

## MAPOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH POTENCIÁLŮ Z POVRCHU HRUDNÍKU – PŘEDZPRACOVÁNÍ A VIZUALIZACE

Václav Chudáček<sup>a)</sup>, Michal Huptych<sup>a)</sup>, Lenka Lhotská<sup>a)</sup>, Otomar Kittnar<sup>b)</sup>

<sup>a)</sup>Gerstnerova laboratoř, katedra kybernetiky, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6, Česká republika

<sup>b)</sup>Fyziologický ústav, 1. lékařská fakulta UK, Albertov 5, 120 00 Praha 2, Česká republika  
E-mail: [lhotska@fel.cvut.cz](mailto:lhotska@fel.cvut.cz), Phone: +420 224353933, Fax : +420 224311081

**Abstrakt** Cílem příspěvku je prezentovat současný výzkum v oblasti počítačové podpory zpracování EKG. Analýza elektrického pole srdce na základě standardního dvanáctisvodového systému je v současnosti nejrozšířenější metodou diagnostiky srdečních onemocnění. Mapování elektrických potenciálů z povrchu hrudníku (Body Surface Potential Mapping - BSPM), které měří elektrické potenciály z několika desítek až stovek elektrod umístěných na povrchu hrudníku, vykazuje v některých případech vyšší diagnostickou hodnotu, danou sběrem dat v oblastech, pro standardní dvanácti svodovou elektrokardiografii nedostupných. Pro předzpracování se využívá vlnková transformace, pomocí níž se detekují na signálu EKG významné hodnoty. Pro zobrazení se využívá několik typů map, konkrétně okamžikové potenciálové, integrálové, izochronní a rozdílové.

**Summary** The aim of the paper is to present current research activity in the area of computer supported ECG processing. Analysis of heart electric field based on standard 12lead system is at present the most frequently used method of heart disease diagnostics. However body surface potential mapping (BSPM) that measures electric potentials from several tens to hundreds of electrodes placed on thorax surface has in certain cases higher diagnostic value given by data collection in areas that are inaccessible for standard 12lead ECG. For preprocessing, wavelet transform is used; it allows detect significant values on the ECG signal. Several types of maps, namely immediate potential, integral, isochronous, and differential.

### 1. ÚVOD

Analýza elektrického pole srdce na základě standardního dvanáctisvodového systému je v současnosti nejrozšířenější metodou diagnostiky srdečních onemocnění. Množství prací však poukazuje na hranice možností takového měřicího uspořádání. Mapování elektrických potenciálů z povrchu hrudníku (Body Surface Potential Mapping - BSPM), které měří elektrické potenciály z několika desítek až stovek elektrod umístěných na povrchu hrudníku, vykazuje v některých případech vyšší diagnostickou hodnotu, danou sběrem dat v oblastech, pro standardní dvanácti svodovou elektrokardiografii nedostupných. Nejen z tohoto důvodu je věnováno výzkumu BSPM v posledních desetiletích velké úsilí. Praktické využití BSPM je však v mnoha směrech limitováno. Na jedné straně naráží snaha o využití BSPM na morfologické zobrazovací techniky (angiografie, echokardiografie, PET). Ty mají sice vyšší náklady, poskytují ale přesné anatomické údaje. Na druhé straně, i přesto, že BSPM poskytuje lepší diagnostické hodnoty než standardní dvanáctisvodové EKG, naráží na relativní obtíže při měření a interpretaci. Výjimku v současné době tvoří pouze výzkum arytmií, kde si BSPM vydobylo své nezpochybnitelné místo. Důvodem k optimismu v uplatnění BSPM v praxi je výzkum na poli neinvazivního elektrokardiografického zobrazování, jehož výsledkem by měla být nikoliv mapa elektrických potenciálů na hrudníku, ale rozložení elektrických potenciálů na srdci.

