teplota, akcelerometry)	29
5.2.2	Osobní monitorovací jednotka.....	30
5.2.3	Vizualizační bod	31
5.3	Moduly pro bezdrátové rozhraní.....	33
5.3.1	Požadavky na vlastnosti modulů pro bezdrátové rozhraní	33
5.3.2	Testování a porovnání modulů pro bezdrátové rozhraní	33
5.3.3	Výběr nejvhodnější technologie pro bezdrátový přenos	40
5.3.4	Popis vybrané technologie pro bezdrátové rozhraní.....	40
5.4	Software	41
6	Zpracování signálů.....	42
6.1	Úvod a definice pojmu komplexní veličina	42
6.2	Analýza metod pro výpočet komplexní veličiny	43
6.2.1	Nepřímá kalorimetrie.....	43
6.2.2	Odhad na základě bazálního metabolismu	44
6.2.3	Odhad na základě vztahu tepové frekvence a spotřeby kyslíku	44
6.2.4	Odhad na základě pohybové aktivity.....	46
6.2.5	Odhad na základě předem vytvořeného statistického modelu.....	46

6.3	Návrh zpracování snímaných veličin pro účely výpočtu komplexní veličiny a vizualizace dat v dohledovém systému.....	47
6.3.1	Zpracování tepové frekvence.....	47
6.3.2	Zpracování signálu z termistoru	53
6.3.3	Zpracování signálu z akcelerometrů	54
6.4	Návrh výpočtu komplexní veličiny.....	55
6.4.1	Realizovaný návrh pro výpočet komplexní veličiny, metoda 1, Strath.....	55
6.4.2	Realizovaný návrh pro výpočet komplexní veličiny, metoda 2, Legge	56
6.4.3	Porovnání realizovaných návrhů pro výpočet komplexní veličiny	56
7	Návrh zobrazení snímaných veličin a metodika používání dohledového systému	58
7.1	Návrh online zobrazení snímaných veličin.....	58
7.2	Offline zobrazení snímaných veličin	62
7.3	Metodika používání dohledového systému.....	64
8	Testovací měření.....	65
8.1	Úvod.....	65
8.2	Plán měření	65
8.3	Hodnocení testovacího měření.....	71
9	Souhrn poznatků z první generace systému a návrh druhé generace systému, diskuse ...	73
9.1	Souhrn poznatků z první generace systému.....	73
9.2	Návrh druhé generace systému	76
10	Závěr	77
11	Seznam použitých zdrojů.....	78
12	Seznam příloh	80

1 Úvod

Tato práce pojednává o mobilním dohledovém telemetrickém systému nazvaném Soldier Inspect. Systém můžeme zařadit do dynamicky se rozvíjející oblasti telemedicíny, která využívá současné rozsáhlé telekomunikační možnosti k přenosu medicínských dat, ať již obrazové informace, textu, hovoru nebo signálu. Principem telemetrického dohledového systému je kontinuální sběr dat z pacienta nebo jiné monitorované osoby, jejich přenos prostřednictvím telekomunikační sítě a následné zpracování, zobrazení a archivace. Rozvoj telemedicíny a telemetrických systémů je dán technickým pokrokem v podobě miniaturizace používaných dílů a jejich nízké energetické náročnosti, a zejména také rozvojem technologií pro bezdrátový přenos dat. Mezi hlavní výhody telemetrických dohledových systémů patří možnost sledování stavu pacienta i mimo nemocnici. Pacient tak může být např. v domácím léčení. Tím pro něj odpadá stres vyvolaný nemocničním prostředím, riziko nákazy, a znatelně se zvyšuje kvalita jeho života. Tento způsob léčby je i ekonomicky výhodnější, snižují se nároky na počty lůžek v nemocnicích a také na počet obslužného personálu. Lékař pomocí telemetrického systému může dohlížet i na více pacientů najednou. Data mohou být online přenášena do jeho osobního počítače a pomocí softwaru předzpracována tak, že lékaře upozorní jen v případě náhlé změny parametrů nebo při překročení stanovených limitů. Lékař díky kontinuálnímu záznamu dat může indikovanou léčbu okamžitě vyhodnotit a případně upravit. Telemetrické systémy lze využít jako nástroj komplexního dohledu nejen nad pacientem, ale i nad zdravými lidmi pracujícími v náročných podmínkách vyžadujících fyzickou zdatnost a psychickou odolnost jako např. hasiči, záchranáři, policisté nebo vojáci. Lékař díky telemetrickým systémům může být stále v kontaktu s členy zásahových jednotek a dohlížet na jejich stav, aniž by se sám vystavoval nebezpečí.

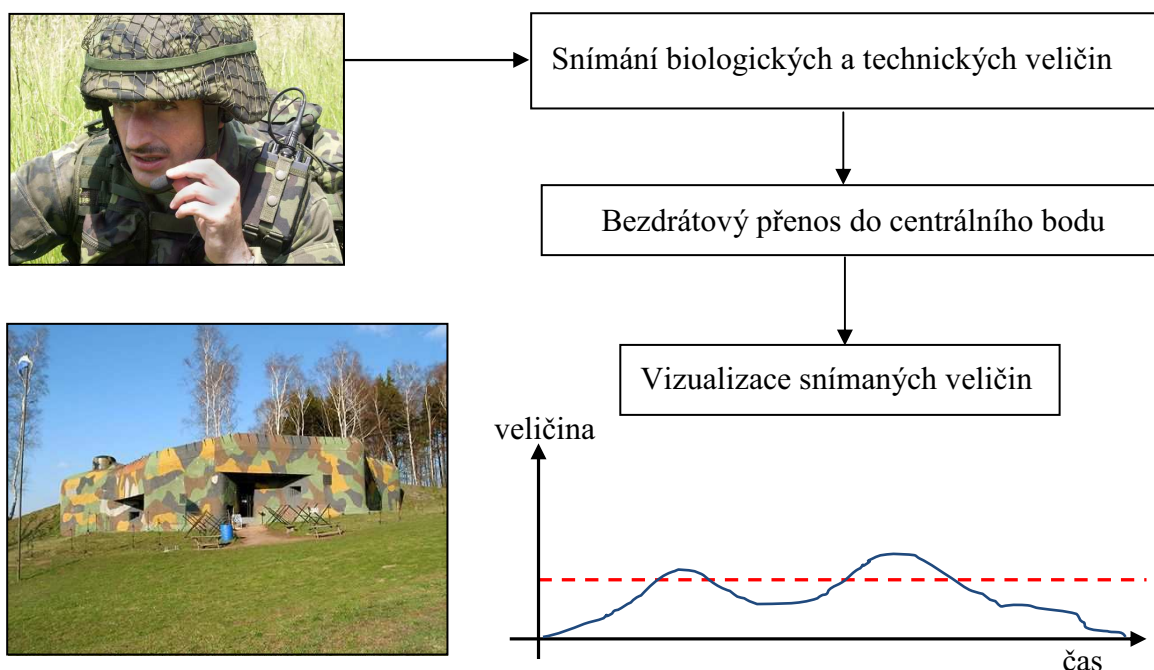
Vývojový tým firmy Clever Technologies, s. r. o., která je také spin-off firmou Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze a 1. lékařské fakulty UK v Praze, se již delší dobu zabývá transferem výsledků teoretického výzkumu z oblasti telemetrických a dohledových systémů do praxe. Od roku 2007, kdy jsem s firmou spolupracoval na bakalářské práci „Analýza požadavků na mobilní dohledový systém pro zásahové jednotky“, jsem se stal součástí vývojového týmu. Mým úkolem bylo navrhnout možnosti implementace dohledového systému v armádě ČR. Jak se později ukázalo, tato problematika je natolik široká, že by daleko přesáhla rozsah diplomové práce. Proto zde prezentuji jen ty hlavní a důležité výsledky výzkumu, na jejichž realizaci jsem se přímo podílel. Mým úkolem bylo

analyzovat a vybrat parametry, které lze pomocí dohledového systému monitorovat a navrhnout jejich zpracování. Dále jsem měl navrhnout veličinu, která by komplexně popisovala aktuální psychický a fyzický stav vojáka, navrhnout vhodné grafické zobrazení monitorovaných parametrů včetně metodiky používání celého systému. Na závěr jsem měl za úkol otestovat funkčnost celého systému při testovacím měření a navrhnout úpravy pro druhou generaci systému.

2 Dohledový systém v armádě ČR

Dohledovým systémem je v této práci rozuměn mobilní telemetrický systém, který z monitorovaného jedince snímá biologické a technické parametry. Ty jsou následně bezdrátově přenášeny do dohledového centra, kde jsou zpracovány a vizualizovány. Uspořádání dohledového systému je schematicky znázorněno na Obr. 1. Systém si klade za cíl zlepšit informovanost velitele jednotky o aktuálním fyzickém a psychickém stavu jednotlivých členů týmu a zvýšit tak bojeschopnost celé jednotky. Smyslem dohledu je na prvním místě prevence úrazů způsobených únavou a vyčerpáním, dále možnost rychlého přehledu stavu základních životních funkcí u zraněného vojáka a zefektivnění výcviku. Dohledový systém by naopak neměl sloužit jako represivní systém, který by vyhledával chyby vojáků. Systém by měl vojákovi pomoci nalézt jeho možnosti, jeho silné a slabé stránky, a dohlížet nad ním v situacích, které vyžadují maximální fyzické a psychické nasazení. Systém by s nadsázkou měl simulovat lékaře, který online dohlíží na dobrý zdravotní stav svého pacienta i v těch nejtěžších situacích.

Myšlenka na využití dohledového systému v armádě se objevila spolu s rostoucími nároky na ochranu a zabezpečení vojáka. Velké vojenské operace se přeměnily v malé lokální střety s radikálními skupinami a s teroristy. Při ochraně obyvatel není kladen důraz na počet vojáků, ale na schopnosti každého člena malé bojové skupiny, na jejich vzájemnou koordinaci a technické vybavení zvyšující jejich bojeschopnost.



Obr. 1 – Schematické uspořádání mobilního dohledového systému.

2.1 Mobilní dohledové systémy ve světě

Systémy podobné svou funkcí mobilnímu dohledovému systému pro armádu nejsou ve světě běžně rozšířeny. Často se jedná o výzkumné projekty, o kterých je těžké sehnat informace. Výzkumné týmy publikují své výsledky sporadicky a spíše jen v obecné rovině. Podobné systémy jsou popisovány v rámci projektů nazvaných „voják budoucnosti“, „voják 21. století“ atd. Popis systému je však často založen na představách tvůrců systému, nikoliv na praktických zkušenostech, možnostech podobných systémů nebo konkrétních výsledcích výzkumu.

V USA pracují na projektu *Future Force Warrior*¹. Tento projekt se zabývá výstrojí i výzbrojí vojáka a jeho cílem je zvýšení bojeschopnosti vojáka na základě použití nejnovějších poznatků z oblasti nanotechnologií, telekomunikací a bojových systémů. Okrajově je také zmíněno, že součástí systému by měla být skupina senzorů, která by sloužila pro monitorování stavu vojáka.

Na českém internetu lze najít zmínku o projektu *Voják 21. století*². Cílem tohoto projektu je také zvýšení bojeschopnosti a akceschopnosti vojáků na základě využití nejnovějších poznatků vědy a techniky. Konkrétní výsledky projektu bohužel nejsou publikované.

¹ Future Force Warrior [online]. Wikipedia.

² Voják 21. století [online]. Ministerstvo obrany České republiky.

3 Přehled veličin, které lze monitorovat

Tato kapitola obsahuje v Tab. 1 rozsáhlý přehled veličin, které lze monitorovat. Veličiny jsou rozděleny do několika skupin: *dýchací soustav, kardiovaskulární systém, ostatní veličiny související s lidským tělem, technické veličiny a environmentální parametry*. U každého parametru je krátce popsán přínos při monitorování a možnosti detekce. Pokud přínos nebo možnosti detekce nejsou známy, obsahuje buňka znak ?. Při výběru veličin do této tabulky nebyla uplatňována žádná kritéria, účelem bylo sestavit ucelenou tabulku pro výběr vhodných a zajímavých veličin a jejich následnou podrobnější analýzu.

Dýchací soustava

Název sledovaného parametru	Význam/přínos	Možnosti detekce
dechová frekvence	souvisí s fyzickou aktivitou	z EKG, piezoelektrické články, bioimpedance
saturace O ₂ měřená pulsní oxymetrií	sledování správného okysličování krve	pulzní oxymetr

Kardiovaskulární systém

Název sledovaného parametru	Význam/přínos	Možnosti detekce
srdeční frekvence	objektivizace fyzické námahy, míry stresu	EKG, 2 hrudní elektrody součástí oděvu
arteriální krevní tlak	TK	manžeta, ultrazvukové metody
analýza variability srdečního rytmu	detailnější přehled o fyzické zdatnosti	snímání EKG
sledování EKG křivky	detekce arytmií	snímání EKG
poruchy srdeční frekvence a rytmu	detekce arytmií	snímání EKG
fibrilace	detekce arytmií	snímání EKG

Ostatní veličiny související s lidským tělem

Název sledovaného parametru	Význam/přínos	Možnosti detekce
biochemické parametry	přehled o metabolických pochodech, o správném složení vnitřního prostředí	náročné na sběr
EEG	sledování reakcí	nelze v terénu
myopotenciály	sledování reakcí, reflexů	elektrody

bioimpedance – dech. frekvence	souvisí s fyzickou aktivitou	elektrody na hrudníku
bioimpedance – vnitřní prostředí	poměr tuků/svalů/vody	2 – 4 elektrody
bioimpedance – hydratace	změny hydratace v čase	2 – 4 elektrody
teplota jádra	fyzická aktivita, přehřívání a s tím spojený stres	mikro kapsle
teplota hrudníku	fyzická aktivita, přehřívání a s tím spojený stres, popáleniny	termistor
teplota těla měřená pod oblečením	prevence přehřátí	termistor
teplota na jiných částech těla	fyzická aktivita, přehřívání a s tím spojený stres, popáleniny	termistor
crash syndrom	při zavalení	?

Technické veličiny

Název sledovaného parametru	Význam/přínos	Možnosti detekce
pohybová aktivita	objektivizace fyzické námahy	akcelerometr
náklon	poloha vojáka vůči zemi	akcelerometr
zařízení pro ochlazování těla	prevence přehřátí	součást trička
zařízení pro oteplování těla	prevence podchlazení	součást trička
detekce průstřelu	detekce poranění	součást trička
GPS	přehled o pozici	GPS modul
vzdálenost od ref. bodu	přehled o pozici - vyhledávání	radiofrekvenční signál, GPS modul
3D pozice	přehled o pozici - vyhledávání	?
směr od referenčního bodu	přehled o pozici - vyhledávání	radiofrekvenční signál, GPS modul
čas jak dlouho je v zásahu	časové limity, prevence únavy	software
mrtvý muž - detektor nepohybu	zjištění náhlého kolapsu	akcelerometr
emergency button	v případě nebezpečí	tlačítko na oděvu
zdroj ref. signálu pro vyhledávání	v případě nebezpečí	zdroj signálu (RF)

hlasová komunikace	v případě nebezpečí, uživatelsky přínosné	modul pro hlasovou komunikaci
--------------------	--	----------------------------------

Environmentální veličiny

Název sledovaného parametru	Význam/přínos	Možnosti detekce
okolní teplota	?	termistor
barometrický tlak	orientačně hustota dýchaných plynů	?
hladina osvětlení	?	?
hluk	?	?
koncentrace plynů	prevence dušení	analyzátor plynů
nebezpečná ionizační záření	prevence ozáření	detektor ionizačního záření
viry, bakterie	při použití biologických zbraní	?

Tab. 1 – Přehled veličin, které lze monitorovat.

4 Analýza veličin vhodných pro dohledový systém

4.1 Analýza požadavků na monitorované veličiny

Cílem dohledového systému je monitorování biologických veličin člověka a dalších technických veličin za účelem získání informace o aktuálním fyzickém a psychickém stavu monitorovaného vojáka. Možnosti celého systému a výsledné zobrazované parametry jsou pak odvozovány od snímaných veličin. Při výběru vhodných veličin byl brán zřetel na několik základních výběrových parametrů. Každá veličina je i podle těchto parametrů hodnocena. Výběrové parametry jsou:

- a) Neinvazivnost**
- b) Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu**
- c) Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení**
- d) Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu**
- e) Reprodukovatelnost měření (snímání)**
- f) Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka**
- g) Rychlé zpracování nasnímaných dat**

Ad a) Neinvazivnost

Snímací prvek nesmí žádným způsobem narušit povrch těla vojáka. Aplikace snímacích prvků musí být bezbolestná a jednoduše opakovatelná.

Ad b) Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu

Celý systém musí být mobilní a neměl by zvyšovat zátěž vojáka. Výhodné je tedy použít snímací prvky malých rozměrů nejlépe s bezdrátovým přenosem snímaných signálů.

Ad c) Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení

Signál nesoucí informaci o snímaném parametru by měl být dostatečně robustní, aby odolal vnějším vlivům způsobujícím rušení.

Ad d) Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu

Snímaný parametr musí být dostatečně variabilní v čase s rychlou a měřitelnou změnou při změně aktuálního stavu vojáka.

Ad e) Reprodukovatelnost měření (snímání)

Parametr by měl být snímatelný v různých podmínkách a tyto podmínky by neměly ovlivňovat snímaný parametr při nezměněném aktuálním stavu vojáka. Za jakýchkoliv podmínek by snímání mělo poskytovat shodnou informaci, pokud nedojde ke změně aktuálního stavu.

Ad f) Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka

Vypovídací hodnota daného parametru by měla být úměrná náročnosti jeho snímání. Parametry monitorující důležité životní funkce vojáka by měly být snímány i v případě vyšší náročnosti na jejich snímání.

Ad g) Rychlé zpracování nasnímaných dat

Produkt by měl poskytovat výsledky o stavu vojáka s minimálním zpožděním. Výpočetní výkon dnešních čipů je na vysoké úrovni, přesto může být informace ze snímaného signálu obtížně dostupná. Problémem často bývá v nalezení vhodného algoritmu pro zpracování signálu a získání informace. Výrobci přístrojové techniky algoritmy bedlivě střeží a často je poskytují pouze ve formě funkčních zakrytovaných modulů za vysoké pořizovací náklady. I zde lze využít modulárnosti systému a v případě neúspěchu při sestavování algoritmu systém doplnit o již hotový a odladěný modul.

Seznam veličin vhodných pro dohledový systém

Následující Tab. 2 obsahuje veličiny, které byly vybrány na základě definovaných požadavků na monitorované veličiny z veličin prezentovaných v kapitole 3 na straně 13. Tyto vybrané veličiny jsou dále podrobně analyzovány.

Název veličiny
EKG a tepová frekvence
Krevní tlak
Teplota
Monitorování oxygenace krve
Technické veličiny – pohybová aktivita

Tab. 2 – Tabulka veličin vybraných pro další analýzu na základě definovaných požadavků na monitorované veličiny

4.2 EKG a tepová frekvence

Technické aspekty monitorování

Elektrokardiografie je neinvazivní diagnostická metoda, která sleduje vnější projevy elektrické aktivity myokardu. Jednotlivé buňky srdeční svaloviny dávají během depolarizace a repolarizace membrány vznik elementárním elektrickým dipólovým vektorům, které se sumují v čase a v prostoru a dávají vznik výslednému dipólovému vektoru. Tyto napěťové změny se od myokardu šíří všemi směry na povrch těla, kde je lze snímat a zaznamenávat. Snímání EKG se provádí pomocí elektrod rozmístěných po těle. Svodem je myšleno snímání napěťových změn buď mezi dvěma aktivními elektrodami (bipolární svod) nebo mezi aktivní elektrodou a indiferentní elektrodou (unipolární svod). Indiferentní elektrodou je tzv. Wilsonova svorka, která vzniká spojením tří aktivních elektrod na končetinách přes vysoký odpor. Standardně se používají končetinové svody a hrudní svody. U končetinových svodů jsou elektrody umístěny na pravém a levém zápěstí a na levém a pravém bérce. U hrudních svodů se elektrody umísťují na hrudní stěnu v oblasti srdce od pravého okraje sternu po levou podpažní jamku. Standardní počet hrudních svodů je 6. Pro snížení přechodového odporu mezi elektrodou a pokožkou se používá EKG gel s vhodným iontovým složením. Na křivce EKG se popisuje vlna P a T, QRS komplex a dále intervaly mezi jednotlivými body. Hodnotí se také amplitudy vln a QRS komplexu. Každý svod má svou vypovídací hodnotu o elektrické aktivitě srdce. Hodnocení EKG křivky lze dnes provádět automaticky pomocí počítačových programů.³

Na jednotkách intenzivní péče se používají tzv. monitorní svody, které odpovídají některým z 12 hrudních svodů. Podle typu monitoru se používá 3 až 5 svodů. Monitorní svody slouží převážně k detekci tepové frekvence a arytmií.⁴

EKG signál je náchylný k šumu. Při snímání je nutné být v klidu, aby signál obsahoval co nejméně artefaktů vzniklých činnostmi ostatních svalů v těle.

Tepovou frekvenci lze získat z libovolného svodu, ve kterém je dobře rozeznatelný QRS komplex. Algoritmus pro detekci komplexu a následně výpočtu R-R intervalu bývá

³ Hrazdira, I., Mornstein, J., Škorpíková, J.: *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Kapitola 10.4.2.1, Elektrokardiografie (EKG), s. 228.

⁴ Handl, Z.: *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. Kapitola 1, Monitorování elektrické aktivity srdce, s. 7.

často doplněn o frekvenční filtry a dokáže zpracovat i mírně zarušený signál. EKG signál pro získání tepové frekvence lze snímat i za pohybu pacienta.

Pro digitalizaci EKG se doporučuje použít vzorkovací frekvenci od 1 do 4 kHz s minimálním kvantováním 12 bitů. Pro digitalizaci signálu pro detekci QRS komplexu lze použít vzorkovací frekvenci od 200 do 400 Hz se stejným kvantováním.

Diagnostický přínos monitorování

Z EKG křivky lze odvodit tepovou frekvenci, diagnostikovat srdeční arytmii nebo blokádu v šíření akčního potenciálu. Lze odhalit i poškození myokardu. Záznam o tepové frekvenci může posloužit jako zdroj dat pro analýzu variability srdečního rytmu (využití např. pro sledování činnosti autonomního nervového systému a jeho vlivu na tepovou frekvenci) nebo jako ukazatel fyzické námahy nebo stresu. Monitorování tepové frekvence se často používá ve sportu ke kontrole správného provádění tréninku.

Hodnocení veličiny podle požadavků na monitorované veličiny

EKG signál a následně i tepovou frekvenci lze v dnešní době monitorovat velmi dobře. Ačkoliv snímání EKG ani detekce tepové frekvence není z technického hlediska jednoduchá, lze tyto problémy eliminovat díky značnému rozšíření této metody a dostupnosti technického vybavení. Monitorování těchto parametrů je neinvazivní a poskytuje mnoho informací o aktuálním stavu vojáka. Mezi nevýhody patří nízká odolnost EKG signálu vůči pohybovým artefaktům a vysoké nároky na kvalitu snímacích prvků. Kvalita extrakce tepové frekvence z EKG signálu je velmi závislá na použitém algoritmu. Výpočetní náročnost algoritmus již dnes není problémem.

Požadavek na monitorované veličiny	Hodnocení
Neinvazivnost	1
Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu	2
Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení	2
Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu	1
Reprodukovatelnost měření (snímání)	1
Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka	1
Rychlé zpracování nasnímaných dat	2

Tab. 3 – Hodnocení snímání EKG a tepové frekvence podle požadavků na monitorované veličiny.

4.3 Krevní tlak

Technické aspekty monitorování

Krevní tlak můžeme monitorovat několika způsoby. Invazivní snímače jsou pro použití v dohledovém systému nevhodné, proto jsou dále popsány jen základní principy jejich funkce. Invazivní snímače krevního tlaku se dělí na 2 skupiny podle principu snímání.

Prvním typem je systém „katétr-snímač“, kde tlakové změny jsou přenášeny sloupcem kapaliny z vnitřního prostředí člověka mimo tělo na elektrický snímač tlaku (zpravidla tenzometrický snímač). Z elektrického snímače je signál o změnách tlaku veden do monitoru a zobrazován.

Druhým systémem je tzv. „tip-katétr“, kde snímač v podobě mikročipu je umístěn na konci katétru. Od snímače je již dále veden elektrický (nebo optický) signál mimo tělo pacienta a zde zobrazován. Mikročipové snímače jsou technologicky náročné na výrobu. Musí prokazovat vysokou elektrickou a teplotní stabilitu a zaručovat linearitu měření v potřebném rozsahu hodnot.

Pro dohledový systém je však použitelné pouze neinvazivní monitorování systémového arteriálního krevního tlaku a to oscilometrickou metodou. Tzv. Riva-Rocci metoda s odposlechem Korotkovových zvuků je taktéž neinvazivní, avšak použití klasického rtuťového tonometru a fonendoskopu nelze v polních podmínkách aplikovat. Oscilometrická metoda umožňuje plně automatické monitorování. Pacient má na paži nasazenu manžetu, která se insufluje nad hodnotu systolického tlaku. Desuflace probíhá konstantní rychlostí 5 – 7 mmHg/s. Při kompresi stěny artérie přetlakovou manžetou vznikají v artérii pneumatické pulzace, oscilace, které lze zaznamenat digitálním snímačem tlaku. Stanovuje se střední arteriální tlak, který odpovídá maximální amplitudě oscilací. Další vyhodnocení tlaku již probíhá na základě matematických vztahů. Systolický tlak je obvykle vyhodnocen jako nástup 25 – 50 % maximální amplitudy oscilací, diastolický tlak jako pokles oscilací na 80 % maximální amplitudy.⁵

Snímaný signál je náchylný především k pohybovým artefaktům, které mohou v manžetě způsobit falešné pneumatické pulzace. Manžeta by měla být odpovídající velikosti a neměla by být z vnějšku stlačována. Pokud je monitorovaný pacient v křeči nebo nespolečuje, měření také nepodává validní výsledky. Srdeční arytmie mohou zapříčinit

⁵ Handl, Z.: *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. Kapitola 3, Neinvazivní monitorování systémového arteriálního krevního tlaku, s. 61.

chybné vyhodnocení krevního tlaku a doporučuje se zvolit raději invazivní monitorování. Podobná situace nastává u pacientů s nízkou periferní pulsací.

Diagnostický přínos monitorování

Hodnoty krevního tlaku se mění v závislosti na fyzické a psychické aktivitě člověka. Při fyzické aktivitě tlak stoupá s nároky na dopravu kyslíku do svalů a mozku. Monitorování krevního tlaku patří mezi základní úkony u nemocných pacientů. U zdravých jedinců má monitorování krevního tlaku čistě preventivní význam. Krevní tlak ovlivňuje i mnoho dalších faktorů, tudíž se tato veličina nedá spolehlivě použít pro sledování fyzické zátěže.

Hodnocení veličiny podle požadavků na monitorované veličiny

Krevní tlak lze velmi dobře monitorovat v domácí nebo lůžkové péči. V polním prostředí se stává monitorování velkou zátěží, i když je použita metoda neinvazivní. Monitorovaný musí mít permanentně okolo paže manžetu, která se periodicky nafukuje. Pro monitorování tedy nelze použít jednoduché prvky malých rozměrů. Krevní tlak také nelze měřit za pohybu monitorovaného. Použité algoritmy jsou vcelku jednoduché, ale díky nafukování manžety se snímání signálu prodlužuje. Jelikož hodnotu krevního tlaku ovlivňuje mnoho faktorů, nelze tento parametr spolehlivě použít pro sledování fyzické zátěže.

Požadavek na monitorované veličiny	Hodnocení
Neinvazivnost	1
Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu	4
Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení	3
Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu	2
Reprodukovatelnost měření (snímání)	1
Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka	2
Rychlé zpracování nasnímaných dat	2

Tab. 4 – Hodnocení snímání krevního tlaku podle požadavků na monitorované veličiny.

4.4 Teplota

Technické aspekty monitorování

Tělesnou teplotu můžeme měřit jako teplotu pokožky (slupky), teplotu tělesného jádra nebo teplotu průměrnou. Ani toto rozdělení však není přesné a nejlépe je udávat konkrétní místo měření teploty. Jádrem je myšlena hrudní a břišní dutina. Teplota jádra kolísá jen velmi málo a je vyšší než teplota pokožky. Normotermie tělesného jádra měřená v myokardu je přibližně 37 °C⁶. V játrech je teplota ještě o něco vyšší, 39 – 40 °C⁷. Rektální teplota nejlépe sleduje teplotu jádra a za fyziologických podmínek je o 0,5 °C vyšší. Pokožka má od axily různý teplotní profil a nebyla dosud nalezena přesná závislost mezi teplotou jádra a teplotou pokožky, vše významně ovlivňuje aktuální periferní vazoaktivita. Z hlediska diagnostického je monitorování teploty jádra nejpřínosnější, avšak v polních podmínkách velmi těžko realizovatelné. Budeme se tedy dále zabývat jen monitorováním teploty pokožky.

Ke snímání teploty lze použít několik principů a metod. Jednoduše implementovatelným je princip závislosti elektrického odporu látky na změně teploty. Snímač se nazývá termistor. Největší přesnosti dosahují při můstkovém zapojení. Jejich nevýhodou je nelineární závislost elektrického odporu a teploty. Termistor má velmi malé rozměry a lze tedy integrovat do oděvu nebo jiných součástí výstroje vojáka.

Diagnostický přínos monitorování

Tělesná teplota se u zdravých lidí zvyšuje při zátěži organismu. Větší význam má sledování teploty jako prevence přehřátí a následných kolapsových stavů. Protichemické obleky jsou špatně větrány a při vysoké teplotě okolí se pod oblekem hromadí velké množství tepla. Monitorováním tělesné teploty lze předcházet také podchlazení při operacích v zimních měsících nebo horských podmínkách.

⁶ Handl, Z.: *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. Kapitola 8, Monitorování tělesné teploty, s. 117.

⁷ Rokyta, R. a kol.: *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Kapitola 15.1.1, Teplota slupky a jádra, s. 190.

Hodnocení veličiny podle požadavků na monitorované veličiny

Monitorování teploty pomocí termistoru je neinvazivní a z technického hlediska jednoduché. Dnešní termistory dosahují velmi malých rozměrů a poskytují velmi přesné údaje. Pokud je teplota snímána na povrchu kůže, může být výsledná hodnota ovlivněna vnějšími vlivy, např. teplotou okolního vzduchu. Hodnota tělesné teploty má v čase určitou setrvačnost, tudíž tento parametr nepopisuje přesně aktuální stav vojáka.

Požadavek na monitorované veličiny	Hodnocení
Neinvazivnost	1
Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu	1
Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení	2
Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu	2
Reprodukovatelnost měření (snímání)	1
Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka	2
Rychlé zpracování nasnímaných dat	1

Tab. 5 – Hodnocení snímání teploty podle požadavků na monitorované veličiny.

4.5 Monitorování oxygenace krve

Technické aspekty monitorování

Přístroj pro monitorování oxygenace krve se nazývá pulzní oxymetr. Detekce je založena na principu rozdílné absorpce infračerveného záření hemoglobinem a oxyhemoglobinem při průchodu záření tkání. Čidlo, které vysílá i přijímá záření, se aplikuje na akrální část těla (většinou prst ruky nebo ušní lalůček). Čidlo vysílá záření na 2 vlnových délkách, obvykle na 660 nm a 940 nm. Nižší vlnová délka slouží pro odlišení množství prosvícované tkáně, vyšší vlnová délka slouží pro odlišení hemoglobinu a oxyhemoglobinu (rozdílná absorpce záření). Při průchodu tkání je záření absorbováno arteriální krví, venózní a kapilární krví a tkání, přičemž pulzující charakter má pouze absorpce v arteriální krvi. Přístroj absorpce dělí na pulzující složku (AC) a nepulzující složku (DC), a to na obou vlnových délkách. Z naměřených absorpcí je určen podílový koeficient S^8 :

$$S = \frac{AC_{660} / DC_{660}}{AC_{940} / DC_{940}}$$

Tento koeficient odpovídá podílu absorpce záření hemoglobinem a oxyhemoglobinem v arteriální krvi. Hodnota saturace krve kyslíkem je hodnotě koeficientu přiřazena na základě empiricky zjištěné závislosti, která je uložena v přístroji. Výsledkem monitorování tedy není absolutní číslo – hodnota parciálního tlaku kyslíku v krvi, ale pouze relativní číslo udávané v procentech.

Na přesnost měření má vliv např. nízká amplituda pulzací v periferních tkáních, pohyby pacienta, obzvláště třes a formy hemoglobinu neschopné transportu kyslíku (karboxyhemoglobin, methemoglobin).

Diagnostický přínos monitorování

Metoda pulzní oxymetrie nepřináší absolutní hodnotu parciálního tlaku kyslíku v krvi, ale je však vhodnou metodou pro sledování vývoje oxygenace krve u monitorované osoby. Metoda dokáže rychle upozornit na respirační insuficienci či jiný problém při transportu kyslíku k tkáním. Parametr např. velmi dobře poslouží při sledování vojáků při práci ve vyšších nadmořských výškách, kde klesá parciální tlak kyslíku ve vzduchu a může snadno dojít k hypoxii organismu. Obdobně lze monitorování využít u pilotů nebo u vojáků

⁸ Handl, Z.: *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. Kapitola 5, Monitorování oxygenace krve, s. 83.

pracujících v ochranných maskách, ve kterých nemusí být zajištěn dostatečný přívod kyslíku (porucha masky, nadměrná fyzická námaha nebo stres).

Hodnocení veličiny podle požadavků na monitorované veličiny

Monitorování oxygenace krve pomocí metody pulzní oxymetrie je neinvazivní a v polních podmínkách náročné zejména z hlediska umístění senzoru. Ten musí být umístěn na dobře prokrveném místě a musí být zároveň chráněn proti zdroji vnějšího světla. Součástí snímače je i dioda, která je náchylná na mechanické poškození. Signál lze snímat pouze v klidu, při pohybu je zatížen mnoha artefakty. Reprodukovatelnost měření je závislá na správném umístění snímače. Veličina se v čase mění velmi rychle, ale může být ovlivněna mnoha jinými faktory. Pro přesné hodnocení aktuálního stavu vojáka lze využít jen při dlouhodobějším monitorování. Výpočetní náročnost algoritmu již dnes není problémem, avšak přesnost metody je na kvalitě algoritmu závislá.

Požadavek na monitorované veličiny	Hodnocení
Neinvazivnost	1
Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu	4
Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení	3
Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu	2
Reprodukovatelnost měření (snímání)	3
Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka	2
Rychlé zpracování nasnímaných dat	2

Tab. 6 – Hodnocení snímání oxygenace krve podle požadavků na monitorované veličiny.

4.6 Technické veličiny – pohybová aktivita

Technické aspekty monitorování

Pohybovou aktivitu lze snímat pomocí akcelerometru. Akcelerometr snímá zrychlení na základě pohybu mechanického prvku. Změny pohybu jsou následně převedeny na elektrický signál. Pohyb může být snímán až ve 3 osách. Konkrétní uspořádání závisí na typu akcelerometru. Dnes je trendem používat akcelerometry založené na technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems). Tato technologie umožňuje miniaturizovat a provázat mechanické snímací prvky a spojit je spolu s elektronickými prvky obvodu do jednoho čipu.

Diagnostický přínos monitorování

Pomocí akcelerometrů lze velmi dobře monitorovat pohybovou aktivitu jedince, která souvisí i s výdejem energie a únavou. Monitorování pohybové aktivity může upozornit na vyčerpání a může být tedy prevencí následných úrazů.

Akcelerometry lze využít i pro rozpoznávání určitých typů pohybové aktivity, čehož lze využít zejména při výcviku. Velitel může sledovat, zda voják provádí cvičení správně a případně ho opravit.

Hodnocení veličiny podle požadavků na monitorované veličiny

Monitorování pohybové aktivity pomocí akcelerometrů je jednoduché a neinvazivní. Akcelerometry dosahují velmi malých rozměrů a jsou jednoduše implementovatelné. Kvalita snímaného signálu je závislá na správném umístění akcelerometru. Změna signálu velmi rychle odpovídá změně aktuálního stavu vojáka. Výpočetní náročnost algoritmu je malá a použité výpočetní algoritmy také nejsou složité.

Požadavek na monitorované veličiny	Hodnocení
Neinvazivnost	1
Jednoduché prvky menších rozměrů pro snímání signálu	1
Odolnost signálu vůči vnějšímu rušení	2
Rychlost změny snímaného parametru při změně aktuálního stavu	1
Reprodukovatelnost měření (snímání)	2
Vysoká vypovídací hodnota o aktuálním stavu vojáka	1
Rychlé zpracování nasnímaných dat	1

Tab. 7 – Hodnocení snímání pohybové aktivity podle požadavků na monitorované veličiny.

4.7 Veličiny vybrané pro první generaci systému

Na základě provedené analýzy a technických možností byly pro první generaci systému vybrány tyto veličiny:

- tepová frekvence,
- teplota,
- pohybová aktivita.

Snímání EKG a následná extrakce **tepové frekvence** není triviálním procesem, avšak tato oblast je velmi dobře probádaná a popsána. Snímání lze provádět neinvazivně a existuje přímý vztah monitorované veličiny a aktuálního stavu vojáka, přičemž veličina reaguje na změnu stavu velmi rychle.

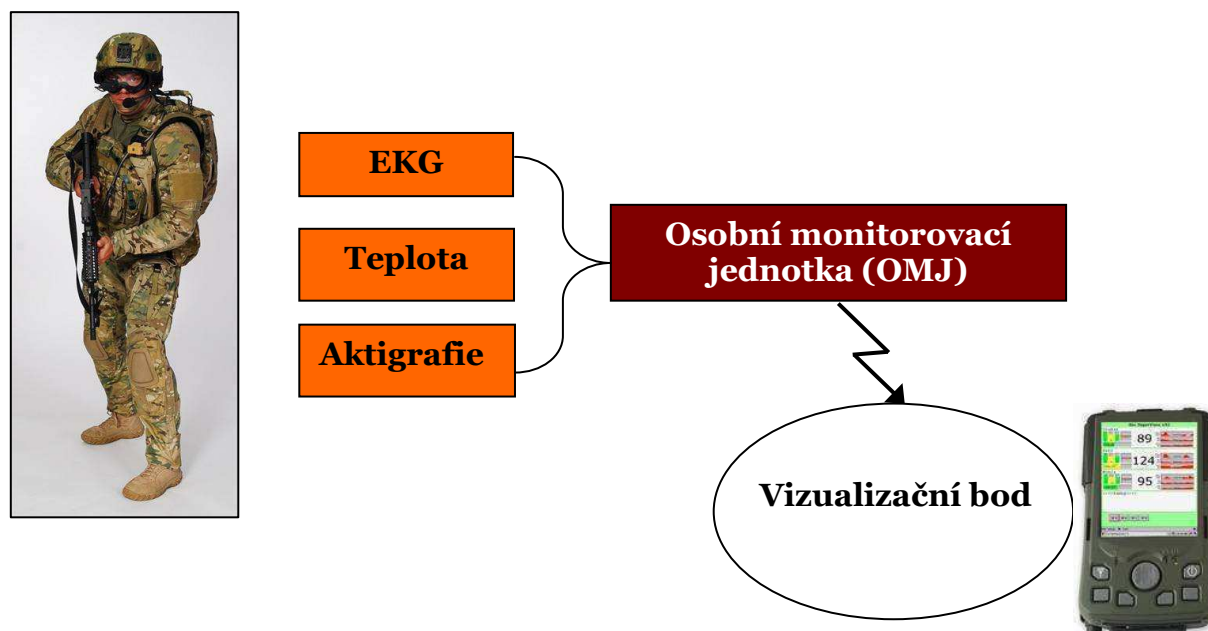
Teplotu lze snímat pomocí termistorů, které dosahují velmi malých rozměrů a jsou jednoduše implementovatelné. Monitorování je neinvazivní a lze najít i vztah mezi veličinou a aktuálním stavem vojáka, i když ne tak přímý, jako u tepové frekvence.

Monitorování **pohybové aktivity** lze realizovat pomocí akcelerometrů, které jsou jednoduše použitelné, neinvazivní a dosahují také malých rozměrů. Veličina dokáže velmi přesně kvantifikovat pohyb vojáka a nese tedy informaci o jeho aktuálním stavu.

5 Návrh první generace systému

5.1 Obecná struktura systému

Pro konstrukci první generace systému byly vybrány následující veličiny: tepová frekvence, tělesná teplota, pohybová aktivita snímaná pomocí akcelerometrů. Podrobná analýza vybraných veličin je v kapitole 4 Analýza veličin vhodných pro dohledový systém na straně 16. Celý systém je navrhován jako modulární s centrálním zpracováním, vizualizací a archivací dat. Modulárnost systému lze s výhodou využít při úpravách nebo inovacích systému. Schéma na Obr. 2 na straně 28 ukazuje obecnou strukturu dohledového systému. Voják má na svém těle připevněny moduly pro snímání tělesné teploty, EKG a dat z akcelerometrů (aktigrafie). Tyto moduly jsou kabelem spojeny s osobní monitorovací jednotkou (OMJ), kde jsou signály ze snímacích modulů předzpracovány a digitalizovány. Data jsou následně bezdrátově přenesena do lokálního vizualizačního bodu. Tímto bodem může být např. PDA velitele jednotky či odolný malý notebook. Vizualizační bod může být dále propojen s centrálním bodem, kde mohou být data archivována. V centrálním bodě se počítá s přítomností databázového serveru s daty o vojácích a konfiguračními soubory. První generace systému je navrhována bez centrálního prvku s tím, že data spolu s údaji o vojácích a konfiguračními soubory jsou součástí vizualizačního bodu. Jako požadavek pro bezdrátovou komunikaci je šifrování a vysílání v rozprostřeném spektru s nemožností detekce či odposlechu komunikace. Datová komunikace probíhá přes sériové rozhraní.



Obr. 2 – Obecné schéma dohledového systému.

5.2 Moduly a jejich technické řešení

5.2.1 Moduly pro snímání veličin (EKG, teplota, akcelerometry)

Všechny snímací prvky jsou koncipovány tak, aby vojáka co nejméně zatěžovaly nebo znepříjemňovaly jeho pohyb. Byl kladen důraz i na hmotnost použitých dílů.

Snímání EKG

Základem snímacích modulů je hrudní pás firmy Polar, který je již po úpravách vyobrazen na Obr. 3. Z hrudního pásu byla využita pružná manžeta s ploškami z vodivého textilu pro snímání EKG. Elektronika pásu, která předzpracovávala EKG signál, byla odstraněna. EKG signál je veden až do osobní monitorovací jednotky, kde je zpracováván.



Obr. 3 – Hrudní pás a osobní monitorovací jednotka

Snímání teploty

Na vnitřní stranu hrudního pásu byl implementován termistor pro snímání tělesné teploty. Snímaná teplota tedy odpovídá spíše normální teplotě pokožky, což je okolo 32 – 33 °C. Takto umístěný termistor bude schopen zaznamenat zvýšení teploty pod oděvem v důsledku přítomnosti v prostředí s vysokou teplotou vzduchu nebo při špatném větrání oděvu (protichemické oděvy). Bude tedy možné předcházet tepelnému diskomfortu a následnému přehřátí organismu. Termistor je opět drátově spojen s osobní monitorovací jednotkou.

Snímání pohybové aktivity pomocí akcelerometrů

Také akcelerometr je součástí hrudního pásu. Jeho umístění pro snímání pohybové aktivity by správně mělo být v těžišti těla. Umístění v hrudním pásu bylo vybráno jako kompromis mezi jednoduchostí používání dohledového systému a přesností snímání veličin. Pro zvýšení přesnosti snímání pohybové aktivity byl přidán ještě jeden akcelerometr do osobní monitorovací jednotky. Akcelerometr v hrudním pásu lze také využít pro určení polohy vojáka v prostoru, je možné odlišit náklon a např. leh na břiše a leh na zádech a další polohy. Akcelerometr je spojen s osobní monitorovací jednotkou drátově.

Návrh implementace snímačů do trička

Firma Adidas vyvinula ve spolupráci s firmou Polar trička, která v sobě mají integrované plošky z vodivého textilu a jsou kompatibilní se zbytkem hrudního pásu firmy Polar. Trička jsou samozřejmě kompatibilní i s dohledovým systémem a toto spojení se jeví jako nejlepší. Použitím triček by se veškeré snímací prvky staly součástí běžného oblečení a časová náročnost instalace všech částí dohledového systému na vojáka by se snížila na minimum.