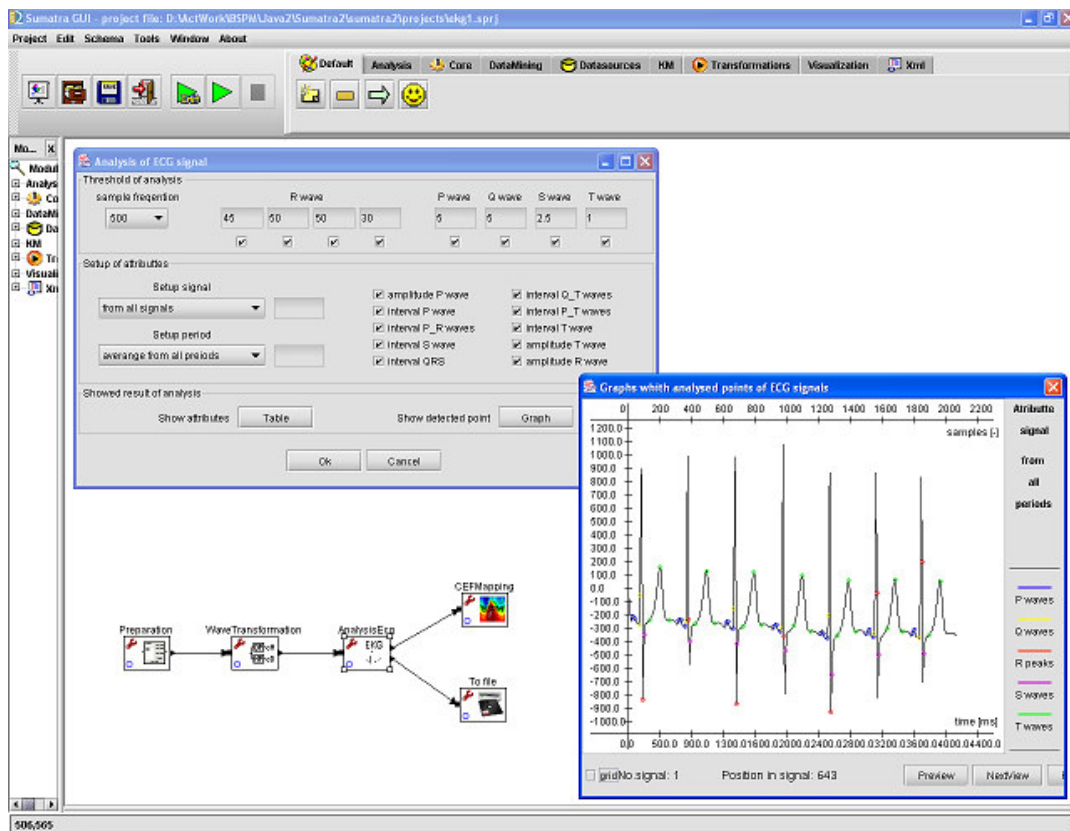
### 2. AUTOMATICKÁ ANALÝZA EKG SIGNÁLU

Stoupající kvalita výpočetní techniky přinesla počítačové metody analýzy signálu EKG, která spočívá převážně v detekci podstatných parametrů, přičemž nejpodstatnější je co nejsprávnější detekce QRS komplexu. Algoritmy detekce QRS komplexu jsou prováděny např. kritériálním výběrem, parametrovým určením, na základě amplitudy a první derivace signálu, pouze první derivace signálu nebo druhé derivace signálu, či digitálními filtry. Podrobnější popis těchto metod lze nalézt např. v práci [1].

Zabývejme se podrobněji metodou automatické analýzy EKG signálu pomocí vlnkové transformace, jako např. v [2]. Její užití je opodstatněno samotným typem signálu, jakožto nestacionárního, s potřebou detekovat různě rychlé změny signálu. Po provedení analýzy za pomoci dyadické vlnkové transformace realizované pomocí ekvivalentních filtrů, je jako první detekován QRS komplex. Na každém ze čtyř získaných detailů signálu se naleznou extrémy v absolutní hodnotě vyšší než definovaná mez. Pro nalezení R vlny se z množiny extrémů prvního detailu odstraní extrémy osamocené, v jistém okolí, a extrémy redundantní, tak aby ve výsledné množině extrémů zůstaly vždy dva blízké extrémy opačných znamének. Pozice vrcholu R vlny je pak definována jako bod průchodu nulou mezi těmito dvěma extrémy. U kmítu Q hledáme počátek a vrchol a u kmítu S vrchol a konec a to v prvním detailu signálu podle zvolených prahových hodnot a na základě