Obr. 4 – Trička vyvinutá ve spolupráci firem Adidas a Polar.

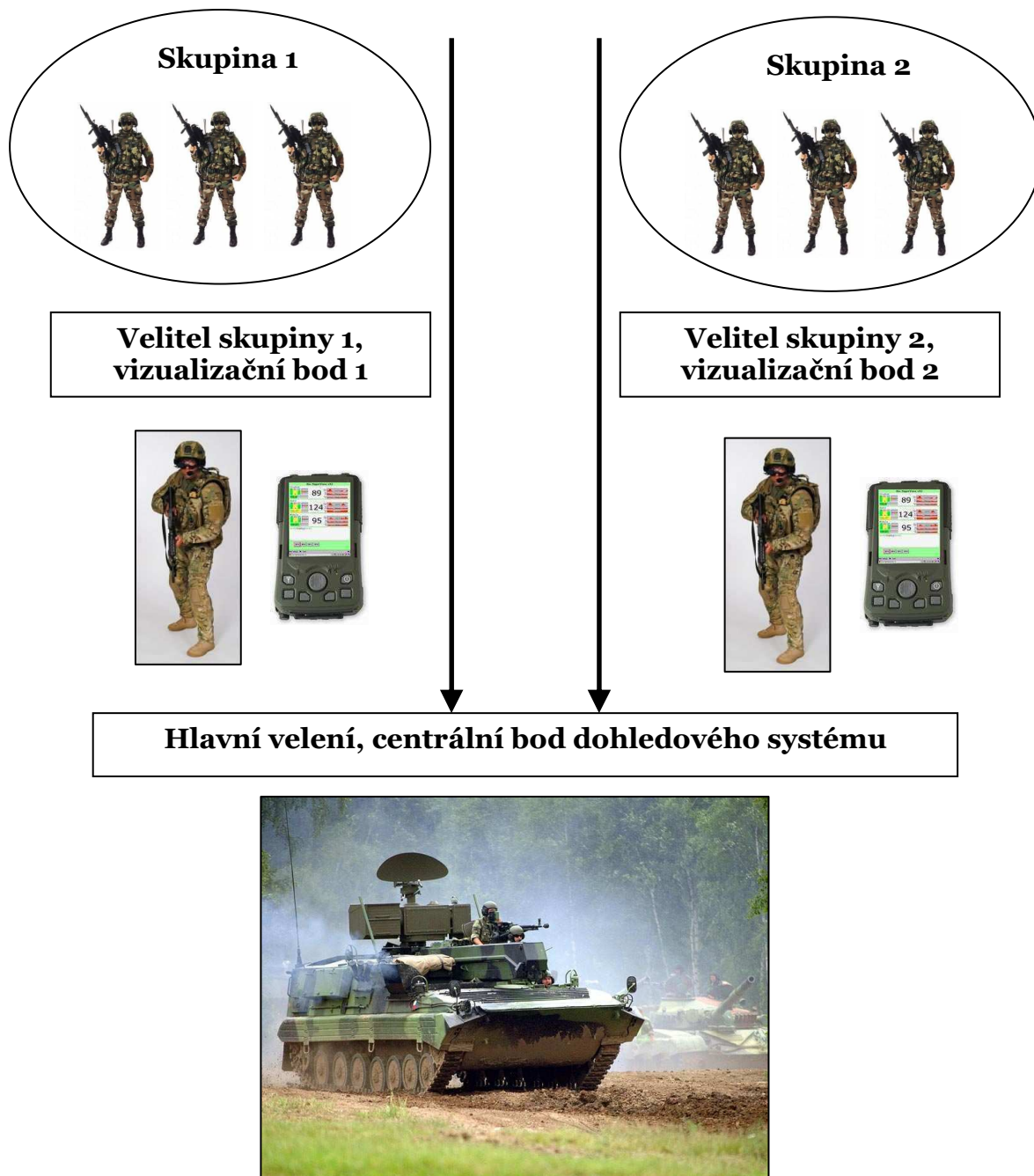
5.2.2 Osobní monitorovací jednotka

Osobní monitorovací jednotka (OMJ) je koncentrační prvek pro sběr signálů ze snímacích částí, zajišťuje zpracování signálů, jejich digitalizaci a bezdrátovou komunikaci s vizualizačním bodem. Periferní snímací prvky jsou k OMJ připojeny jedním konektorem, který zároveň slouží pro připojení nabíječky. Ze snímacích prvků jednotka obsahuje tříosý akcelerometr, který slouží k detekci pohybové aktivity. Pro správnou funkci akcelerometrů by měla být OMJ umístěna co nejbližší těžišti těla. Prozatím je jednotka umístěna v bojové vestě vojáka. OMJ obsahuje mikroprocesor a další obvody pro zpracování EKG signálu a následnou detekci tepové frekvence. Ostatní signály jsou zde předzpracovány a

digitalizovány. Výstup dat je zajištěn přes sériové rozhraní a modul pro bezdrátovou komunikaci. Obvod je napájen z lithium-iontové baterie, která dokáže zajistit provoz na 10 až 12 hodin.

5.2.3 Vizualizační bod

Vizualizační bod je místo, které slouží v dohledovém systému pro přijímání dat a jejich zobrazení od jedné monitorované skupiny. Každá skupina má vlastní vizualizační bod, jak ukazuje Obr. 5 na straně 32. Data z těchto bodů mohou být dále posílána do centrálního bodu. Vizualizační bod má tedy lokální význam a jeho dosah je omezen možnostmi bezdrátové sítě. Nejčastěji je vizualizačním bodem velitel skupiny, který je vybaven PDA nebo malým odolným notebookem. Dále vizualizační bod obsahuje modul pro bezdrátovou komunikaci s osobními monitorovacími jednotkami. Komunikace modulu s notebookem nebo PDA probíhá opět přes sériové rozhraní. Přijatá data jsou v tomto bodě softwarově zpracovávána do finální podoby a vizualizována.



Obr. 5 – Návrh struktury uspořádání dohledového systému.

5.3 Moduly pro bezdrátové rozhraní

5.3.1 Požadavky na vlastnosti modulů pro bezdrátové rozhraní

Stabilita a funkčnost celého dohledového systému nejvíce závisí na bezchybné komunikaci mezi osobními monitorovacími jednotkami a vizualizačním bodem. Parametry, které limitují možnosti používání dohledového systému jsou:

- Složitost technologie bezdrátové sítě.
- Dosah bezdrátové sítě.
- Spotřeba elektrické energie.

Výběr finální technologie tedy probíhal v několika krocích, kdy byly testovány moduly různých výrobců a hodnoceny podle výše uvedených parametrů. Cílem bylo najít správný poměr mezi limitujícími parametry tak, aby výsledná technologie maximalizovala možnosti použití dohledového systému.

5.3.2 Testování a porovnání modulů pro bezdrátové rozhraní

Do testování a porovnávání byly zahrnuty produkty 2 výrobců, Digi International a Radiometrix. Firma Radiometrix vyrábí široké spektrum radiofrekvenčních modulů lišících se v mnoha parametrech, zejména ve vysílací frekvenci a výkonu. Všechny testované produkty umožňovaly pouze komunikace point to point nebo point to multipoint (jeden přijímač/jeden vysílač nebo jeden přijímač/více vysílačů). Od firmy Digi byly testovány moduly vysílací ve volném frekvenčním pásmu 2,4 GHz pracující na technologii XBee (upravený standard ZigBee). Tyto moduly umí komunikovat point to point, point to multipoint a od druhé generace moduly disponují topologií typu MESH.

Topologie bezdrátové sítě typu MESH

Tato topologie je implementována i ve standardu ZigBee. V síti ZigBee pracující s topologií typu MESH existují 3 druhy zařízení: koncový bod, router a koordinátor. Často je koncový bod a router jedno zařízení. V sítích MESH si jsou routery a koncové body rovny a dokáží komunikovat každý s každým prvkem sítě. Koordinátor je centrální prvek sítě, v každé síti je pouze jeden, a přijímá data od ostatních prvků sítě. Síť se dynamicky rekonfiguruje v závislosti na provozních podmínkách sítě a na vzájemné viditelnosti prvků tak, aby data od všech koncových bodů byla přenesena ke koordinátorovi. Není tedy vyžadována přímá viditelnost koncového bodu s koordinátorem a tím lze několika násobně zvýšit rozsah sítě.

Moduly firmy Radiometrix

Testování probíhalo v okolí pracoviště firmy Clever Technologies, s.r.o v Praze na Albertově. Při testování modulů firmy Radiometrix byl použit vývojový kit Control44⁹, který obsahuje přijímač a vysílač. Obě destičky obsahují patičky pro připojení různých radiofrekvenčních modulů a konektor pro připojení baterie. Vysílač obsahuje tlačítko a přepínač pro odesílání dat. Přijímač obsahuje diody potvrzující přijetí zprávy. Zpráva se nastavuje na vysílací destičce pomocí 4 dvoustavových přepínačů. Každá dvojice vysílače a přijímače byla testována zvlášť. Vysílač byl vždy stacionárně umístěn ve 2. patře budovy v ulici Studničkova 7 (budova Společného pracoviště biomedicínského inženýrství FBMI a 1. LF) a přijímač byl vždy mobilní.

Výsledky dosahu vysílaného signálu jednotlivých modulů jsou přehledně zaznamenány v mapě na Obr. 6 na straně 36 včetně vzdálenosti změřené pomocí aplikace na serveru www.mapy.cz. Dalším výsledkem tohoto testu je tabulka obsahující katalogové parametry jednotlivých modulů a námi změřené hodnoty spotřeby v mA.

Spotřeba modulů byla měřena multimetrem UT33B firmy UNI-TREND. Byla měřena spotřeba destičky bez modulu, spotřeba destičky s modulem bez vysílání/přijímání a při vysílání/přijímání. Výsledná spotřeba modulu je počítána bez spotřeby destičky. Katalogové parametry modulů jsou vyobrazeny v Tab. 8 na straně 35. Výsledky měření v podobě spotřeb elektrického proudu jednotlivých modulů při vysílání/přijímání a v klidu včetně maximálního změřeného dosahu jsou v Tab. 9 na straně 35. Katalogově udávaný dosah signálu platí pro volný prostor nebo je ve tvaru volný prostor/zástavba.

Nejlépeších výsledků dosáhl modul BiM1, který vysílá na nízké frekvenci 155,725 MHz s vysílacím výkonem 100 mW. Vysílanému výkonu odpovídá i naměřená spotřeba 82 mA. Frekvence, na které tento modul vysílá ale není v ČR ve volně přístupném pásmu. Ostatní moduly vysílají ve volném frekvenčním pásmu. V dohledovém systému lze přímo použít pouze moduly TDL2A. Jedná se o modemy, které nepotřebují pro zpracování dat další obvody. Tento modul dokáže samostatně zpracovat data do paketů a odeslat přes síť. Ostatní moduly by při použití v dohledovém systému potřebovaly další obvody zvyšující energetickou náročnost a složitost systému.

⁹ Control44 Evaluation Kit [online]. Radiometrix.

Modul	Frekvence-data rate [MHz-kbit/s]	Výstupní výkon [mW]	Citlivost [dBm]	Napájení [V]	TX [mA]	RX [mA]
BiM1R	155,725-10		-120	3,8 - 15		8
BiM1T	155,725-10	100		3,8 - 15	80	
BiM2	433-160		-90	5		12
BiM2	433-160	10		5	14	
BiM3B	869-64		-101	2,9 - 16		11
BiM3B	869-64	25		2,9 - 16	35	
TDL2A	433-9,6		-107	5		22
TDL2A	433-9,6	10		5	28	
RX2	433-40		-100	3,3 - 5		13
TX2	433-40	10		3/5	6	
RX2A	433-64		-101	2,7 - 16		12
TX2A	433-64	10		3 - 16	11	
RX3A	869,5 – 10		-104	2,7 - 16		11
TX3H	869,5 – 10	500		5	310	
RX3A	869 - 64		-104/-101	2,7 - 16		11
TX3A	869 – 64	1		2,2 - 16	7,5	
TX3B	869 – 64	5/8		2,9 - 16	14	

Tab. 8 – Přehled katalogových parametrů modulů firmy Radiometrix.

Modul	Spotřeba při odesílání/přijímání [mA]	Spotřeba v klidu [mA]	Dosah katalog [m]	Dosah naměřený [m]	Barva v mapě
BiM1R	9,1	6,6	10000	278	Blue
BiM1T	82	0,1			
BiM2	24,8	19,4	50/200	89	Red
BiM2	13,8	19,4	50/200		
BiM3B	12,7	10,7	30/120	100	Pink
BiM3B	30	11,1	30/120		
TDL2A	38,5	23,9	200	258	Purple
TDL2A	38,5	23,9	200		
RX2	16,7	14,8	75/300	274	Dark Blue
TX2	11	0,1	75/300		
RX2A	19,9	10,3	75/300	245	Brown
TX2A	16,2	0,1	75/300		
RX3A	14,9	10,7	3000	258	Orange
TX3H	76,3	0,1			
RX3A	12,7	10,7	75/300	92	Green
TX3A	8,5	0,1	75/300		
TX3B	12,8	0,1	75/300		

Tab. 9 – Tabulka naměřených spotřeb elektrického proudu a naměřeného maximálního dosahu signálu u jednotlivých modulů firmy Radiometrix.



Obr. 6 – Dosah signálu jednotlivých modulů firmy Radiometrix.

Moduly firmy Digi

Moduly od firmy Digi byly testovány shodným způsobem a na stejném místě, jako moduly firmy Radiometrix. Použit byl vývojový kit International DigiMesh 2.4 Development Kit w/ 2 XBee and 2 XBee-PRO modules¹⁰ a moduly XBee 2 PRO. Moduly jsou konfigurovatelné pomocí programu X-CTU dostupného na webových stránkách výrobce. Každý modul lze naprogramovat jako koordinátor nebo koncové zařízení/router.

Nejprve byl testován dosah signálu bez použití MESH topologie, následně byl testován dosah signálu za použití této topologie. Jelikož moduly XBee mají v zástavbě jen malý dosah signálu, výchozím bodem nyní byl vjezd do dvora ve Studničkově ulici. V mapce, která je na Obr. 7 na straně 39, jsou přehledně zaznamenány výsledky o dosahu signálu jednotlivých modulů. Kružnice okolo modulů pracujících s topologií MESH naznačují šíření signálu od jednotlivých modulů a zobrazují také plochu, kterou pokrývá vytvořená bezdrátová síť. Katalogové parametry modulů XBee PRO 2 jsou v Tab. 10 na straně 38.

Hodnoty naměřených spotřeb elektrického proudu a změřeného maximálního dosahu jsou v Tab. 11 na straně 38. Dosah signálu je uveden ve tvaru v zástavbě/ve volném prostoru. Naměřený dosah je v zástavbě bez použití routerů nebo při použití 2 modulů, tedy 1 routeru a jednoho koncového modulu.

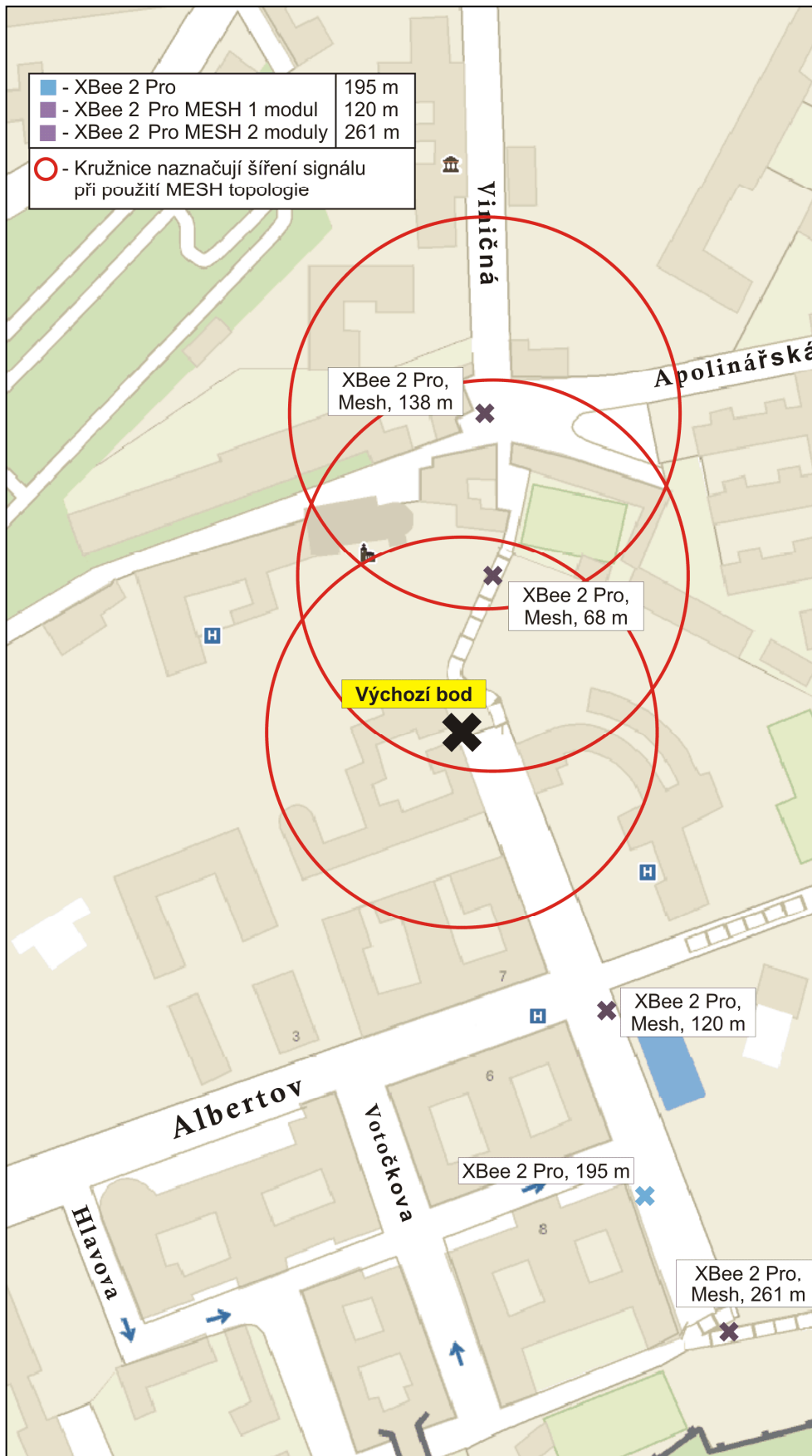
¹⁰ International DigiMesh 2.4 Development Kit w/ 2 XBee and 2 XBee-PRO modules [online]. Digi International.

Modul	Frekvence-data rate [GHz-kbit/s]	Výstupní výkon [mW]	Citlivost [dBm]	Napájení [V]	TX [mA]	RX [mA]
Xbee Pro ZNET 2,5 Rx	2,4-250		-102	3,0 – 3,4		45
Xbee Pro ZNET 2,5 Tx	2,4-250	63		3,0 – 3,4	295	
Xbee Pro ZNET 2,5 Coordinator MESH	2,4-250		-102	3,0 – 3,4		45
Xbee Pro ZNET 2,5 Router/End Device MESH	2,4-250	63		3,0 – 3,4	295	

Tab. 10 – Přehled katalogových parametrů modulů firmy Digi.

Modul	Spotřeba při odesílání/přijímání [mA]	Spotřeba v klidu [mA]	Dosah katalog [m]	Dosah naměřený [m]
Xbee Pro ZNET 2,5 Rx	85,6	48,8	100/1600	195
Xbee Pro ZNET 2,5 Tx	121,3	48,8	100/1600	
Xbee Pro ZNET 2,5 Coordinator MESH	79,8	48,6	100/1600	120
Xbee Pro ZNET 2,5 Router/End Device MESH	105,4	48,7	100/1600	2 moduly 261

Tab. 11 – Tabulka naměřených spotřeb elektrického proudu a naměřeného maximálního dosahu signálu u modulů firmy Digi.



Obr. 7 – Dosah signálu modulů formy Digi, kružnice okolo bodů naznačují šíření signálu při použití MESH topologie.

5.3.3 Výběr nejvhodnější technologie pro bezdrátový přenos

Mezi moduly firmy Radiometrix lze najít takové, které mají nízkou spotřebu elektrické energie a zároveň slušný dosah signálu. Hlavním nedostatkem je složitost při implementaci v dohledovém systému a absence topologie typu MESH.

Moduly firmy Digi mají vcelku dobrý poměr mezi spotřebou elektrické energie a dosahem signálu. Jejich implementace v dohledovém systému je jednoduchá a disponují topologií typu MESH.

Pro účely projektu dohledového systému je nejvhodnější použít technologii XBee a moduly XBee Pro ZNET 2,5 od firmy Digi.

5.3.4 Popis vybrané technologie pro bezdrátové rozhraní

Moduly firmy Digi používají technologii XBee, což je upravený průmyslový standard ZigBee. Vysílají ve volném frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Konfigurace modulů se provádí pomocí softwaru X-CTU, kde lze nastavit i základní parametry sítě. Pro správné fungování komunikace v síti je zapotřebí nastavit PAN ID (číslo sítě) a operační kanál. Lze nastavit množství dalších parametrů, které např. snižují spotřebu, definují směrování dat v síti apod. Technologie XBee přímo podporuje šifrování dat pomocí standardu AES 128 bitového klíč. Další výhodou je podpora topologií typu MESH, která umožňuje pomocí routerů rozšířit dosah sítě. Použitá technologie pouze nesplňuje požadavek na vysílání v rozprostřeném spektru.



Obr. 8 – Ukázka modulů firmy Digi XBee a XBee PRO.

5.4 Software

Software dohledového systému tvoří firmware obsažený v osobní monitorovací jednotce, program Soldier Inspect pro online vizualizaci dat a program Soldier Viewer pro offline prohlížení záznamů. Detailní popis programů Soldier Inspect a Soldier Viewer je v kapitole 7, proto zde zmíním jen jejich obecný popis.

Program **Soldier Inspect** slouží k zobrazení snímaných dat a informací o monitorovaných vojácích. Jména vojáků a jejich parametry se získávají z externího zdroje, kterým v budoucnu bude databáze. Program obsahuje několik pohledů na snímané parametry. První pohled zobrazuje pouze jednu veličinu pro každého monitorovaného vojáka. Tato veličina charakterizuje stav vojáka komplexně (o komplexní veličině pojednává kapitola 6 Zpracování signálů na straně 42). Velitel má v tomto pohledu jasný přehled o aktuálním stavu celé skupiny monitorovaných vojáků. Druhý pohled díky své variabilitě umožňuje detailní zobrazení jakékoliv snímané veličiny. Tento pohled je jednoduše konfigurovatelný a umožňuje dané nastavení uložit do souboru. Všechny veličiny u obou pohledů jsou zobrazeny ve formě grafu s dlouhou historií s možností nastavení alarmových mezí.

Program **Soldier Viewer** slouží k zobrazování již nasbíraných dat. Pokud při sběru dat byl pořizován i videozáznam např. s průběhem výcviku, lze data s videem propojit. Program umožňuje zobrazit časový průběh vybraného parametru ve formě grafu. Do jednoho grafu si lze zobrazit více parametrů. Soldier Viewer je ideálním nástrojem pro vyhodnocování uskutečněných zásahů nebo cvičení. Lékař nebo fyzioterapeut může hodnotit fyzický stav vojáka při zásahu nebo výcviku, velitel může hodnotit správnost prováděných cvičení nebo plnění rozkazů.

Shrnutí kapitoly 5

Dohledový systém je koncipován jako modulární systém. Moduly pro snímání EKG, teploty a aktigrafických dat jsou obsaženy v hrudním pásu, který svou konstrukcí vychází z pásu firmy Polar. Hrudní pás je drátově spojen s osobní monitorovací jednotkou, kde jsou signály předzpracovány, digitalizovány a je provedena detekce R – R intervalu z EKG křivky. Bezdrátovou komunikaci osobní monitorovací jednotky s vizualizačním bodem zajišťují moduly firmy Digi, které podporují topologii typu MESH. Vizualizační bod přijímá data od monitorovaných vojáků a pomocí softwaru Soldier Inspect (online) a Soldier Viewer (offline) je zobrazuje.

6 Zpracování signálů

6.1 Úvod a definice pojmu komplexní veličina

Zpracování signálů ze snímacích modulů se děje dvoustupňově. Osobní monitorovací jednotka zajišťuje předzpracování signálů, jejich digitalizaci a detekci tepové frekvence z EKG signálu. Konečné zpracování signálů je prováděno ve vizualizačním bodě. Podrobný popis zpracování signálů v dohledovém systému není cílem této diplomové práce, proto zde uvádím jen ty části zpracování, na kterých jsem se přímo podílel.

Definice pojmu komplexní veličina

Pojmem komplexní veličina je v této práci myšlena veličina, která má za cíl objektivně popsat aktuální fyzický a psychický stav vojáka, tedy zhodnotit jeho bojeschopnost. Jedná se o vypočtenou veličinu, která má jako vstupní parametry snímané veličiny a další parametry vojáka.

Účel zavedení pojmu komplexní veličina

Dohledový systém má sloužit vojákům v reálných podmínkách, při výcviku i při boji. Pokud by systém zobrazoval pouze vybrané veličiny z kapitoly 4 Analýza veličin vhodných pro dohledový systém, obsluhu systému by musel provádět předem vyškolený voják, který by z naměřených dat vytvářel závěry. Používání systému by se tedy stalo závislé na externích zdrojích, v tomto případě na vyškolených odbornících. Cílem systému však je, aby jeho obsluha byla jednoduchá a nevyžadovala přítomnost dalších odborníků. Chceme, aby systém poskytoval přehledné a jasné informace přímo veliteli bez nutnosti mezičlánku nebo lidského interpretátora dat. Data by mohla být interpretována i pomocí softwaru, tzv. umělého inteligencí, např. některou z technik strojového učení nebo pomocí neuronové sítě. Tyto metody však nelze spolehlivě použít bez předchozího sběru značného množství dat, která by sloužila při učení systému. Proto byla pro začátek zvolena jednodušší metoda, tedy definice pomocného parametru, v našem případě pojmenovaném komplexní veličina, která daným způsobem propojuje informace o snímaných veličinách a konečná interpretace komplexní veličiny a ostatních dat je ponechána na veliteli.

6.2 Analýza metod pro výpočet komplexní veličiny

Při výběru vhodných metod pro výpočet komplexní veličiny jsme vycházeli z požadavků na vstupní data, požadavků na výpočetní složitost metody a požadavků na složitost implementace metody v dohledovém systému. Vstupní data tvoří z velké části snímané veličiny, tedy tepová frekvence, teplota a pohybová aktivita. Všechny tyto veličiny vykazují souvislost se spotřebou energie organismem při fyzické a psychické námaze. Navázali jsme tedy na tento poznatek a začali se studiem metod pro odhad energetického výdeje, též energy expenditure (EE)¹¹.

Mezi referenční metody pro měření spotřeby energie patří přímá kalorimetrie, nepřímá kalorimetrie a metoda dvojitě značené vody. Přímá kalorimetrie se téměř nepoužívá a metoda dvojitě značené vody je drahá a poskytuje výsledky v horizontu dní. Metodu nepřímé kalorimetrie popíšeme v následujícím textu, jelikož stojí jako základ pro většinu metod odhadu nebo výpočtu energetické spotřeby organismu. Pro výpočet nebo odhad energetického výdeje existuje velké množství metod, dále tedy popíšeme jen ty, které jsou použitelné v dohledovém systému.

6.2.1 Nepřímá kalorimetrie

Tato metoda je založena na předpokladu, že k uvolňování energie v našem organismu je ve většině případů zapotřebí kyslík a hlavní odpadní látkou je oxid uhličitý. Množství energie uvolněné z různých substrátů popisuje energetický ekvivalent kyslíku ($EEqO_2$), což je množství energie vzniklé spálením 1 litru kyslíku. Hodnoty pro jednotlivé substráty obsahuje Tab. 12 na straně 44. Pro zpřesnění metody se ještě používá stanovení urey v moči ke zjištění množství odbouraných proteinů. Přístroj pro nepřímou kalorimetrii obsahuje dýchací masku a kontinuálně měří objem vdechnutého kyslíku za jednotku času (VO_2). Pro výpočet spotřebované energie pak postačí dosadit do rovnice pro energetický výdej¹²

$$EE[J] = VO_2[l] \cdot EEqO_2[J \cdot l^{-1}].$$

¹¹ Placheta, Z., Siegelová, J., Štejfá, M., a kol.: *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Kapitola 4.2.1, Tělesná výkonnost, s. 68.

¹² Placheta, Z., Siegelová, J., Štejfá, M., a kol.: *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Kapitola 4.3.9, Určení energetického výdeje, s. 146.

Substrát	Energetický ekvivalent [kJ]
Sacharidy	21,2
Sacharidy – tuky	20,7
Tuky – sacharidy	20,2
Tuky	19,7
Průměrná hodnota při zátěži	20,8

Tab. 12 – Přehled energetických ekvivalentů pro jednotlivé substráty.

6.2.2 Odhad na základě bazálního metabolismu

Bazální metabolismus je množství energie potřebné k udržení základních, pro život nezbytných funkcí za bazálních podmínek, to znamená v klidu, nalačno a v přiměřeně teplém prostředí. Hodnota je závislá na věku a pohlaví.¹³ Bazální metabolismus lze měřit přímou i nepřímou kalorimetrií nebo lze vypočítat použitím Harris-Benedictova vzorce. Pro muže platí $66 + (13,7 \cdot \text{hmotnost}[\text{kg}]) + (5 \cdot \text{výška}[\text{cm}]) - (6,8 \cdot \text{vek})$ a pro ženy platí $655 + (9,6 \cdot \text{hmotnost}[\text{kg}]) + (1,85 \cdot \text{výška}[\text{cm}]) - (4,7 \cdot \text{vek})$. Výsledkem je množství energie v kcal spotřebované za den při bazálních podmínkách. Pro přepočítání na jednotku joule se používá vztah $1\text{kcal} = 4,1868\text{kJ}$. Bazální metabolismus tvoří asi 70% z celkového výdeje energie za den, 20% tvoří fyzická aktivita a přibližně 10% je využito na termogenezi a zpracování potravy. Fyzická aktivita tedy zaujímá jen menší část z celkové spotřeby energie a tak tedy jde při určitém zjednodušení situace odhadnout energetický výdej určitým násobkem bazálního metabolismu dle náročnosti fyzické aktivity.

6.2.3 Odhad na základě vztahu tepové frekvence a spotřeby kyslíku

Tato metoda svou podstatou vychází z nepřímé kalorimetrie. Spotřeba kyslíku organismem však není měřena, ale je vypočtena podle zvolené metodiky odhadu. Využívá se empiricky zjištěné závislosti mezi veličinou charakterizující výkonnost organismu z hlediska tepové frekvence a z hlediska spotřeby kyslíku. Např. se dá předpokládat, že se rovná procento maximální tepové rezervy (HRR) a procento maximální rezervy kyslíku (VO_{2R})¹⁴.

¹³ Rokyta, R. a kol.: *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Kapitola 11, Metabolismus, s. 160.

¹⁴ Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R., Jr., et al.: *Evaluation of heart rate as method for assessing moderate intensity physical activity*.

Hodnoty maximální rezervy se vypočítají jako *maximální hodnota – hodnota v klidu*.

Procento HRR se vypočte: $\%HRR = \frac{HR - HR_{klid}}{HR_{max} - HR_{klid}} \cdot 100$ a procento VO_{2R} :

$\%VO_{2R} = \frac{VO_2 - VO_{2klid}}{VO_{2max} - VO_{2klid}} \cdot 100$. Po úpravách dostaneme přímou závislost mezi tepovou

frekvencí (HR) a aktuální spotřebou kyslíku (VO_2):

$VO_2 = \frac{HR - HR_{klid}}{HR_{max} - HR_{klid}} \cdot (VO_{2max} - VO_{2klid}) + VO_{2klid}$. Spotřebu kyslíku pak můžeme dosadit do

vzorce pro výpočet energetického výdeje z kapitoly 6.2.1.

Maximální hodnotu tepové frekvence (HR_{max}) můžeme vypočítat pomocí jednoho z definovaných vzorců nebo lze zjistit experimentálně např. na byciklovém ergometru. HR_{max} závisí na věku a menší mírou také na trénovanosti. Obecně s věkem HR_{max} klesá. Krátkodobá variabilita je téměř nulová. Klidová tepová frekvence (HR_{klid}) se měří ráno po probuzení, v klidu a na lůžku. Tato hodnota závisí na trénovanosti, aktuálním stavu sil a odpočatosti organismu. Věk zde nehraje takovou roli. Je krátkodobě variabilní.

Maximální hodnotu spotřeby kyslíku (VO_{2max}), též maximální přijatý kyslík, lze vypočítat pomocí vzorce nebo stanovit definovaným testem. VO_{2max} charakterizuje transportní systém pro kyslík a závisí nejvíce na aktuální fyzické kondici. Jelikož vykazuje krátkodobou variabilitu (dle aktuální trénovanosti), doporučuje se použít test. Klidová spotřeba kyslíku (VO_{2klid}) je pro muže asi 3,6 ml na kg hmotnosti za minutu a pro ženy 3,4 ml na kg hmotnosti za minutu.

Lze také využít závislosti mezi tepovou frekvencí (HR) a procentem maximální tepové rezervy (VO_{2max}), kterou popsal Legge ve své práci¹⁵ v roce 1986. Hodnotí zde nomogram vytvořený Astrandem a Ryhmingovou pro stanovení maximální tepové rezervy. Legge prezentuje vznik nomogramu a také data, která jsou použita pro vytvoření nomogramu. Mezi nimi prezentuje i závislost mezi tepovou frekvencí a procentem maximální tepové rezervy u trénované a netrénované skupiny.

¹⁵ Legge, B. J., Banister, E. W.: *The Astrand-Ryhming nomogram revisited*.

6.2.4 Odhad na základě pohybové aktivity

Pro snímání pohybové aktivity se používá akcelerometr upevněný v těžišti těla (v bederní části). Akcelerometr snímá změny pohybu za určitou časovou jednotku. Počet změn pak lze přepočítat na spotřebovanou energii. Pro odhad energetického výdeje na základě pohybové aktivity se používá např. pedometr nebo počítač kalorií „KENZ“.

Pedometr (krokoměr) je jednoduchý přístroj pro měření počtu kroků při chůzi. Základem je akcelerometr, který měří polohu těžiště těla. Při chůzi a běhu se těžiště specificky pohybuje a elektronika uvnitř pedometru pohyby vyhodnocuje a na jejich základě měří ušlou vzdálenost. Pedometr umí vypočítat i spotřebu kyslíku (VO_2), rychlost chůze nebo množství spotřebovaných kalorií při pohybu.

Počítač kalorií „KENZ“ je složitější přístroj, který zaznamenává pohyb těla. Minipočítač pohyb vyhodnocuje a poměrně přesně jej převádí na spotřebovanou energii. Výhodou přístroje je, že dokáže měřit výdej energie i ve spánku.

6.2.5 Odhad na základě předem vytvořeného statistického modelu

Při vytváření modelu je nejprve vybrán reprezentativní vzorek populace. Populací může být i jednotlivec. V laboratorních podmínkách provádějí testování jedinci fyzickou aktivitu, pro kterou by měl být statistický model použit. Při cvičení jsou snímány různé parametry, např. tepová frekvence, teplota a data z akcelerometrů. Vybranou metodou, většinou nepřímé kalorimetrie, je zároveň měřena vydaná energie. Na základě nasbíraných dat je vytvořena závislost např. mezi vydanou energií na jedné straně a tepovou frekvencí a daty z akcelerometrů na straně druhé. Jako parametry pak slouží např. věk, povrch těla, sportovní zaměření atd. Statistický model pak lze převést do vzorce (algoritmu) nebo použít klasifikátor či neuronovou síť. Při použití této metody a vhodně zvoleného statistického modelu lze získat výsledky s chybou do 10%¹⁶.

¹⁶ An Energy Expenditure Estimation Method Based on Heart Rate Measurement [online]. Firstbeat Technologies Ltd.

6.3 Návrh zpracování snímaných veličin pro účely výpočtu komplexní veličiny a vizualizace dat v dohledovém systému

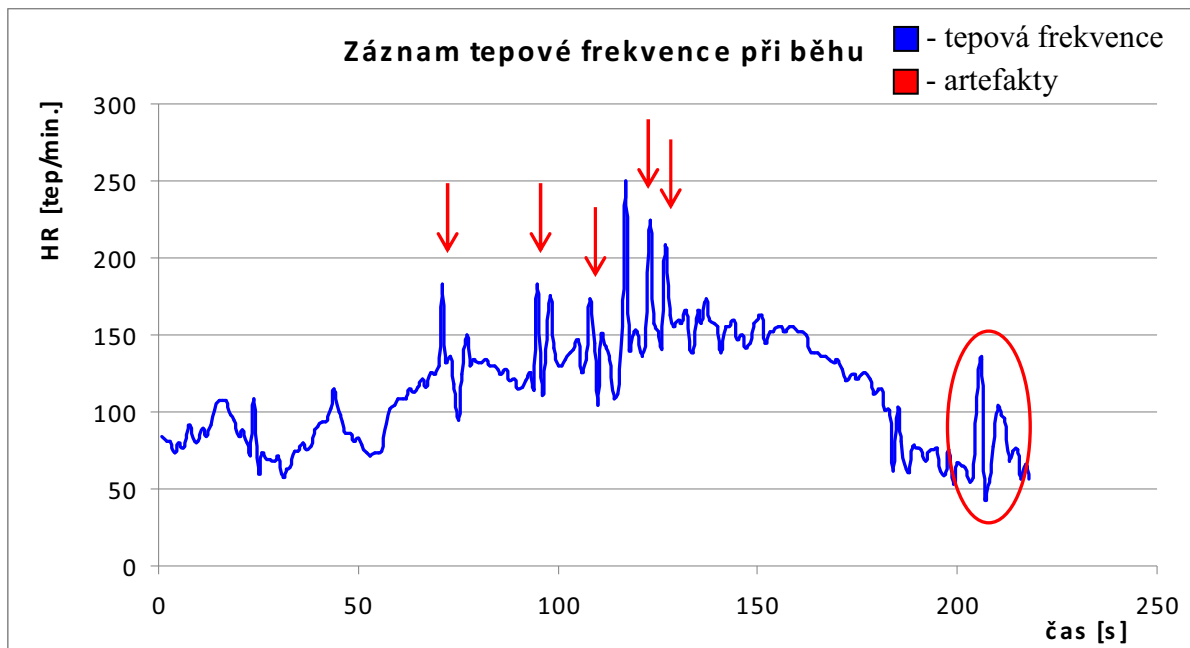
6.3.1 Zpracování tepové frekvence

Tepová frekvence (HR) je detekována z EKG signálu v osobní monitorovací jednotce a do vizualizačního bodu je posílána ve formě časové vzdálenosti R – R intervalu. Interval je přepočítán na údaj o tepové frekvenci za minutu.

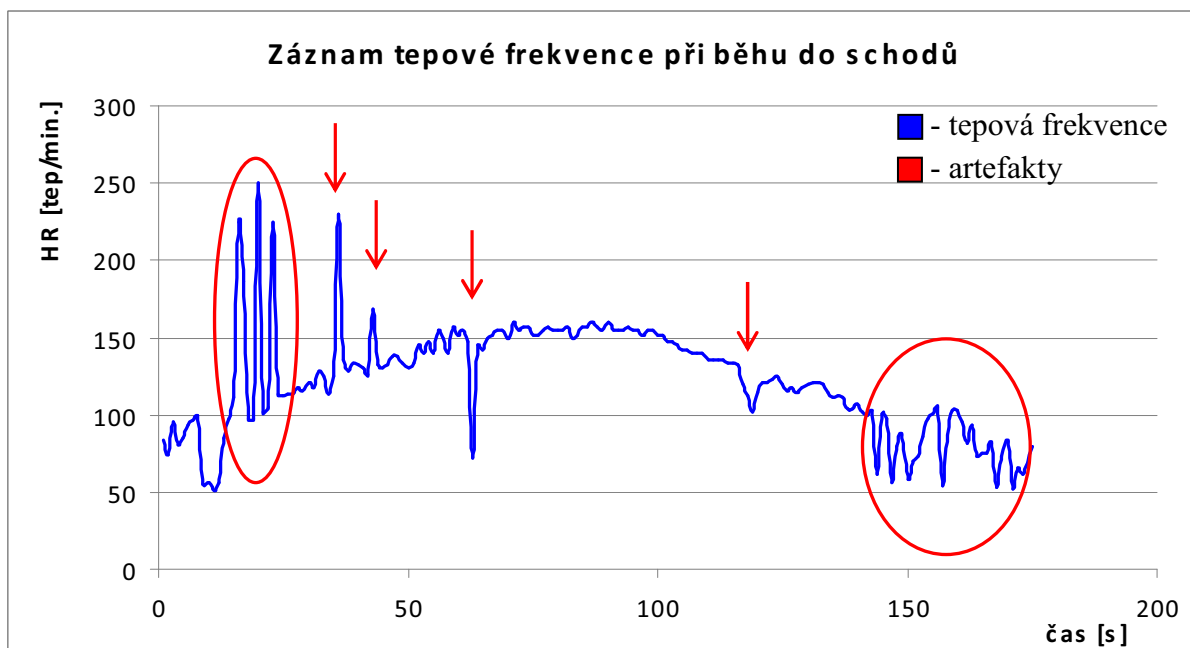
Detekce tepové frekvence z EKG signálu není triviální proces a úspěšnost detekce závisí na kvalitě signálu, převážně QRS komplexu, a na použitém detekčním algoritmu. Nelze se však vyhnout artefaktům způsobených aktivitou svalů při pohybu nebo pohybem snímacích elektrod v hrudním pásu. Kvalitní detektor HR dokáže část artefaktů potlačit, ale v silně zarušeném signálu vždy vznikají falešné detekce nebo QRS komplex není rozpoznán. Hodnoty tepové frekvence jsou pak nefyziologické nebo se od sebe vzájemně velmi liší.

Cíle pro zpracování tepové frekvence

Mým úkolem bylo nalézt algoritmus, který by fungoval jako filtr a z dat o tepové frekvenci by odstraňoval nefyziologické hodnoty a artefakty. Při řešení jsem nejprve ověřil funkčnost detektoru tepové frekvence. Provedl jsem sérii testů se sběrem dat a následně vyhodnotil činnosti, při kterých se objevují v signálech artefakty. Nejvíce artefaktů se objevovalo při běhu po rovině (Graf 1 na straně 48) a při běhu do schodů (Graf 2 na straně 48). Data nasbíraná při těchto činnostech sloužila pro vytvoření první verze filtračního algoritmu.



Graf 1 – Záznam tepové frekvence při běhu s vyznačenými artefakty.