zvolených časových oken v závislosti na vzorkovací frekvenci signálu. Parametry vln P a T detekujeme na čtvrtém detailu signálu a jsou to: jejich počátek,

vrchol a konec, opět na základě zvolených prahů a časových oken v závislosti na vzorkovací frekvenci signálu.



Obr.1 Okno analýzy signálu.

### 3. MAPOVÁNÍ POVRCHOVÝCH POTENCIÁLŮ SRDCE

Podrobíme-li signály multielektrodevého EKG automatické analýze, dostáváme kromě parametrů jakožto atributů i jejich časové rozložení v signálu. Definujme tedy nyní způsoby, jak tohoto využít při zobrazení rozložení potenciálů elektrického pole srdce (EPS), tzv. mapování. Při tomto dělení vycházíme z práce [3]. Mapy se dělí podle způsobu dalšího zpracování naměřených signálů: okamžikové potenciálové mapy, integrálové mapy, izochronní mapy, rozdílové a odchylkové mapy.

#### 3.1. Okamžikové potenciálové mapy

Patří k nejpoužívanějším metodám zobrazení. Jsou nejbližší ke klasickému Einthovenovu zobrazení elektrického pole srdce. Jedna mapa zobrazuje rozložení potenciálů na povrchu hrudníku v jednom časovém okamžiku v  $n$  bodech:  $(t)$ ,  $U_i$  pro  $t = \text{konst.}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Pro analýzu se používá sekvence map pro časy, které odpovídají analyzovanému úseku křivky. Pro zvýšení odstupů signálu od šumu, zejména pro úseky malých potenciálů (P vlny, ST intervaly) lze použít zprůměrnování signálu z více

srdečních cyklů. Ukázka okamžikových potenciálních map z úseku QRS komplexu je na obrázku 2.

#### 3.2. Integrálové mapy

Poskytují kompaktnější zobrazení elektrického pole srdce. Namísto potenciálu signálu v daném časovém okamžiku se v nich zobrazuje časový integrál potenciálů na hrudníku ve zvoleném intervalu časů  $t_1, t_2$ . Časový interval může být sice zvolen libovolně, avšak v praxi se nejčastěji používají mapy v intervalech od počátku kmitu Q po konec kmitu S (QRS mapa), od konce kmitu S po 3/8 intervalu ST-T (ST-T mapa), od počátku QRS komplexu po konec vlny T (QRST mapa) nebo prvních 30 milisekund komplexu QRS (mapa Q zóny). Příklad série integrálových map v jednotlivých intervalech srdečního cyklu je na obrázku 3.

#### 3.3. Izochronní mapy

Jsou definovány jako zobrazení EPS ve zvolených časových bodech jako závislost typu  $T_i = f(U_i(t))$ . Teoreticky by izochronní mapy

měly souviset s dynamikou EPS na povrchu hrudníku, avšak v důsledku pohybů hrudníku toto není možno definovat zcela jednoznačně. Obecně jsou-li na povrchu hrudníku rozpoznatelné zóny, do kterých se promítá aktivita myokardu, dá se říci, že můžeme tyto mapy přiřadit přímo postupu depolarizace myokardu. Příklad izochronní mapy je na obrázku 4.

Interpretace potenciálových map je v podstatě možná dvojnásobem. A to:

- kvalitativně – kdy se hodnotí celkové rozložení hodnot v mapách, jakožto výskyt specifických obrazců, polohy extrémů a izolínie, směry největších gradientů atd., a jejich případná dynamika v čase
- kvantitativně – kdy se hodnotí převážně extrémní hodnoty v mapách a procentuální zastoupení kladných a záporných oblastí na mapě.

### 3.4. Rozdílové a odchylkové mapy

Mapy lze porovnávat i mezi sebou. Porovnávají se buď jednotlivé mapy mezi sebou, nebo jedna mapa s průměrem daným podle vybraných kritérií. Výsledkem může být jediná hodnota reprezentující např. korelační koeficient nebo opět mapa. Vznikají tak další dvě možnosti mapování, a sice:

- Rozdílové mapy: které jsou dány prostým rozdílem hodnot napětí ve dvou jednotlivých mapách jako hodnota  $D_i = U_{i1} - U_{i2}$

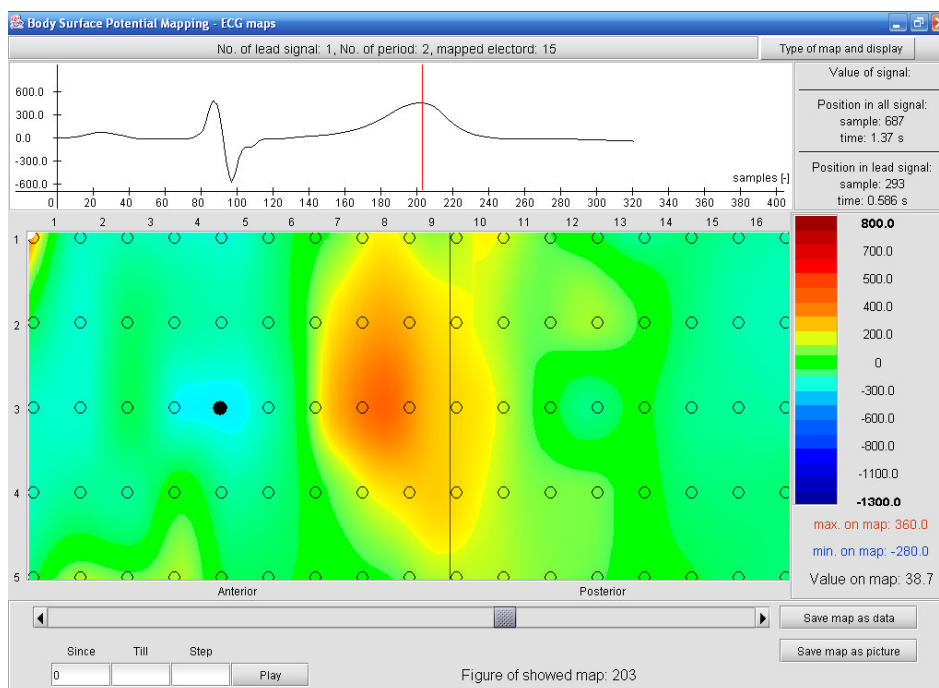
- Odchylkové mapy: vznikají při porovnání jednotlivých map s mapami určité skupiny a jsou definovány jako:

$$DI_i = \frac{(P_i - M_i)}{SD_i}$$

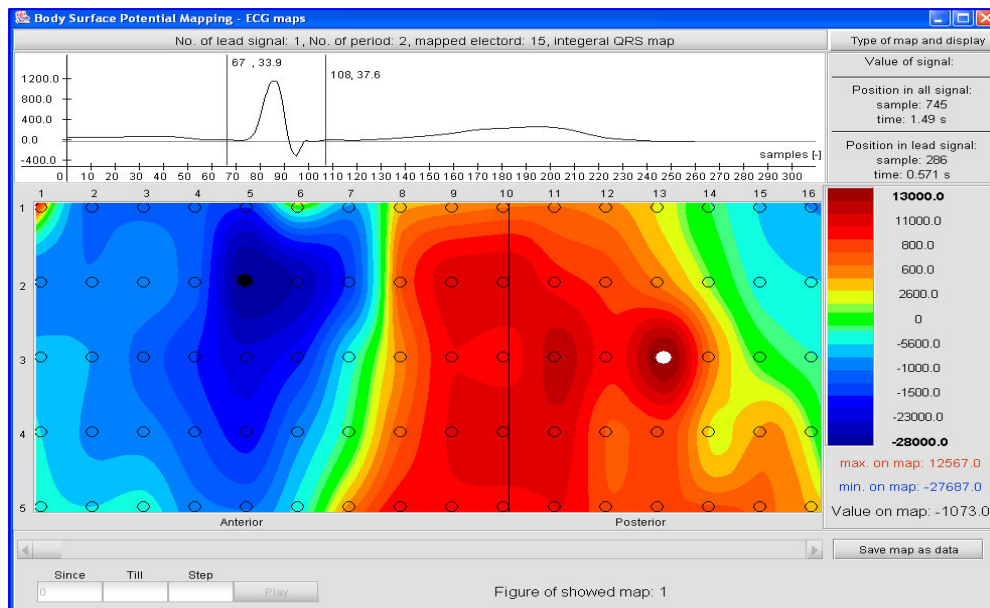
kde DI značí zobrazované hodnoty indexu výchytky (departure index),  $P_i$  je hodnota porovnávané integrální mapy v bodě  $i$ ,  $M_i$  je aritmetický průměr hodnot v bodě  $i$  map referenční skupiny a  $SD_i$  je jeho směrodatná odchylka. Okno pro nastavení parametrů pro tvorbu rozdílových a odchylkových map je uvedeno na obr. 5. Příklad rozdílové mapy je uveden na obr. 6.

### 4. NAMĚŘENÁ DATA

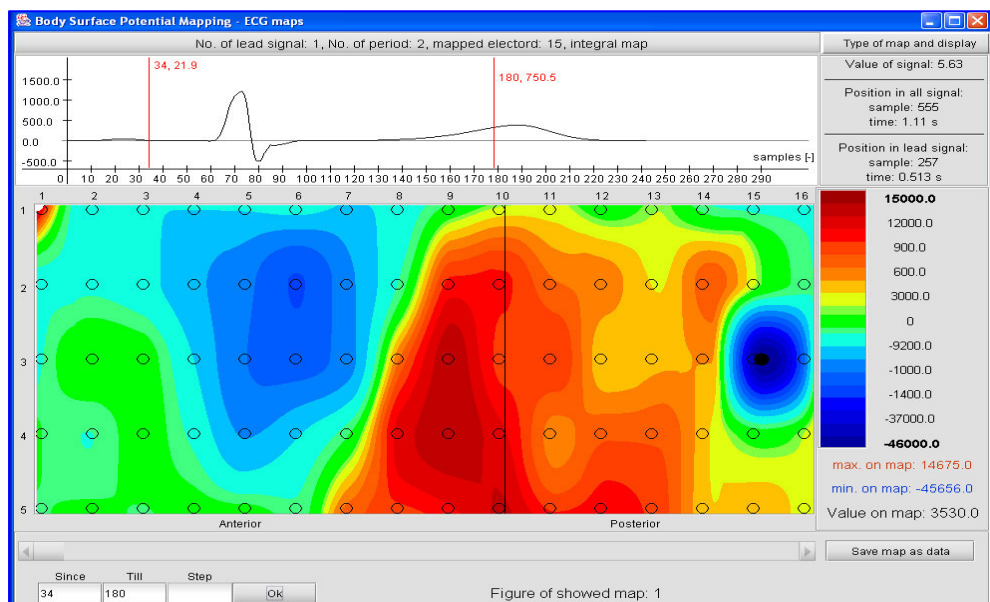
Data byla naměřena na elektrokardiologickém diagnostickém systému CARDIAG 112.2. CARDIAG 112.2 je účelově orientovaný počítačový systém, který je určen pro základní i komplexní elektrokardiologické vyšetřování srdečních poruch, včetně různých forem ischemické choroby srdeční. K tomu využívá prvky elektrokardiografie - elektrokardiografy, vektorokardiografy a mapování elektrických srdečních potenciálů na povrchu hrudníku.