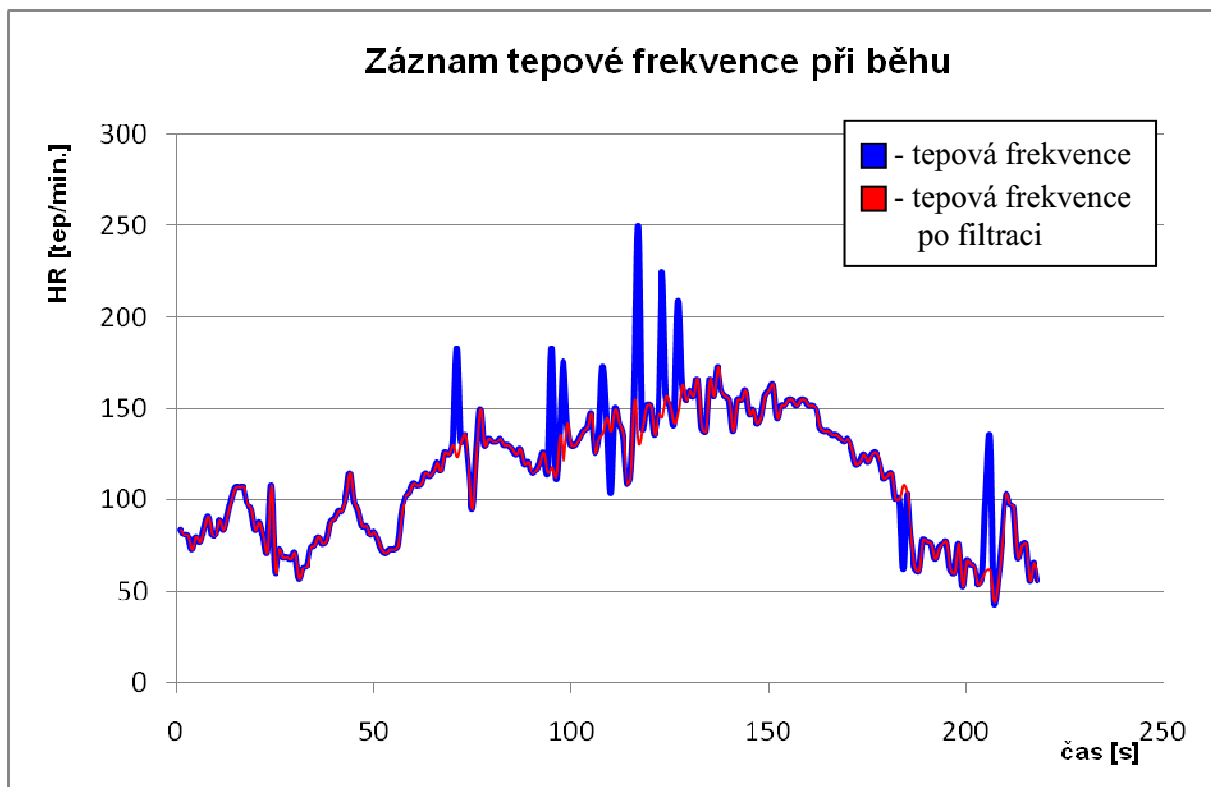
Graf 2 – Záznam tepové frekvence při běhu do schodů s vyznačenými artefakty.

První verze algoritmu pro úpravu tepové frekvence (offline verze)

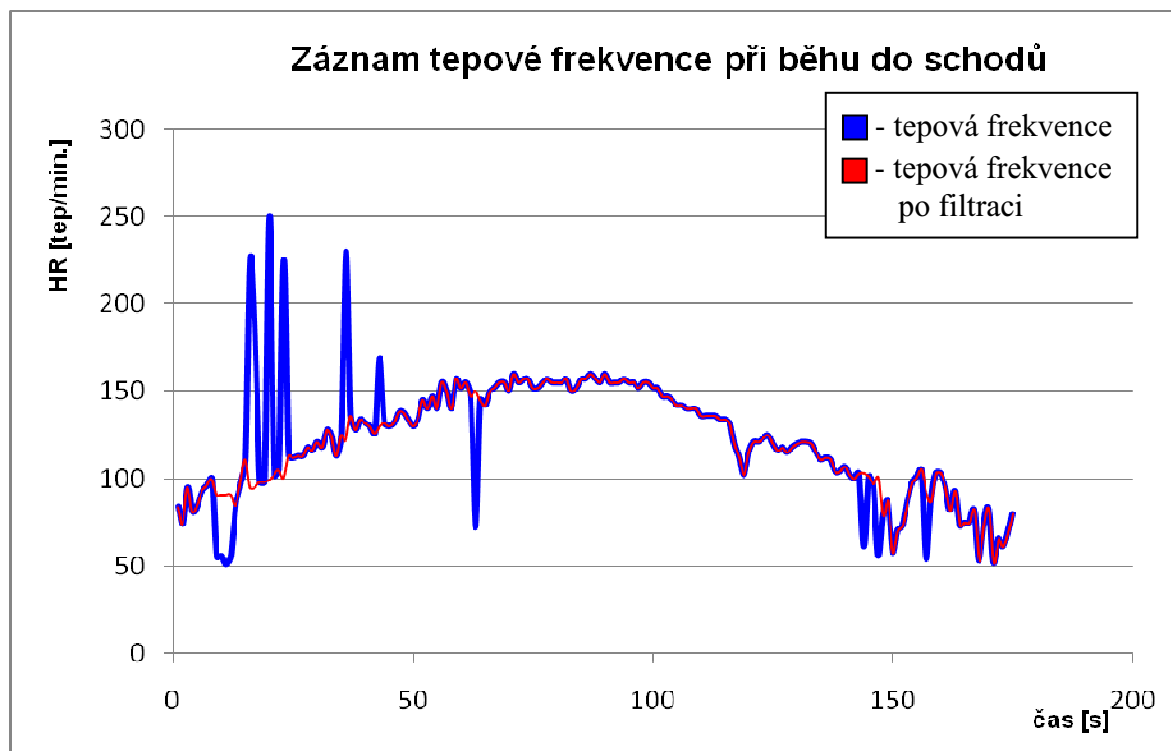
První verze algoritmu je vytvořena v prostředí Visual Basic v MS Excel 2003 a slouží pro zpětnou filtraci dat tepové frekvence, neposkytuje tedy online pohled na upravená data tepové frekvence. Je založena na průměrování a faktu, že tepová frekvence se za fyziologických podmínek nemůže v sousedních hodnotách lišit o určitou hodnotu.

Algoritmus postupně prochází data a porovnává dva sousední údaje o tepové frekvenci, zda se od sebe neliší více než dovoluje parametr. Pokud rozdíl sousedních hodnot je větší jak parametr (místo A), algoritmus vypočte průměrnou hodnotu tepové frekvence z 5 předešlých hodnot a prochází hodnoty dál až do místa (místo B), kde hodnota tepové frekvence spadá do intervalu průměr \pm parametr. Data mezi místem A a B jsou nahrazena vypočteným průměrem.

Algoritmus spolehlivě opravuje krátké zarušené úseky. Pokud je úsek delší, spolehlivost algoritmu klesá a stává se nepřesným. Záznam tepové frekvence po úpravě algoritmem ukazují Graf 3 na straně 49 a Graf 4 na straně 50.



Graf 3 – Záznam tepové frekvence při běhu před a po filtraci hodnot, algoritmus 1.



Graf 4 – Záznam tepové frekvence při běhu do schodů před a po filtraci hodnot, algoritmus 1.

Druhá verze algoritmu pro úpravu tepové frekvence (online verze)

Druhá verze algoritmu pro úpravu tepové frekvence je implementována přímo ve vizualizačním softwaru dohledového systému. Algoritmus funguje jako komponenta, kterou sdílí program Soldier Inspect i Soldier Viewer. Software je naprogramován v prostředí Microsoft Visual C#, já jsem pracoval ve volně přístupné verzi Microsoft Visual C# 2008 Express Edition.

Vývoj algoritmu probíhal ve 2 fázích. V první fázi jsem využil širokých možností programu MATLAB (Verze 7.7.0.471) a vytvořil modelovou situaci odpovídající zpracování tepové frekvence softwarem dohledového systému. V druhé fázi jsem převedl algoritmus do vývojového prostředí MS Visual C# a odladil ho pro použití v dohledovém systému.

Pro vývoj algoritmu jsem měl k dispozici data obsahující jak krátké zarušené úseky, tak delší a silně zarušené úseky. Hlavní část algoritmu je prováděna ve *for* cyklu, který simuluje opakované volání modulu pro úpravu tepové frekvence v dohledovém systému. Zásobník představuje paměť modulu, do které jsou ukládány hodnoty o tepové frekvenci po filtraci. Z těchto hodnot je počítán průměr tepové frekvence. Po naplnění zásobníku algoritmus rozhoduje, zda se nejnovější hodnota tepové frekvence liší od předchozí hodnoty

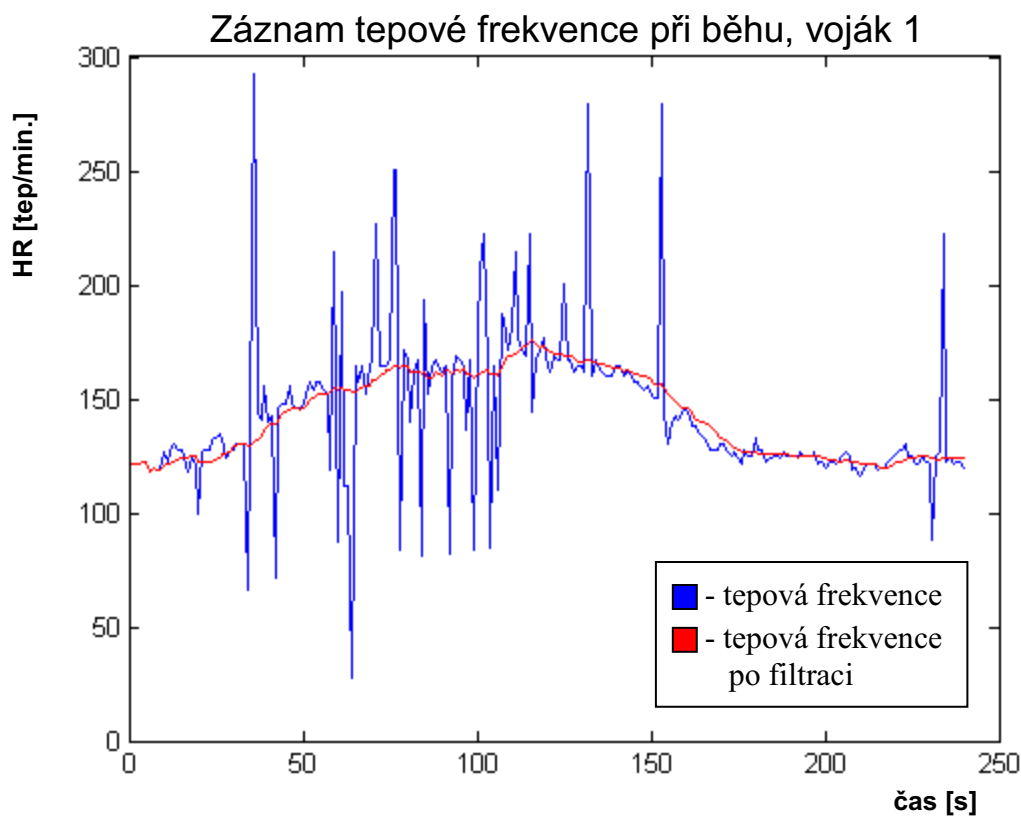
tepové frekvence po filtraci o více, než dovoluje parametr (doporučená hodnota parametru je 30).

Pokud se hodnoty neliší, do zásobníku je přidána hodnota tepové frekvence a ze zásobníku je spočítán průměr. Tato průměrná hodnota je hodnotou tepové frekvence po filtraci.

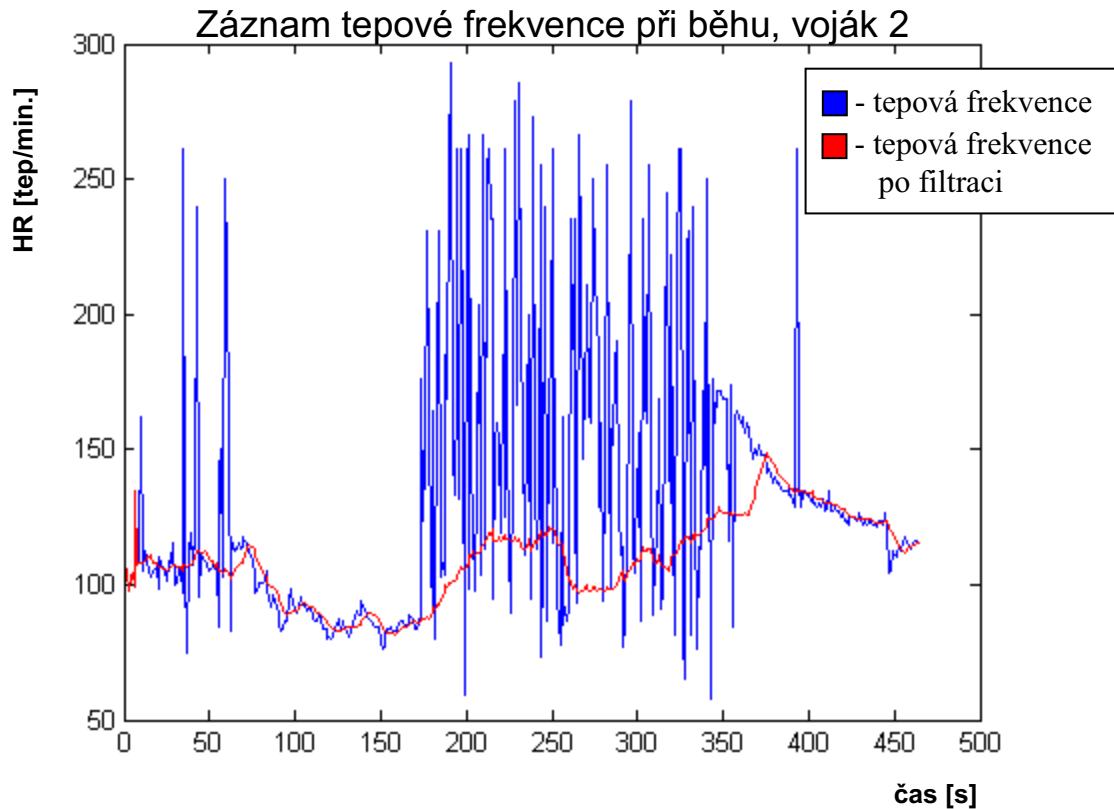
Pokud se hodnoty liší o více, než dovoluje parametr, do zásobníku je uložena předchozí hodnota tepové frekvence po filtraci zvýšená o desetinu rozdílu předchozí a aktuální hodnoty tepové frekvence. Tento krok v algoritmu postihuje trend tepové frekvence. Pro silně zarušené signály doporučuji použít pětinu rozdílu až polovinu rozdílu. Tento parametr by měl být proměnný v závislosti na množství špatných detekcí.

Ve zbytku algoritmu se posouvají hodnoty v zásobníku tak, aby na první pozici byla aktuální hodnota. Na závěr jsou provedeny operace upravující délku proměnných a zobrazení výsledků v grafické podobě.

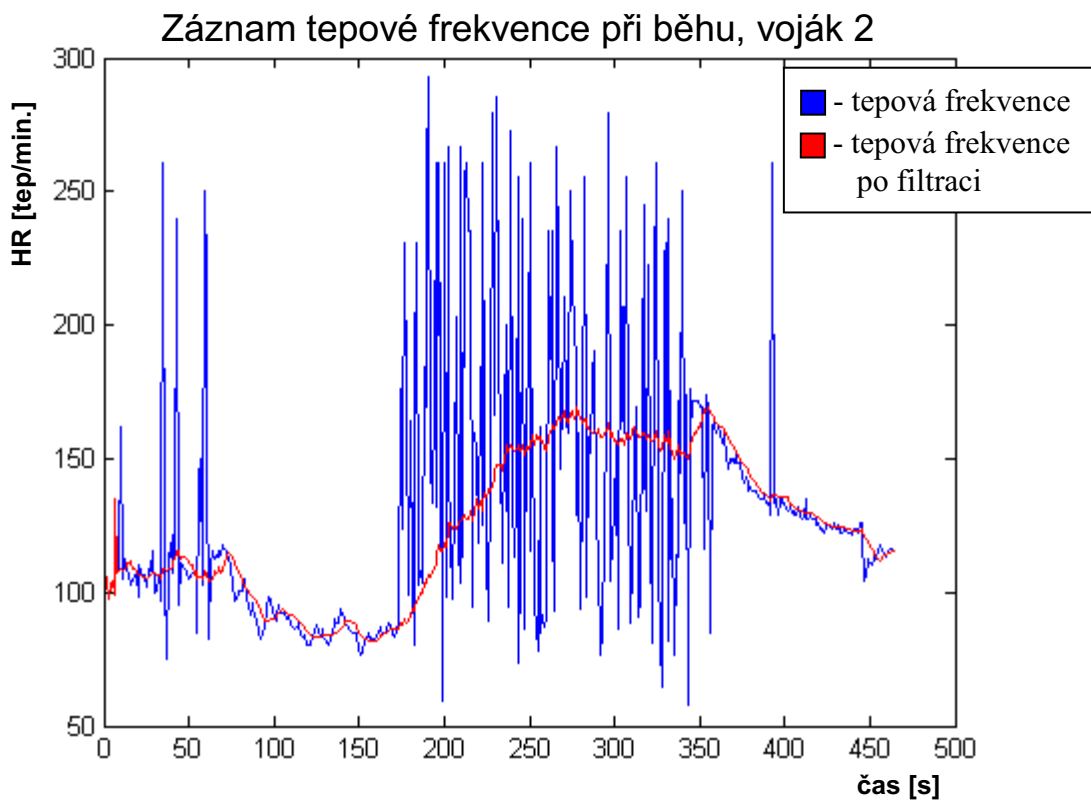
Algoritmus implementovaný v dohledovém systému funkčně plně odpovídá algoritmu popsanému výše, proto zde popis nebudu opakovat. Funkčnost algoritmus zobrazuje Graf 5 – Záznam tepové frekvence při běhu před a po filtraci hodnot, algoritmus 2 Graf 5 na této straně a Graf 6 a Graf 7 na straně 52.



Graf 5 – Záznam tepové frekvence při běhu před a po filtraci hodnot, algoritmus 2.



Graf 6 – Záznam tepové frekvence při běhu před a po filtraci hodnot, algoritmus 2, hodnota parametru pro postihnutí trendu je 10.



Graf 7 – Záznam tepové frekvence při běhu před a po filtraci hodnot, algoritmus 2, hodnota parametru pro postihnutí trendu je 5.

6.3.2 Zpracování signálu z termistoru

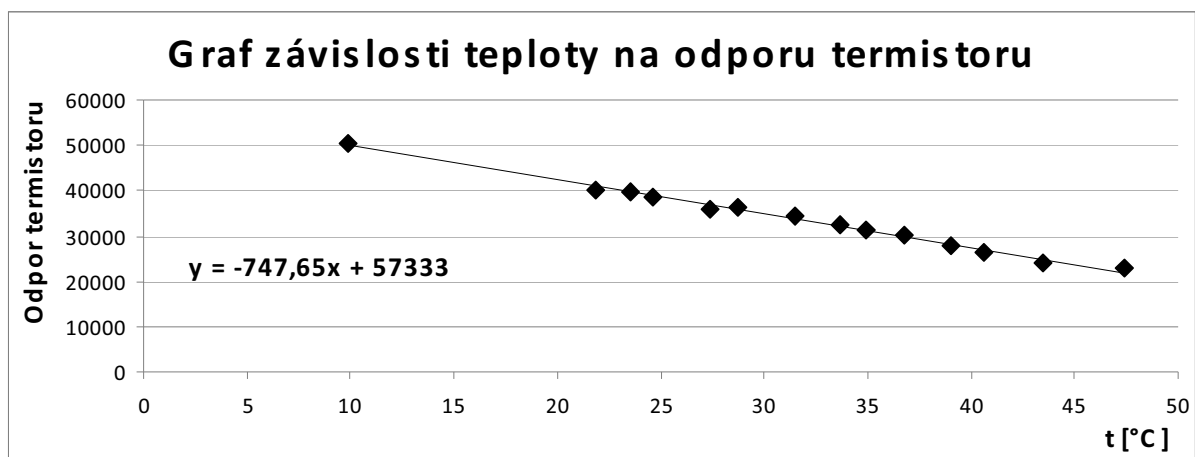
Z termistoru přichází do vizualizačního bodu již digitalizovaný signál, který odpovídá úbytku napětí na termistoru. Termistor je tzv. negastor, u kterého s rostoucí teplotou klesá elektrický odpor a podle ohmova zákona klesá i úbytek napětí. Mým úkolem bylo najít vztah mezi surovými daty z termistoru a Celsiovou stupnicí teploty, tedy provést tzv. kalibraci.

U termistorů obecně platí, že závislost odporu na teplotě je pro celý rozsah měřitelných hodnot nelineární, exponenciální. Měřitelný rozsah teplot však může být omezen a vybrán tak, že závislost odporu látky na teplotě lze v daném rozsahu teplot (např. 20 °C až 50 °C) považovat za lineární. Pro účely dohledového systému stačí zjistit závislost mezi odporem a teplotou v rozmezí 10 až 50 °C.

Kalibrace termistorů

Samotnou kalibraci jsem prováděl nad vodní lázní za použití přesného digitálního teploměru. Do vodní lázně jsem nalil horkou vodu, která vyhřívala prostor nad lázní. Po stabilizaci celého systému jsem v intervalu 10 minut zapisoval teplotu z digitálního teploměru a hodnoty dat od jednotlivých termistorů. Měření nízké teploty jsem prováděl v lednici.

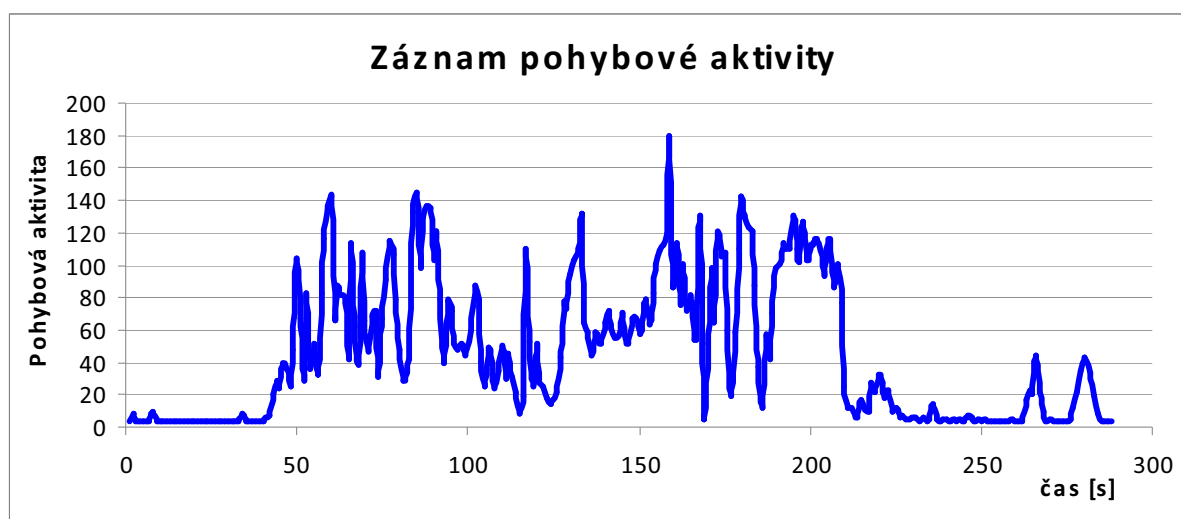
Při měření se ukázalo, že závislost mezi teplotou a odporem lze považovat v rozsahu teplot 10 až 50 °C za lineární. Pomocí MS Excel jsem data proložil regresní křivkou (lineární) a zjistil rovnici regrese. Graf 8 ukazuje lineární závislost mezi teplotou a odporem jednoho z termistorů. Také se ukázalo, že každý termistor má jinou rovnici regrese a tedy i jinou závislost mezi teplotou a odporem. Hrudní pás s termistorem tedy musí tvořit s osobní monitorovací jednotkou jeden set. Do softwaru dohledového systému byl implementován modul, který přepočítává data z jednotlivých termistorů do Celsiovy stupnice.



Graf 8 – Ukázka lineární závislosti teploty na odporu termistoru, body jsou proloženy lineární regresní křivkou.

6.3.3 Zpracování signálu z akcelerometrů

V dohledovém systému jsou zpracovávána data ze 2 tříosých akcelerometrů. Zpracování signálu probíhá v osobní monitorovací jednotce. Použitý akcelerometr pracuje na principu změny kapacity vzduchového kondenzátoru. Kondenzátor obsahuje 3 elektrody, z nichž jedna se pohybuje vlivem působícího zrychlení. Tímto mechanismem je zrychlení převedeno na elektrický signál. Signál je pro každou osu snímání digitalizován a koncentrován za dobu 1 sekundy. Následně jsou sečteny příspěvky od všech os od obou akcelerometrů. Výsledkem snímání je tedy jedno číslo, které odpovídá množství pohybových změn za 1 sekundu, tedy pohybové aktivitě. Záznam pohybové aktivity při běhu zobrazuje Graf 9.



Graf 9 – Záznam pohybové aktivity při běhu.

Cíle pro zpracování signálu z akcelerometrů

Software ve vizualizačním bodě by měl v budoucnu kvantifikovat sumu aktigrafického signálu za 1 sekundu a vyjádřit pohybovou aktivitu např. v množství spálených kalorií. Aktigrafický signál lze také využít při tvorbě statistického modelu pro výpočet komplexní veličiny. Ze signálu lze také rozeznat polohu snímače a tedy i polohu vojáka. V budoucnu by měl dohledový systém obsahovat i tuto funkci.

6.4 Návrh výpočtu komplexní veličiny

Při návrhu výpočtu komplexní veličiny pro první generaci systému jsme využili převážně jednodušší metody, které nedosahují takové přesnosti. Tyto metody nám naopak přinesly cenné poznatky o dané problematice a zkušenosti s výpočty spotřeby energie. Zvolené metody jsou nepřesné převážně v absolutním měřítku, trendy naopak postihují dobře. Cílem dohledového systému je nasbírání většího množství dat, analýza stávajících algoritmů, jejich postupné vylepšování a konstrukce statistického modelu pro přesný výpočet spotřeby energie. Níže popsané a realizované metody tedy nejsou finální, ale slouží především k odladění systému, k načerpání zkušeností a ke sběru dat pro testování nových algoritmů. Realizované metody jsou založeny na vztahu tepové frekvence a spotřeby kyslíku a jsou pojmenovány podle hlavních autorů článků, v kterých byla metoda prezentována.

6.4.1 Realizovaný návrh pro výpočet komplexní veličiny, metoda 1, Strath

Obecně je tato metoda popsána v kapitole 6.2.3 na straně 55. Jádro metody je převzato z článku *Evaluation of heart rate as method for assessing moderate intensity physical activity*¹⁷. Metoda předpokládá rovnost mezi procentem maximální tepové rezervy (%HRR) a procentem maximální rezervy kyslíku (%VO_{2R}). Vstupní parametry jsou tepová frekvence po filtraci, hmotnost, maximální spotřeba kyslíku (VO_{2max}), klidová spotřeba kyslíku (VO_{2klid}), maximální tepová frekvence (HR_{max}), klidová tepová frekvence (HR_{klid}) a energetický ekvivalent kyslíku (EEqO₂). Parametry jsou definovány na začátku algoritmu, později by měly být brány z databáze vojáků. Nejprve algoritmus počítá spotřebu kyslíku podle vzorce

$$VO_2 [l \cdot s^{-1}] = \frac{HR - HR_{klid}}{HR_{max} - HR_{klid}} \cdot (VO_{2max} - VO_{2klid}) + VO_{2klid}.$$
 Parametr VO_{2max} a VO_{2klid} je nutné

ještě před dosazením vynásobit hmotností. Spotřeba kyslíku za sekundu je dosazena do vzorce pro výpočet energetického výdeje $EE [J \cdot s^{-1}] = VO_2 [l \cdot s^{-1}] \cdot EEqO_2 [J \cdot l^{-1}]$.

Algoritmus byl nejprve testován v aplikaci MS Excel, kde buňky byly provázány výše popsanými vzorci. Poté byl algoritmus testován v dohledovém systému.

¹⁷ Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R., Jr., et al.: *Evaluation of heart rate as method for assessing moderate intensity physical activity*.

6.4.2 Realizovaný návrh pro výpočet komplexní veličiny, metoda 2, Legge

Obecně je tato metoda popsána v kapitole 6.2.3 na straně 55. Jádro metody je převzato z článku *The Astrand-Ryhming nomogram revisited*.¹⁸ Metoda je založena na matematicky popsané závislosti mezi tepovou frekvencí a procentem maximální spotřeby kyslíku. Vztah je $\%VO_{2\max} = 0,684 \cdot HR - 32,3$. Při znalosti $VO_{2\max}$ tedy lehce dopočítáme aktuální spotřebu kyslíku (VO_2) v litrech za sekundu (nutné opět násobit hmotností). Energetický výdej vypočteme dosazením spotřeby kyslíku v litrech za sekundu do vzorce $EE[J \cdot s^{-1}] = VO_2[l \cdot s^{-1}] \cdot EEqO_2[J \cdot l^{-1}]$.

Algoritmus byl nejprve testován v aplikaci MS Excel, kde buňky byly provázány výše popsanými vzorci. Poté byl algoritmus testován v dohledovém systému.

6.4.3 Porovnání realizovaných návrhů pro výpočet komplexní veličiny

Cílem porovnání není provést detailní rozbor spolehlivosti a přesnosti jednotlivých metod, ale zjistit, zda vytvořené algoritmy poskytují data alespoň řádově správně. Detailní porovnání je jistě na místě a určitě proběhne po optimalizování metod a nalezení vhodné reference.

Pro porovnání realizovaných metod pro výpočet komplexní veličiny byly nasbírány 2 skupiny dat. Vyšší zátěž organismu představuje záznam tepové frekvence při běhu rychlostí 9 km/h a nižší zátěž organismu představuje sezení na židli a pracování na počítači. Data v obou skupinách byla sbírána po dobu 5 minut a násobena 12 pro výpočet spotřeby energie za hodinu. Jako reference byla použita tabulka Energetický výdej při pohybu na stránkách serveru www.stob.cz¹⁹.

Činnost	Spotřeba energie, metoda 1 [kJ/hod.]	Spotřeba energie, metoda 2 [kJ/hod.]	Spotřeba energie, reference [kJ/hod.]
Běh, 9km/h	2041	2119	2010
Sezení, práce na PC	682	1009	630

Tab. 13 – Porovnání spotřeby energie při běhu a sezení vypočtené metodou 1 a metodou 2.

¹⁸ Legge, B. J., Banister, E. W.: *The Astrand-Ryhming nomogram revisited*.

¹⁹ Energetický výdej při pohybu [online]. STOB.

Výběr návrhu pro výpočet komplexní veličiny

Z Tab. 13 plyne, že obě metody vypočítávají energetický výdej při zátěži přibližně shodně. Při mírné zátěži metoda 2 spotřebu energie nadhodnocuje, metoda 2 poskytuje přesnější výsledek. Pro návrh první generace dohledového systému byla na základě výsledků testu vybrána metoda 1.

Je nutné ale brát zřetel na to, že algoritmus spotřebu energie vypočítává jen velmi hrubě a na výsledky je lépe se dívat jako na trend, nikoliv jako na absolutní čísla. I přes tyto nepřesnosti výpočetního algoritmu má komplexní veličina pro dohledový systém svůj význam. Komplexní veličina by v dohledovém systému měla objektivně hodnotit aktuální psychický a fyzický stav vojáka a měla by přehledně informovat velitele o jeho bojeschopnosti. I tato první verze výpočtu komplexní veličiny plní s jistou nepřesností tento cíl. Algoritmus v první generaci systému je krokem, který otevírá cestu pro vylepšování výpočtu komplexní veličiny a jasně specifikuje směr, jak by komplexní veličina měla být počítána.

Shrnutí kapitoly 6

Tato rozsáhlá kapitola nejprve definuje pojem komplexní veličina a vysvětluje důvody jejího zavedení. Komplexní veličina má za cíl propojit informace ze všech monitorovaných veličin do jedné. V první generaci systému veličina představuje energetický výdej vojáka, který je na základě analýzy počítán z tepové frekvence. Výpočetní algoritmus není příliš složitý, ale bohužel poskytuje jen hrubý odhad energetického výdeje. Pro implementaci složitějšího a přesnějšího algoritmu v podobě výpočtu na základě statistického modelu vytvořeného nad všemi monitorovanými veličinami nebylo k dispozici dostatečné množství dat a potřebný čas. Vytvořený algoritmus byl testován při několika činnostech a výsledky byly porovnány s referenčními hodnotami.

Jako vstupní parametr pro komplexní veličinu je i tepová frekvence, která může být zatížena artefakty. Pro potlačení artefaktů byl vytvořen algoritmus, který hodnoty tepové frekvence průměruje a data zatížená artefakty nahrazuje vypočtenou hodnotou z předchozích hodnot.

Kapitola také obsahuje návrh zpracování aktigrafických dat a popis kalibrace termistorů.

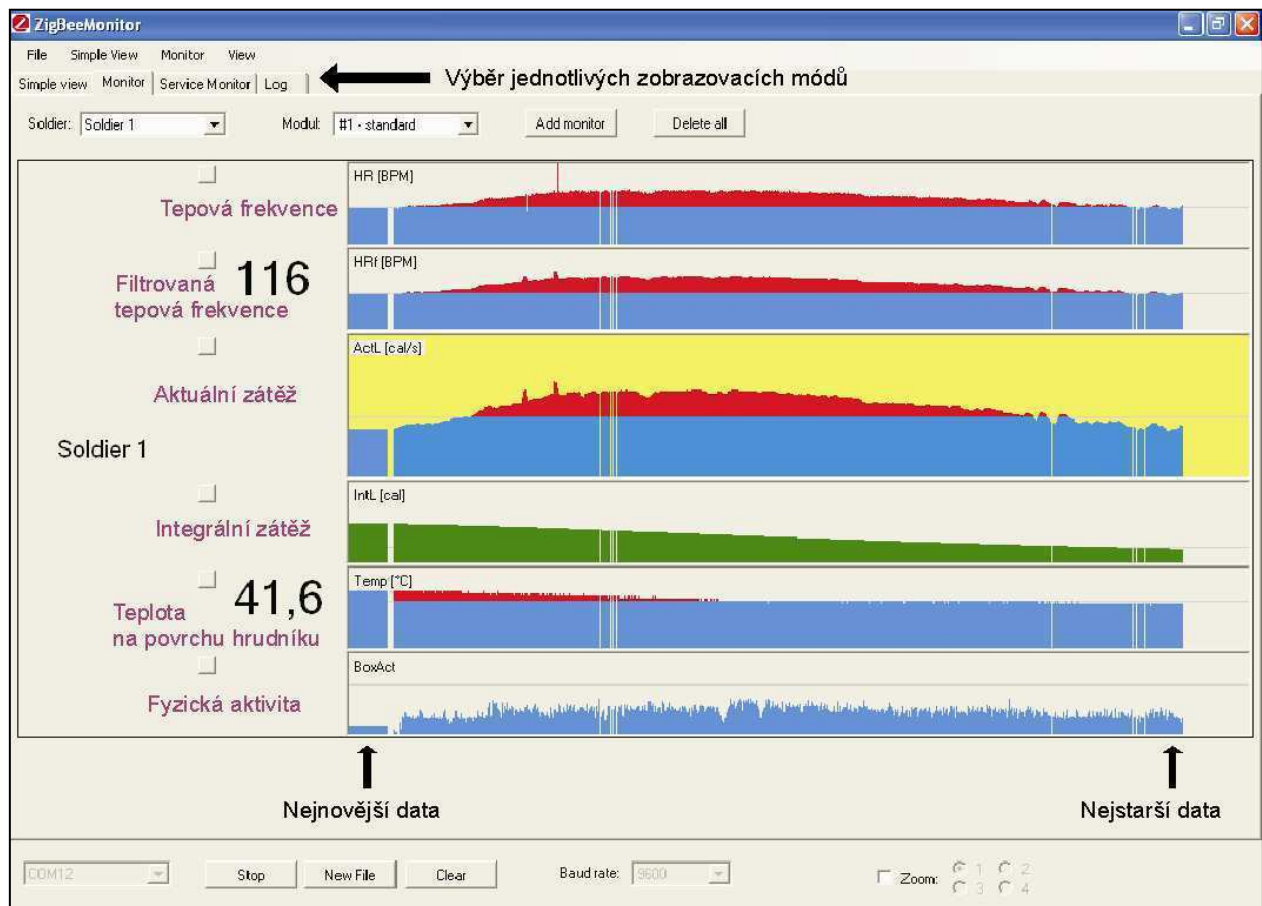
7 Návrh zobrazení snímaných veličin a metodika používání dohledového systému

7.1 Návrh online zobrazení snímaných veličin

Dohledový systém se stále nachází ve fázi vývoje a ladění, tudíž není možné v softwaru dohledového systému zobrazovat pouze výstupy pro uživatele. Je nutné zachovat i ladící rozhraní se zobrazením všech parametrů systému a teprve najít nejvhodnější způsob zobrazení, který by nejvíce vyhovoval uživateli. Proto by dohledový systém měl alespoň v této fázi vývoje obsahovat několik různých pohledů na data. Ve stávající verzi programu Soldier Inspect je tzv. *rozšířený pohled* a *zásahový pohled*. *Rozšířený pohled* bude dále popsán tak, jak je implementován v dohledovém systému. *Zásahový pohled* bude popsán jako návrh tak, aby odpovídal požadavkům na dohledový systém.

Rozšířený pohled

Tento základní mód je široce konfigurovatelný a dokáže zobrazit jakýkoliv parametr monitorovaný v dohledovém systému. Každý parametr je zobrazen jako průběh v čase ve formě grafu. U parametru lze nastavit rozsah zobrazovaných hodnot a alarmové meze. *Rozšířený pohled* slouží především pro zjištění podrobných informací o jednom monitorovaném vojákově. Ukázka *rozšířeného pohledu* je na Obr. 9.



Obr. 9 – Ukázka zobrazení monitorovaných veličin pomocí rozšířeného pohledu.

Návrh zásahového pohledu

Principem zásahového pohledu je zobrazení pouze jedné veličiny pro všechny členy dané skupiny přehledným a jednoduchým způsobem. Touto zobrazovanou veličinou by měla být komplexní veličina, která postihuje aktuální fyzický a psychický stav vojáka, tzv. aktuální zátěž. Vedle komplexní veličiny by měla být zobrazena ještě další veličina, která by postihovala vývoj psychického a fyzického stavu v čase, tzv. integrální zátěž. Tuto veličinu si lze představit jako celkovou energii, kterou voják disponuje. Při aktivitě ji spotřebovává a při odpočinku doplňuje.

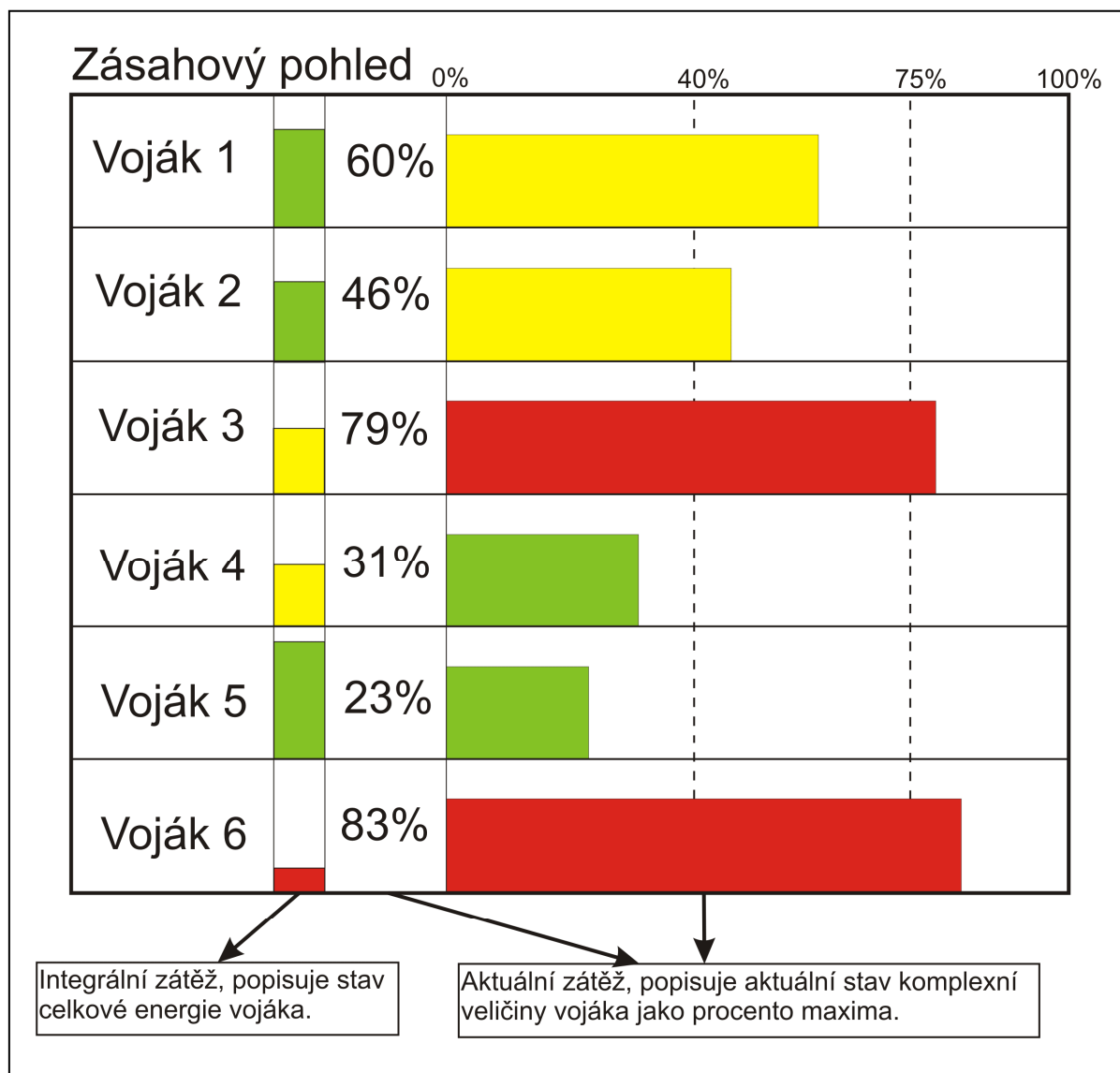
Zobrazení veličin by mělo být co nejjednodušší, nejlépe formou semaforu:

- zelená = žádný problém, bez únavy, nízké riziko úrazu,
- žlutá = zátěž organismu, po delší době se dostaví únava, střední riziko úrazu,
- červená = akutní problém, vyčerpání, hrozící kolaps, vysoké riziko úrazu.

Barevné rozlišení stavů zaručuje snadné rozpoznání a eliminuje riziko špatné interpretace hodnot snímaných veličin. Při nerozhodném stavu může velitel využít *rozšířený pohled*, detailně analyzovat příčinu problému a rozhodnout o ponechání vojáka v zásahu nebo ho raději z preventivních důvodů stáhnout.

Samozřejmě je nutné se na *zásahový pohled* dívat jako na doporučující mechanismus. Snímané veličiny ani způsob jejich zpracování neumožňují hodnocení aktuálního fyzického a psychického stavu vojáka s dostatečnou přesností.