Obr. 2 Příklad potenciálové mapy.



a)



b)

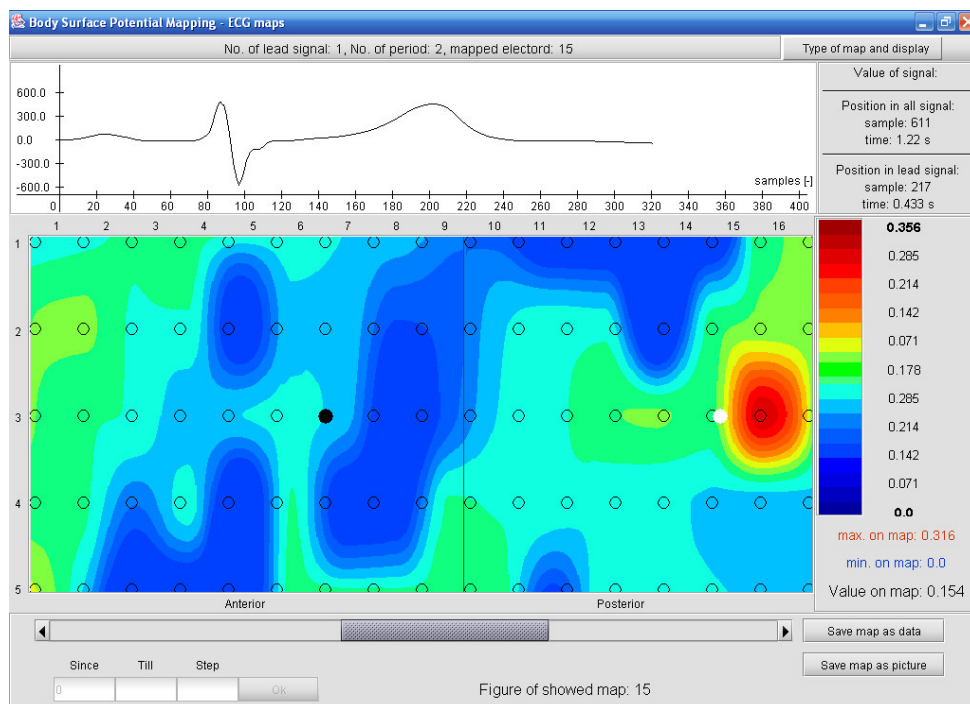
Obr. 3 Příklady integrálových map: a) integrálová mapa QRS komplexu, b) QRST intervalu.

## 5. IMPLEMENTACE

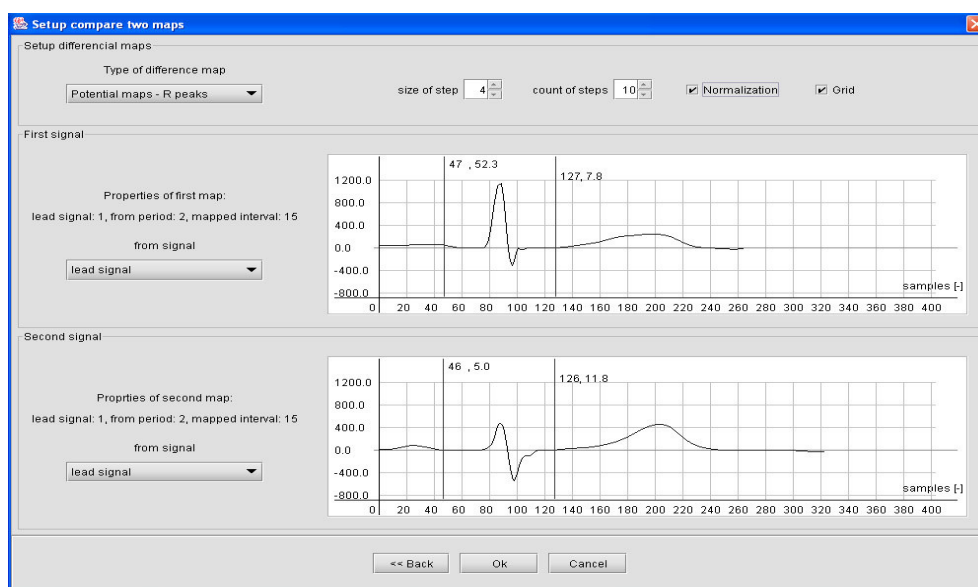
Data nasnímaná systémem CARDIAG 122.2. byla vzhledem k problémům s kompatibilitou programového vybavení systému CARDIAG 112.2. s moderními zařízeními, přenesena do databáze MS Access, spolu s hlavními hodnotami průběhu vln. Pro ověření byl nejprve ve výpočetním prostředí MATLAB 6.5. R13 vytvořen multi-funkční prohlížeč *BSPM70*, ve kterém je možno data dále zpracovat, vytvořit isopotenciálové i isointegrálové mapy a také vytvořit výstupní soubory vhodné k použití dalšími nástroji umělé inteligence. Poté, co