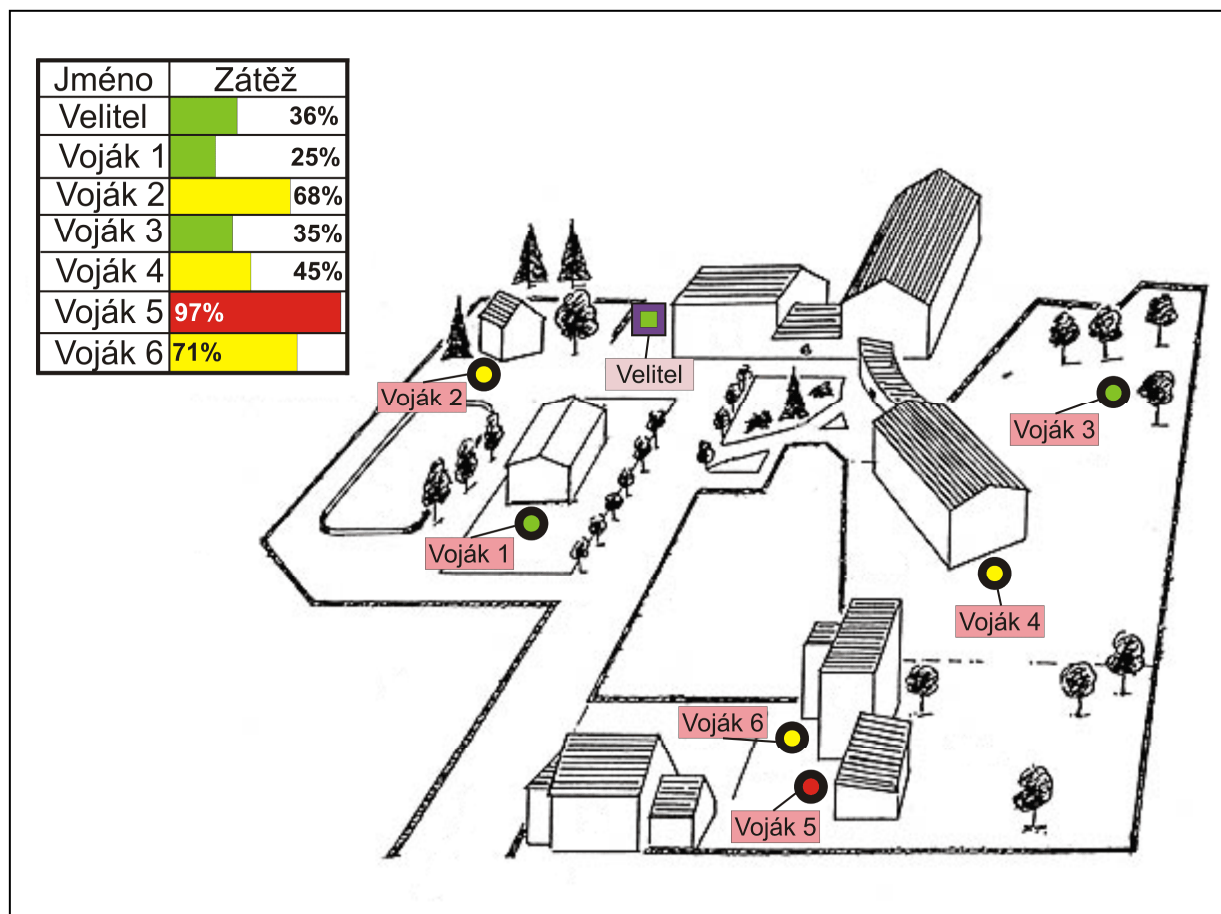
Obr. 10 na straně 61 ukazuje návrh uspořádání *zásahového pohledu*. Komplexní veličina je zobrazena jako procento maximální hodnoty. Voják 1 je zatížen středně těžce po krátkou dobu, proto má zatím vysoký stav celkové energie. Voják 3 je zřejmě krátkodobě pod vysokou zátěží, ale jeho stav celkové energie je ještě přijatelný. Pokud nebude náročnou práci vykonávat dlouhou dobu, může si zachovat své energetické zásoby a zůstat bojeschopný. Voják 4 regeneruje po náročném nebo dlouhotrvajícím výkonu. Voják 5 je zatím odpočatý, má vysokou úroveň celkové energie a vykonává spíše lehkou práci. Voják 6 je v nebezpečí, je submaximálně zatížen a má vyčerpané energetické zásoby. Akutně mu hrozí vyčerpání a kolapsový stav.



Obr. 10 – Návrh zobrazení *zásahového pohledu*.

Návrh použití lokalizace vojáka

V budoucnu by systém měl být vybaven lokalizací vojáka se zanesením informací o jeho poloze do mapy, ať již výcvikového prostoru nebo místa operace. Voják by v mapě byl zobrazen např. jako bod s černým ohraničením a vnitřkem barevně odpovídajícím stavu komplexní veličiny. V takovém případě by velitel měl propojenu informaci o poloze vojáka i o jeho aktuálním fyzickém a psychickém stavu. Návrh zobrazení ukazuje Obr. 11 na straně 62.



Obr. 11 – Návrh zobrazení stavu zásahové jednotky při využití lokalizace.

7.2 Offline zobrazení snímaných veličin

Pro zpětné prohlížení nasbíraných dat a záznamů byl vytvořen program Soldier Viewer. Software umožňuje propojit uložená data s videozáznamem, který je samozřejmě časově synchronizován s daty. Lze zobrazit libovolný monitorovaný parametr ve formě grafu. Software by měl sloužit pro zpětnou analýzu nasbíraných dat, pro vylepšení tréninkových postupů nebo bojové strategie. Software může sloužit i k seznámení vojáků s dohledovým systémem a k prezentaci možností systému. Obr. 12 na straně 63 ukazuje okno programu Soldier Viewer.



Obr. 12 – Ukázka programu Soldier Viewer s videozáznamem pro offline prohlížení dat.

7.3 Metodika používání dohledového systému

Úvod

Podrobný popis metodiky používání dohledového systému není náplní této práce. Stávající metodika není samozřejmě definitivní a je průběžně doplňována novými poznatky, které vyplývají z používání dohledového systému. V této práci zmíním jen základní principy metodiky užití dohledového systému při zásahu i při výcviku formou stručného návodu k použití.

Metodika používání dohledového systému při zásahu a při výcviku

Každý voják si nasadí hrudní pás a konektor zapojí do osobní monitorovací jednotky. Velitel jednotky v programu Soldier Inspect přiřadí čísla osobních monitorovacích jednotek ke jménům vojáků, které má ve své skupině. Na základě přiřazení jmen k číslům osobních monitorovacích jednotek se do programu Soldier Inspect načtou z centrální databáze parametry a osobní údaje vojáků. Velitel zvolí vlastní předdefinovaný profil *rozšířeného a zásahového pohledu*. V profilu jsou uloženy alarmové meze, zobrazované parametry, jejich pořadí a další nastavitelné parametry. Při akci je doporučeno primárně používat *zásahový pohled* a pro detailní zobrazení parametrů jednoho vojáka *rozšířený pohled*.

Shrnutí kapitoly 7

Pro zobrazení monitorovaných veličin disponuje software Soldier Inspect dohledového systému tzv. rozšířeným pohledem, který je široce konfigurovatelný a dokáže zobrazit všechny veličiny dohledového systému. Dále navrhuji tzv. zásahový pohled, který by zobrazoval pouze komplexní veličinu pro všechny členy monitorovaného týmu. Barevně by byly odlišeny 3 základní stavy: žádný problém (zelená), zátěž organismu (žlutá), akutní problém (červená). Pohled s využitím lokalizace vojáka zobrazuje pozici vojáka v mapě pomocí barevného bodu, kde barva opět odlišuje 3 základní stavy. Pro zpětné prohlížení dat slouží program Soldier Viewer.

Stručně formou návodu je popsána metodika používání dohledového systému.

8 Testovací měření

8.1 Úvod

Testovací měření pro účely ověření správnosti návrhu dohledového systému a sběru dat pro analýzu implementovaných algoritmů pro zpracování signálů proběhlo v září 2008 na vojenské základně v Přáslavicích. Při měření byly využity ještě některé starší verze algoritmů pro zpracování tepové frekvence a pro výpočet komplexní veličiny. Právě nasbíraná data přispěla k odladění algoritmů do současné verze prezentované v této diplomové práci.

Při měření bylo k dispozici 8 osobních monitorovacích jednotek s hrudními pásy a odolný notebook firmy Getac. Vojáci měli na sobě běžnou výstroj, kterou používají při bojových operacích, včetně zbraně. Měření probíhalo ve výcvikovém sektoru základny podle předem připraveného plánu měření.

8.2 Plán měření

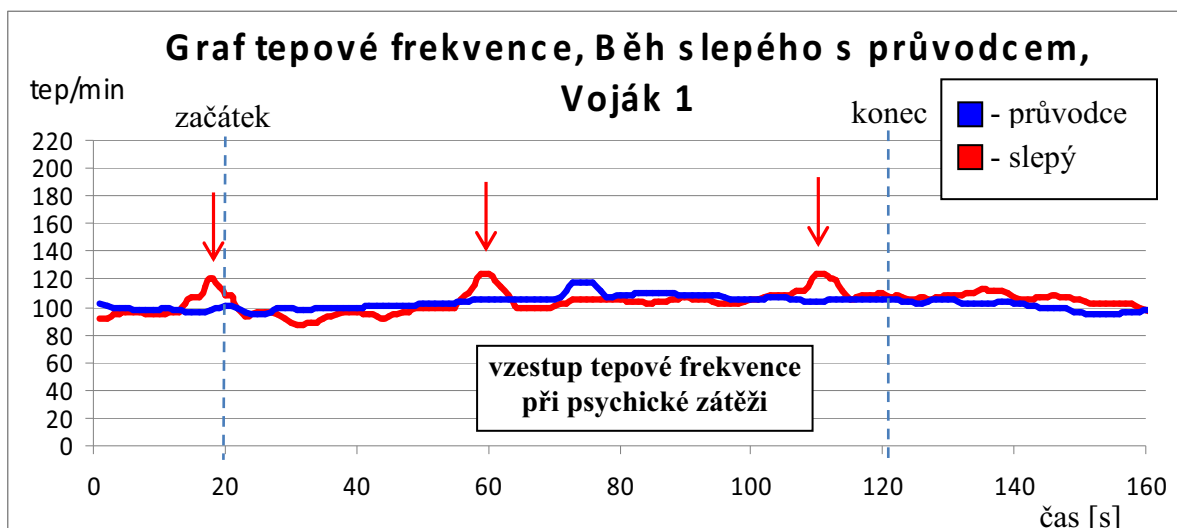
Test pro výpočet VO_{2max}

Test pro výpočet VO_{2max} byl zařazen na začátek. Tento parametru bylo nutné zadat do softwaru dohledového systému, aby byla správně počítána komplexní veličina, tedy energetický výdej. Konkrétně byl použit Queen's College step test. Vojáci ve trojicích nebo dvojicích vystupovali na obrubník vysoký 41,3 cm s frekvencí 24 výstupů a sestupů za minutu po dobu 3 minut. Za 5 sekund po skončení testu vojáci počítali počet tepů po dobu 15 sekund. Hodnota (HR) se dosazovala do vzorce $VO_{2max} = 111,33 - (0,42 \cdot 4 \cdot HR)[ml / kg / min]$.

Běh slepého s průvodcem

Vojáci vytvořili dvojice, kde jeden měl zavázané oči (slepý) a druhý byl jeho průvodce. Společně měli nejprve uběhnout polovinu běžeckého okruhu a pak si role vyměnit. V druhém cvičení měl průvodce provést slepého labyrintem a pak si opět se slepým vyměnit úlohu.

Následně byla porovnávána data, když byl voják v roli průvodce s daty, když byl voják v roli slepého. U některých dvojic byly rozdíly nalezeny, např. Graf 10 na straně 66. Dá se předpokládat, že vzestup tepové frekvence v úsecích vyznačených červenou šipkou je psychického původu.

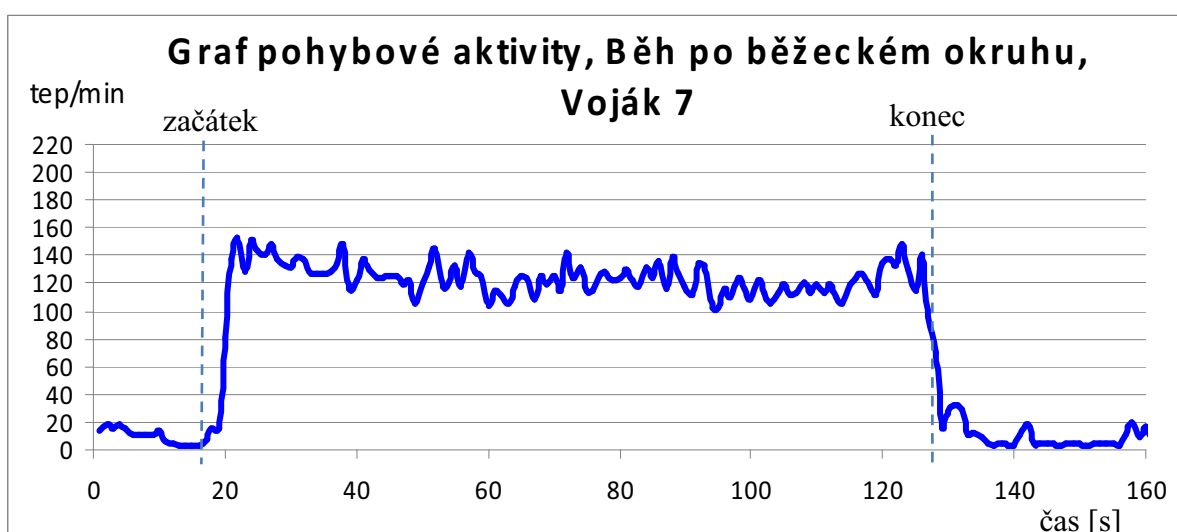


Graf 10 – Graf tepové frekvence Vojáka 1 při cvičení „Běh slepého s průvodcem“, Voják 1 je v roli slepého. Červenou šipkou jsou vyznačeny úseky, které jsou ovlivněny psychickou zátěží.

Běh po běžeckém okruhu

Při tomto cvičení vojáci běželi po běžeckém okruhu, podél něhož byly rozmístěny tabulky s čísly, větami a písmeny. Vojáci si měli obsah tabulek zapamatovat a v cíli zapsat na papír. Po krátkém odpočinku se běh po okruhu opakoval, tentokrát již bez tabulek.

Cílem tohoto cvičení bylo porovnat nasbíraná data při psychické zátěži a bez ní, zejména parametr tepové frekvence. Z hodnocení výsledků plyne, že rozdíly v hodnotách tepové frekvence při běhu s tabulkami (psychická zátěž) a bez tabulek nebyly nalezeny. Graf 11 ukazuje záznam pohybové aktivity z akcelerometrů jednoho z vojáků.

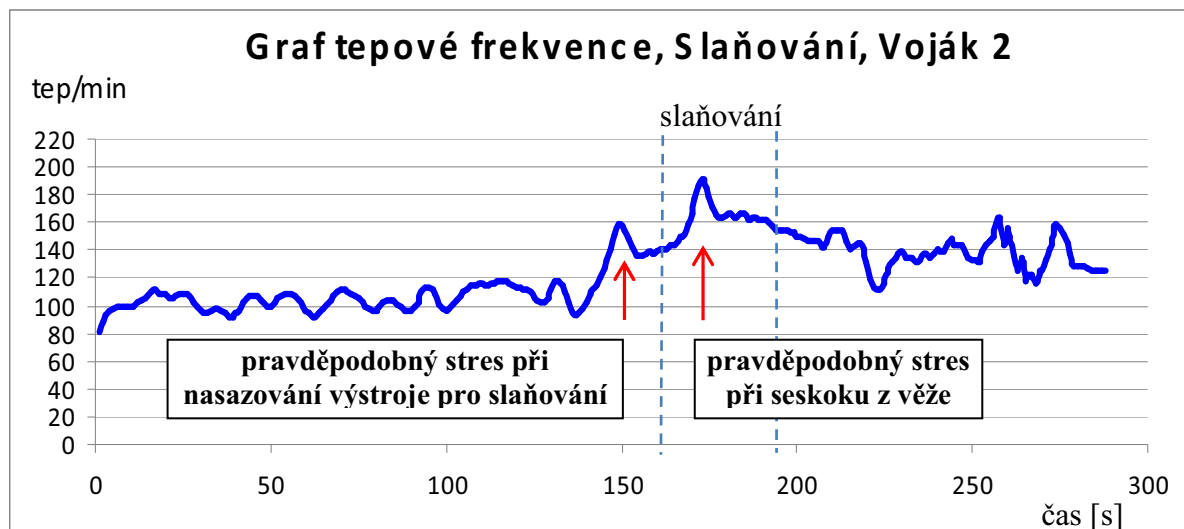


Graf 11 – Graf pohybové aktivity při běhu Vojáka 7 po běžeckém okruhu.

Slaňování

Vojáci při tomto cvičení vojáci obdrželi nejprve instruktaž pro slaňování. Poté vylezli po šikmé stěně na lezeckou věž, z které následně slaňovali. Někteří vojáci slaňovali poprvé.

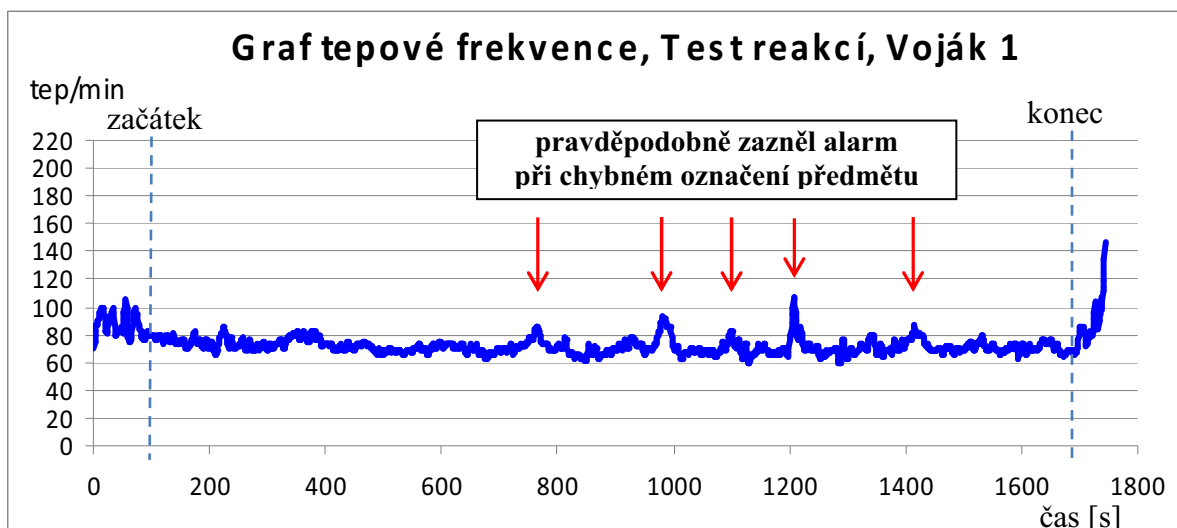
Slaňování není až tak fyzicky namáhavé, přesto někteří vojáci měli vlivem stresu vysokou tepovou frekvenci před vlastním slaňováním i při seskoku z lezecké věže..



Graf 12 – Graf záznamu tepové frekvence při slaňování Vojáka 2.

Test reakcí

Test reakcí probíhal na počítači v programu ZTest, který byl speciálně vytvořen pro trénování pracovníků v dohledových centrech. Ti často musí rychle a přesně reagovat i pod velkým stresem a tlakem. V tomto programu musí uživatel kurzorem označit předměty v určitém pořadí. Pořadí je určeno buď čísly, abecedou, výsledkem matematického příkladu, velikostí atd. Předměty se navíc mohou i hýbat. Při špatném označení se ozve zvuk alarmu. Uživatel je navíc limitován časem.

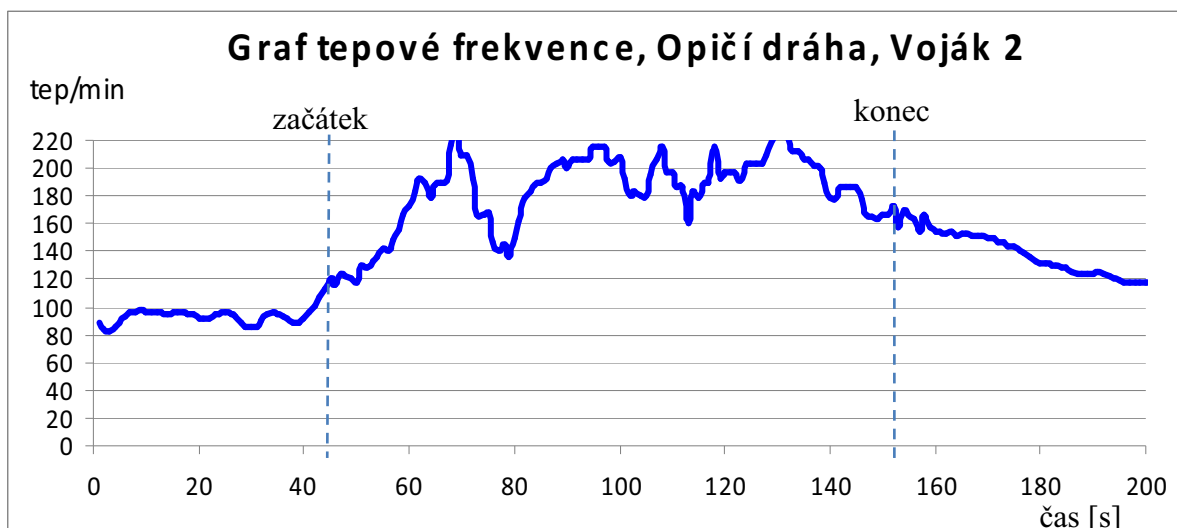


Graf 13 – Graf záznamu tepové frekvence Vojáka 1 při cvičení „Test reakcí“. Graf dokumentuje vzestup tepové frekvence při zaznění zvuku alarmu při chybném označení předmětu.

Opičí dráha

Při tomto testu vojáci překonávali dráhu s překážkami. Opičí dráhu tvořilo několik překážek, které vojáci podlézali, přeskakovali nebo mezi nimi kličkovali, vystřídali tedy více druhů pohybů zatížených různými artefakty. Opičí dráhu vojáci absolvovali celkem 2x, poprvé s plnou zátěží, podruhé bez zátěže.

Tento test sloužil pro sběr dat zatížených různorodými artefakty. Data dále sloužila pro odladění algoritmů. Graf 14 ukazuje špatnou funkci algoritmu pro úpravu tepové frekvence. Hodnota tepové frekvence 220 byla nastavena jako maximální, kterou běžný člověk za fyziologických podmínek nemůže dosáhnout.



Graf 14 – Graf záznamu tepové frekvence Vojáka 2 při cvičení „Opičí dráha“. Graf dokumentuje špatnou funkci algoritmu na úpravu tepové frekvence.

Sprint a míření na cíl

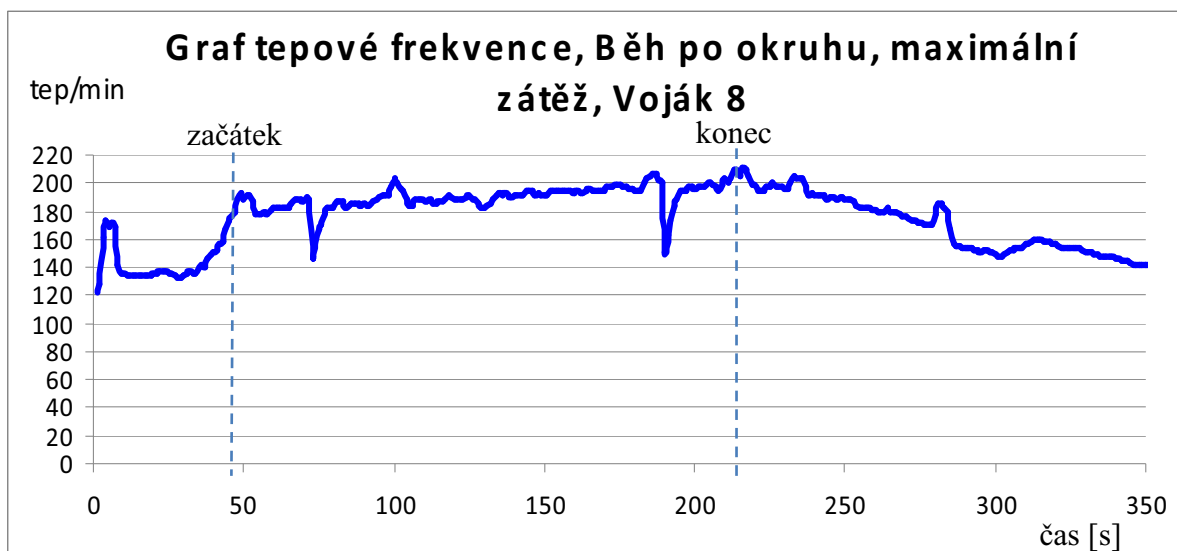
Tento test sloužil pro zjištění, jak rychle se vojáci dokáží uklidnit po fyzické námaze, a jak se uklidnění projeví v monitorovaných veličinách. Nejprve vojáci sprintovali asi 50 m a poté v leže mířili na terč vzdálený asi 100 m. Střelba bohužel nebyla povolena vedením vojenské základny.

Bohužel z technických důvodů se nepodařilo pořídit ani u jednoho z vojáků záznam celého cvičení. Po zalehnutí došlo ke ztrátě signálu mezi osobní monitorovací jednotkou a vizualizačním bodem.

Běh po okruhu, maximální zátěž

Při tomto testu běželi vojáci 2 kola na běžeckém okruhu a na konci druhého kola ještě zrychlovali tak, aby v cíli pocítovali subjektivně nejvyšší fyzickou zátěž.

Tento test měl ověřit funkčnost systému i při maximálním fyzickém zatížení vojáků. Graf 15 ukazuje průběh hodnot tepové frekvence, ke konci cvičení Voják 8 opravdu dosáhl maximální hodnoty.



Graf 15 – Graf záznamu tepové frekvence při běhu po běžeckém okruhu Vojáka 8. Na konci cvičení má voják nejvyšší hodnotu tepové frekvence, tedy i nejvyšší zátěž.

8.3 Hodnocení testovacího měření

Koncepce systému

Testovací měření potvrdilo funkčnost použité koncepce systému a také její správný výběr. Systém je plně mobilní a umožňuje rychlé použití. Žádná součást systému nevadila vojákům při jakémkoliv pohybu.

Soubor snímaných veličin

Monitorované veličiny poskytovaly dostatečné množství informací o aktuálním stavu vojáků. Kromě teploty byla odezva signálů na změnu aktuálního stavu okamžitá. Hodnoty tepové frekvence byly u některých vojáků více zatíženy artefakty. Důvodem byl zřejmě pohyb hrudního pásu a jeho nedostatečné utažení.

Moduly pro bezdrátovou komunikaci

Výběr modulů pro bezdrátové rozhraní se ukázal být zdařilým. Vytvořená bezdrátová síť díky topologii typu MESH bezpečně pokryla plochu celého výcvikového prostoru. Nebyla zaznamenána ani zvýšená spotřeba elektrické energie z baterií v osobních monitorovacích jednotkách na úkor vyššího vysílacího výkonu. Problém pouze nastal při cvičení „Sprint a míření na cíl“, kde vojáci měli osobní monitorovací jednotku při míření pod svým tělem. Díky lidskému tělu a nízké úrovni osobní monitorovací jednotky nad zemí rapidně klesla intenzita signálu bezdrátové sítě, čímž došlo ke ztrátě signálu a výpadku hodnot monitorovaných veličin.

Algoritmy pro úpravu tepové frekvence a výpočet komplexní veličiny

Testovací měření přineslo množství nových dat pro vylepšení algoritmu pro úpravu hodnot tepové frekvence. Algoritmus prezentovaný v této práci je odladěn na datech z testovacího měření a dokáže potlačit i středně zarušené hodnoty tepové frekvence v delších úsecích.

Algoritmus pro výpočet komplexní veličiny se osvědčil a během celého měření nevykazoval známky nestability. Komplexní veličina velmi dobře popisovala aktuální fyzický a psychický stav vojáků. Tím byl potvrzen i správný výběr metody pro výpočet komplexní veličiny. Nevýhodou stávající definice je, že do výpočetního algoritmu nejsou zahrnuty aktigrafická data hodnoty tělesné teploty.

Módy pro zobrazení snímaných veličin

Při testování se osvědčily oba používané módy zobrazení snímaných veličin. *Zásahový pohled* poskytoval rychle a přehledně informace o celé skupině monitorovaných vojáků. Pro bližší náhled na stav některého z vojáků byl použit *rozšířený pohled*.

Celkové hodnocení systému na základě testovacího měření

Dohledový systém se při testovacím měření ukázal plně funkční. Byla ověřena koncepce systému, výběr monitorovaných veličin, funkčnost a dosah modulů pro bezdrátovou komunikaci i funkčnost navržených algoritmů. Systém jako celek je plně funkční, poskytuje validní data a je schopen plnit účel, pro který byl systém navržen.

9 Souhrn poznatků z první generace systému a návrh druhé generace systému, diskuse

Tato kapitola sumarizuje poznatky, které jsem nashromáždil během své práce s dohledovým systémem. Kapitola obsahuje diskusi, ve které na jedné straně stojí nashromážděné poznatky o dohledovém systému a na straně druhé odborník, který poznatky hodnotí a poskytuje své rady. Na základě rad a doporučení je následně navržena druhá generace dohledového systému pro armádu ČR.

9.1 Souhrn poznatků z první generace systému

Koncepce systému

- ☺ Koncepce dohledového systému jako modulárního systému se plně osvědčila. Při vývoji nebylo náročné systém doplnit o další moduly a případně stávající pozměnit. Systém vykazuje vysokou stabilitu i při používání v reálných podmínkách.
- ☹ Systém nebyl ještě nikdy nasazen při reálném zásahu. Vždy se jednalo pouze o simulaci nebo cvičení. Koncepce systému tedy nebyla ověřena při všech činnostech, pro které byl dohledový systém navržen.

Monitorované veličiny a jejich snímání

- ☺ Byla provedena podrobná analýza veličin, které lze monitorovat. Pro dohledový systém byly vybrány tepová frekvence, teplota a aktigrafie. Tyto veličiny odpovídají smyslu využití dohledového systému, technickým podmínkám systému a také možnostem neinvazivního snímání veličin. Vybrané veličiny obsahují dostatek informací o aktuálním psychickém a fyzickém stavu vojáku.
- ☹ Snímací moduly jsou s osobní monitorovací jednotkou propojeny drátově, což může představovat omezení v používání dohledového systému. Problémem může být vedení kabelů tak, aby vojákovi nevadily v pohybu.
- ☹ Set monitorovaných veličin by neměl zůstat konečný. V systému chybí např. možnost lokalizace vojáka.

Bezdrátové rozhraní

- ☺ Modul pro bezdrátový přenos dat mezi osobní monitorovací jednotkou a vizualizačním bodem představuje limitující prvek v používání dohledového systému.

Při výběru vhodné technologie byl hledán kompromis mezi spotřebou elektrické energie a dosahem vysílaného signálu. Výběr vhodné technologie byl proveden na základě výsledků testování různých rádiových modulů firmy Radiometrix a Digi. Pro bezdrátový modul dohledového systému byl vybrán modul *Xbee Pro ZNET 2,5* firmy Digi, který používá upravený standard ZigBee a disponuje topologií typu MESH. Moduly podporují šifrování dat pomocí standardu AES.

- ☹ Vybrané moduly nevysílají v rozprostřeném spektru a jejich vysílání může být odhaleno. Jako alternativu lze využít datový kanál ve vysílacích stanicích PR20 firmy DICOM, které běžně používá armáda ČR, a které vysílají v rozprostřeném spektru.

Zpracování signálů ze snímacích modulů

- ☹ Pro vyšší přehlednost monitorovaných veličin byl definován pomocný parametr, tzv. **komplexní veličina**. Tato veličina si klade za cíl propojit informace ze snímaných veličin tak, aby co nejlépe vypovídala o aktuálním psychickém a fyzickém stavu vojáka. Na základě provedené analýzy odpovídá komplexní veličina v první generaci systému energetickému výdeji vojáka, který je počítán z hodnot tepové frekvence. Zvolená metoda není nejpřesnější, ale pro účely systému postačuje. Správnost výpočtu komplexní veličiny byla ověřena měřením a výsledky byly porovnány s referenčními daty.
- ☹ Mezi vstupní data pro komplexní veličinu patří i **tepová frekvence**, která může obsahovat artefakty. Pro potlačení artefaktů byl navržen algoritmus, který data průměruje a data zatížená artefakty nahrazuje vypočtenou hodnotou z předchozích hodnot. Funkčnost algoritmu byla ověřena měřením.
- ☹ **Data z akcelerometrů** jsou v osobní monitorovací jednotce sčítána za jednu sekundu. Součet odpovídá množství pohybových změn. Uživatelé jsou data z akcelerometrů předkládaná jako veličina pojmenovaná pohybová aktivita.
- ☹ Byla provedena **kalibrace termistorů** a zjištěna závislost mezi odporem a teplotou. Do softwaru dohledového systému byl přidán modul pro přepočítání dat z termistorů na teplotu v celsiově stupnici.
- ☹ Využití komplexní veličiny je jistě správným krokem, ale definovaný výpočet přináší velmi nepřesné výsledky. Jediná metoda přinášející adekvátní výsledky je výpočet energetického výdeje na základě statistického modelu, který bude vytvořen přes všechny monitorované parametry.

- ⊗ Algoritmus pro úpravu hodnot tepové frekvence nebyl dlouhodobě testován. Algoritmus by měl být ověřen v reálných podmínkách.

Návrh zobrazení snímaných veličin a metodika používání systému

- ⊙ Pro zobrazení snímaných veličin bylo navrženo několik módů. **Rozšířený pohled**, který umožňuje detailní zobrazení všech monitorovaných veličin v dohledovém systému. **Zásahový pohled**, který zobrazuje komplexní veličinu pro všechny monitorované členy týmu a barevně odlišuje 3 základní stavy: normální stav (zelená), zátěž organismu (žlutá), riziko vyčerpání (červená). **Zobrazení s lokalizací vojáka** je rozšířením zásahového pohledu. Poloha vojáka je zobrazena v mapě pomocí bodu, který barevně odpovídá velikosti hodnoty komplexní veličiny. Opět jsou barevně kódovány pouze 3 stavy: normální stav (zelená), zátěž organismu (žlutá), riziko vyčerpání (červená).
- ⊗ Nebyla provedena detailní konzultace zobrazení s uživatelem systému a analýza celé uživatelské části z hlediska ergonomie. Uživatelské rozhraní je klíčovou částí každého systému a na kvalitě jeho zpracování závisí použitelnost celého systému.

Ověření funkčnosti systému při testovacím měření

- ⊙ Funkčnost systému byla ověřena při praktickém měření na vojenské základně v Přáslavicích. Při měření byly k dispozici pouze starší verze algoritmů pro zpracování tepové frekvence a výpočet komplexní veličiny. Na základě výsledků testovacího měření byly algoritmy upraveny. Pro testovací měření byl navržen set cvičení prověřujících funkčnost jednotlivých částí systému. Měření ukázalo, že funkčnost systému jako celku je na vysoké technické úrovni. Výběr modulů pro bezdrátové rozhraní se ukázal být správný, zejména díky podpoře topologii typu MESH. Na druhou stranu testovací měření potvrdilo, že dosah bezdrátové sítě je limitující pro využití dohledového systému.
- ⊗ Testovací měření proběhlo pouze při naplánovaných cvičeních. Dohledový systém by měl být otestován i v reálných situacích, ať již při výcviku nebo při plnění bojových úkolů.

9.2 Návrh druhé generace systému

Moduly dohledového systému

Pro druhou generaci systému navrhuji zachovat dosavadní koncepci systému včetně monitorovaných veličin a jejich snímání. Snímací prvky bych integroval do nátělníku a bezdrátově je propojil s osobní monitorovací jednotkou. Tím by se systém stal mnohem více mobilnější a vojáka by zatěžoval jen minimálně.

Do systému bych dodal modul pro lokalizaci vojáka, např. GPS modul. Tento modul by byl propojen se softwarem, který by informaci o pozici vojáka zpracovával do mapy. Modul pro lokalizaci by mohl být využit při výcviku i při bojové operaci.

Software dohledového systému

Program Soldier Inspect bych doplnil o Zásahový pohled, který by přehledně zobrazoval hodnoty komplexní veličiny pro všechny členy monitorovaného týmu.

V druhé generaci systému by měla být komplexní veličina definována pomocí statistického modelu, který by byl postaven na všech monitorovaných parametrech, tedy tepové frekvenci, teplotě i pohybové aktivitě.

10 Závěr

Projekt dohledového systému v armádě ČR je stále ve stádiu výzkumu. Předkládaný návrh implementace dohledového systému v armádě ČR je rozsáhlý a pokrývá mnoho oblastí souvisejících s implementací systému. V rámci diplomové práce jsem řešil konkrétní úkoly související s projektem dohledového systému. Provedl jsem podrobnou analýzu veličin, které lze monitorovat, a vybral z nich ty, které jsou technicky realizovatelné a jsou vhodné pro použití v dohledovém systému. Navrhl jsem a popsal koncepci dohledového systému včetně uspořádání jednotlivých modulů. Definoval jsem také pojem komplexní veličiny, navrhl možnosti jejího výpočtu, a jednu z metod jsem implementoval do softwaru dohledového systému. V rámci zpracování signálů jsem navrhl a odladil algoritmus pro potlačení artefaktů v hodnotách tepové frekvence, provedl jsem kalibraci termistorů a navrhl zpracování aktigrafických dat. Zabýval jsem se také zobrazením monitorovaných veličin a stručně jsem popsal metodiku používání systému. Funkčnost celého systému a navržených algoritmů jsem otestoval při měření na vojenské základně v Přáslavicích. Na základě poznatků zjištěných při práci s dohledovým systémem jsem navrhl změny pro druhou generaci dohledového systému.

Myslím si, že se mi podařilo splnit všechny cíle práce a doufám, že výsledky pomohou vylepšit dohledový systém a třeba i přispějí k jeho nasazení v armádě ČR.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] Future Force Warrior [online]. Wikipedia. Poslední změna 5. 5. 2009 [cit. 4. 5. 2009]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Future_Force_Warrior>
- [2] Voják 21. století [online]. Ministerstvo obrany České republiky. Poslední změna 23. 11. 2006 [cit. 4. 5. 2009]. URL: <<http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=8240>>
- [3] Hrazdira, I., Mornstein, J., Škorpíková, J.: *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Brno: Neptun, 2006. 312 s. ISBN 80-86850-1-3.
- [4] Handl, Z.: *Monitorování pacientů v anesteziologii, resuscitaci a intenzivní péči – vybrané kapitoly*. 4. doplněné vydání. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, 2004. 149 s. ISBN 80-7013-408-9.
- [5] Rokyta, R. a kol.: *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, ošetrovatelství, přírodovědných, pedagogických a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV nakladatelství, 2008. 426 s. ISBN 80-86642-47-X.
- [6] Basal Metabolic Rate [online], Wikipedia. Poslední změna 6. 4. 2009 [cit. 10. 4. 2009]. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Basal_metabolic_rate>.
- [7] Strath, S. J., Swartz, A. M., Bassett, D. R., Jr., et al.: *Evaluation of heart rate as method for assessing moderate intensity physical activity*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 2000, Vol. 32, No. 9, s. S465 – S470. ISSN 0195-9131.
- [8] Legge, B. J., Banister, E. W.: *The Astrand-Ryhming nomogram revisited*. Journal of Applied Physiology, 1986, Vol. 61, No. 3, s. 1203 – 1209. ISSN 8750-7587.
- [9] Placheta, Z., Siegelová, J., Štejfá, M., a kol.: *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi*. Vydání 1. Praha: Grada, 1999. 286 s. ISBN 80-7169-271-9.
- [10] Control44 Evaluation Kit [online]. Radiometrix. [cit. 25. 4. 2009]. URL: <http://www.radiometrix.co.uk/products/ctr44_eval.htm>
- [11] International DigiMesh 2.4 Development Kit w/ 2 XBee and 2 XBee-PRO modules [online]. Digi International. [cit. 25. 4. 2009]. URL: <<http://www.digi.com/products/model.jsp?lid=EN&pgid=127&pfid=192&mtid=3095&amtid=3095&pm=Y>>
- [12] Energetický výdej při pohybu [online]. STOB. Napsala PhDr. Iva Málková. Poslední změna 1. 2. 2009. [cit. 4. 5. 2009]. URL: <http://www.stob.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=53&Itemid=130>

- [13] An Energy Expenditure Estimation Method Based on Heart Rate Measurement [online]. Firstbeat Technologies Ltd. Poslední změna únor 2007 [cit. 4. 5. 2009]. URL: <http://www.firstbeat.fi/files/Energy_Expenditure_Estimation.pdf>

12 Seznam příloh

Seznam příloh v papírové podobě

1. Algoritmus pro úpravu tepové frekvence i
2. Algoritmus pro výpočet komplexní veličiny ii
3. Obrazová dokumentace dohledového systému iii

Seznam příloh na CD

Složka *Diplomová práce* obsahuje diplomovou práci ve formátu pdf.

Složka *Praktické měření* obsahuje výstupy z testovacího měření v podobě grafů.

Složka *Fotky* obsahuje fotografickou dokumentaci praktického měření a dohledového systému.

1. Algoritmus pro úpravu tepové frekvence

```
function [FHR] = Prumerovani( HR )
%model pro upravu tepove frekvence

    maxDelta = 30; % maximalni rozdil dvou susednich hodnot HR
    d = 464; % pocet vzorku
    h = 10; % delka historie
    trend = 10; % promenna zohlednujici trend dat
    HRorig = HR; % promenna obsahuje puvodni data HR
    BufferHR = zeros(h,1); % zasobnik dat HR, který pouziva dohledovy
system
    FHR = zeros(d,1); % definice promenne pro upravena data

    for k=1:d % cyklus simuluje zpracovani dat dohledovym systemem po
hodnotach

        if BufferHR(h)>0 % provede se, pokud je zasobnik plny

            if abs(HR(k)-FHR(k-1)) > maxDelta % pokud se hodnota HR lisi od
hodnoty HR po filtraci o vice jak parametr
                BufferHR(1)= FHR(k-1)+((HR(k)-HR(k-1))/trend); % do
zasobniku je ulozena predchozi hodnota HR po filtraci, ke ktere je prictena
cast rozdilu dvou susednich hodnot HR (zachyceni trendu)
            else BufferHR(1) = HR(k); % nebo je do zasobniku ulozena tepova
frekvence beze zmeny
            end

            FHR(k) = mean (BufferHR); % prumerovani hodnot v zasobniku
        else
            BufferHR(1) = HR(k); % plneni zasobniku
            FHR(k) = HR(k);
        end

        for i=1:(h-1) % posun dat v zasobniku
            BufferHR((h+1)-i)=BufferHR(h-i);
        end

    end

    HRorig = HRorig(1:d); % prizpusobeni delky promenne
    Graf (HRorig,FHR); % vyvolani funkce, ktera data prevede do graficke
podoby
end
```

2. Algoritmus pro výpočet komplexní veličiny

```
function [FHR] = Prumerovani( HR )
%model pro upravu tepove frekvence a vypocet komplexni veliciny

    maxDelta = 30; % maximalni rozdil dvou susednich hodnot HR
    d = 464; % pocet vzorku
    h = 10; % delka historie
    trend = 10; % promenna zohlednujici trend dat
    HRorig = HR; % promenna obsahuje puvodni data HR
    BufferHR = zeros(h,1); % zasobnik dat HR, který pouziva dohledovy
system
    FHR = zeros(d,1); % definice promenne pro upravena data
    hmotnost = 55;
    HRmax = 196; %hodnota maximalni tepove frekvence
    HRklid = 59; %hodnota klidove tepove frekvence
    VO2klid = 3.5; %hodnota spotreby kysliku v klidu
    VO2max = 58; % hodnota maximalni spotreby kysliku
    EEO2 = 20800; % energeticky ekvivalent substratu
    PM = zeros(d,1); % definice promenne pro hodnoty energetickeho vydeje

    for k=1:d % cyklus simuluje zpracovani dat dohledovym systemem po
hodnotach

        if BufferHR(h)>0 % provede se, pokud je zasobnik plny

            if abs(HR(k)-FHR(k-1)) > maxDelta % pokud se hodnota HR lisi od
hodnoty HR po filtraci o vice jak parametr
                BufferHR(1)= FHR(k-1)+((HR(k)-HR(k-1))/trend); % do
zasobniku je ulozena predchozi hodnota HR po filtraci, ke ktere je prictena
cast rozdilu dvou susednich hodnot HR (zachyceni trendu)
            else BufferHR(1) = HR(k); % nebo je do zasobniku ulozena tepova
frekvence beze zmeny
            end

            FHR(k) = mean (BufferHR); % prumerovani hodnot v zasobniku
        else
            BufferHR(1) = HR(k); % plneni zasobniku
            FHR(k) = HR(k);
        end

        for i=1:(h-1) % posun dat v zasobniku
            BufferHR((h+1)-i)=BufferHR(h-i);
        end

        VO2max = VO2max*hmotnost; %%prizpusobeni spotreby kysliku hmotnosti
monitorovaneho
        VO2klid = VO2klid*hmotnost; %prizpusobeni spotreby kysliku
hmotnosti monitorovaneho
        VO2 = ((FHR(k)-HRklid)*(VO2max-VO2klid))/(HRmax-HRklid)+VO2klid;
%vzorec pro vypocet energetickeho vydeje
        PM(k)= (VO2/1000)*EEO2/60000; %převod na spravne jednotky, vysledek
v kJ/s

    end
    HRorig = HRorig(1:d); % prizpusobeni delky promenne
    Graf (HRorig,FHR,PM); % vyvolani funkce, která data prevede do graficke
podoby
end
```

3. Obrazová dokumentace dohledového systému



Obr. 1 – Dohledový systém, 8 osobních monitorovacích jednotek (OMJ) včetně hrudních pásů. Uprostřed modul pro příjem bezdrátového signálu od OMJ.



Obr. 2 – Voják při překonávání opičí dráhy. V pozadí lezecká stěna.