byla ověřena funkčnost modulů v MATLAB [4], jsme se rozhodli implementovat tyto moduly do nástroje pro předzpracování a vizualizaci SumatraTT [5], který je v Gerstnerově laboratoři vyvíjen jako open source a průběžně rozšiřován o nové funkce. V rámci našeho projektu byly vytvořeny následující moduly: modul načtení a úpravy dat, modul vlnkové transformace, modul analýzy signálu EKG, modul mapování povrchového rozložení potenciálů srdce, modul interpolací, modul pomocných výpočtů, modul signálového zobrazení.





Obr.4 Isochronní mapa.



Obr. 5 Okno nastavení parametrů pro rozdílové mapy.

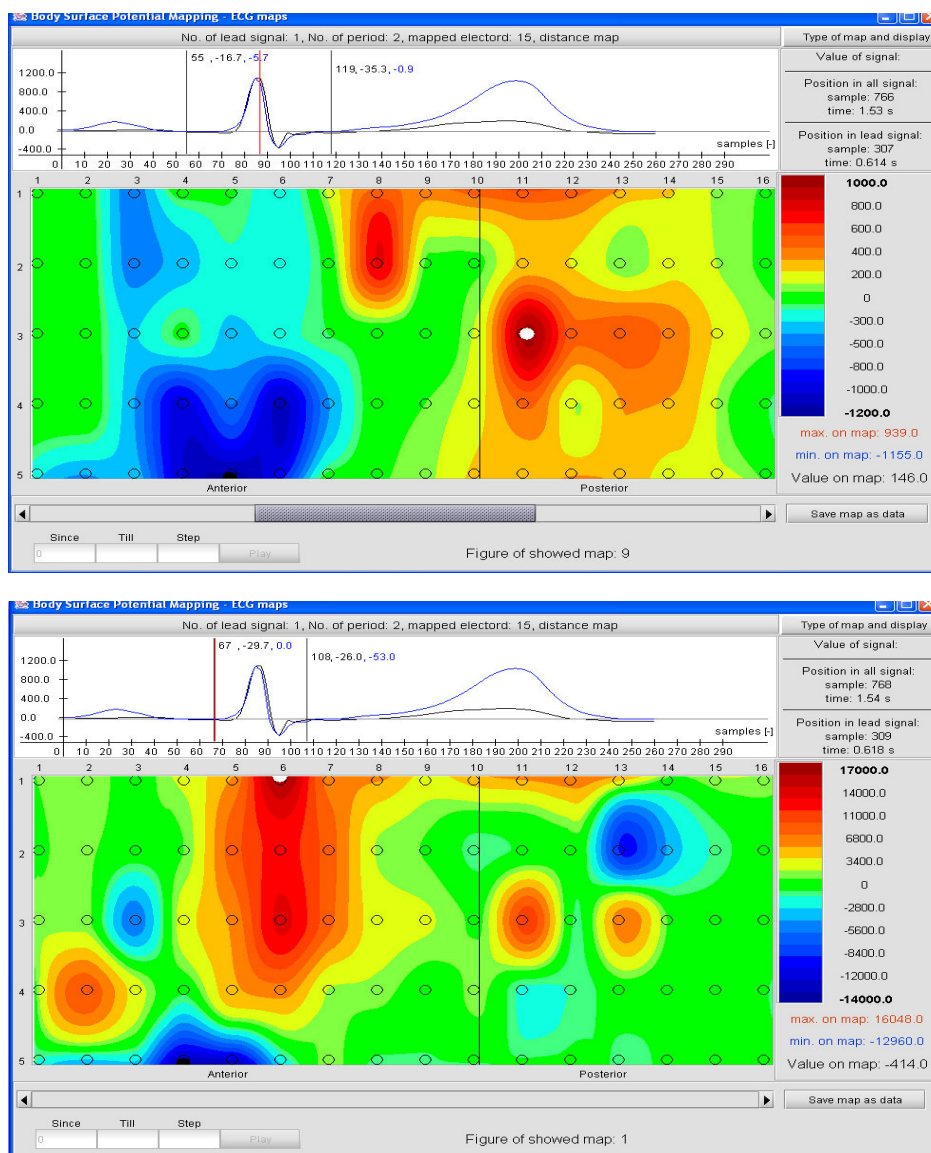
## 6. ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo seznámit s možnostmi předzpracování a vizualizace mnohasvodového EKG, které se používá pro mapování elektrických potenciálů z povrchu hrudníku. Pro předzpracování se využívá vlnková transformace, pomocí níž jsou extrahovány hlavní parametry pro další zpracování. Těmito parametry jsou zejména amplitudy a délky trvání jednotlivých vln v srdečním cyklu, dále např. ST interval, QRS komplex. Vytváření map přímo

navazuje na analýzu signálu. Úspěšnost analýzy má tedy přímý dopad na kvalitu jednotlivých map. Ukázalo se, že stěžejní pro dosažení nejlepšího možného zobrazení okamžitých potenciálových a integrálních map je volba mapování vždy na jedné periodě podle vedoucího signálu. Tak je jednoznačně ve všech elektrodách ohraničen prostor pro tvorbu map a umožňuje větší variabilitu při tvorbě map z různých period signálu podle volby uživatele. Implementace navržených metod do nástroje pro předzpracování a vizualizaci SumatraTT

umožňuje využívat je i méně zkušenými uživateli, protože v tomto nástroji již je vytvořené příjemné grafické uživatelské rozhraní. Dalším důležitým rysem je, že všechny odzkoušené sekvence

předzpracování a vizualizace, včetně jejich nastavení parametrů, je možné uložit pro další použití.



Obr. 6 Příklady rozdílových map.

### Poděkování

Výzkum popisovaný v příspěvku vznikl za podpory projektu č. 1ET201210527 „Znalostní podpora diagnostiky a predikce v kardiologii“ v rámci programu „Informační společnost“.

### LITERATURA

- [1] Friesen G.M., Jannett T.C., Jadallah M.A., Yates S.L., Quint S.R., Nagle H.T., "A Comparison of the Noise Sensitivity of Nine QRS Detection Algorithms". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, January 1990, pages 85-98.
- [2] Macek, J. - Lhotská, L. - Peri, D.: Evaluation of ECG: Comparison of Decision Tree and Fuzzy Rules Induction. In: *Cybernetics and Systems* 2004.

Vienna: Austrian Society for Cybernetics Studies, 2004, vol. 1,2, s. 713-718. ISBN 3-85206-169-5.

- [3] Rosik V, Tysler M, Jurko S, Raso R, Turzova M: Portable system for high resolution ECG mapping. *Measurement Science Review* (<http://www.measurement.sk>), 1, 2001, 27-30.
- [4] Chudáček, V.; Využití metod umělé inteligence pro vyhodnocování prostorového EKG Diplomová práce, ČVUT Praha 2004
- [5] Aubrecht P., Kouba Z.: Metadata Driven Data Transformation. *Proceedings of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (ISAS SCI)*, 2001