

# MÉRŐMŰSZER FEJLESZTÉSE AZ IDŐJÁRÁS EMBERI SZERVEZETRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK MÉRÉSÉRE

## INSTRUMENT DEVELOPMENT FOR MEASURING EFFECTS OF THE WEATHER ON HUMAN HEART SIGNALS

Pintér Ádám<sup>1</sup>, Samu Krisztián<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ICI INTERAKTIV Ltd.; BME, [adam.pinter@icicom.hu](mailto:adam.pinter@icicom.hu)

<sup>2</sup>BME, MOGI Department, Budapest, [samuk@mogi.bme.hu](mailto:samuk@mogi.bme.hu)

**Összefoglalás:** Számos tanulmány foglalkozik a levegőkörnyezet emberre gyakorolt hatásával, így ma már kevesen vitatják e hatások létezését és fontosságát. Az ICI Interaktív Kommunikációs Zrt-nél több mint egy évtizede folynak humánmeteorológiai® és orvosteorológiai kutatások, fejlesztések. Ebben fontos helyet foglalnak el az objektív műszeres mérések. A műszerfejlesztés lehetővé teszi, hogy a többéves tapasztalatok alapján egyre pontosabb és megalapozottabb méréseket végezzünk az időjárási hatások hatásmechanizmusának tisztázására. Dolgozatunkban az emberi szervezetet rendszertechnikai értelemben kezeljük, ami szerves részét alkotja annak a tárgyalásmódnak, ami mérés-technikai oldalról kellőképpen megközelíthetővé teszi a problémát. Emellett összefoglaljuk a szív működés-monitoring műszerfejlesztési projekt tapasztalatait, a felmerülő problémákat és azok megoldását. Berendezésünk legnagyobb újszerűsége az, hogy egyszerre méri az egyén fiziológiai paramétereit, illetve az egyént körülvevő mikrokörnyezeti paramétereket.

**Abstract:** Numerous researches deal with the effects of the atmospheric environment on human body, so these days no doubt about its importance. Our aim at ICI INTERAKTIV Co. Ltd. was to develop devices for objective instrumental reproducible measurements, which have very important role in relevant conclusions. This project is the sequel of a more than ten year research and development have been performed for this topic, and trademarked as humanmeteorology®. The engineering work at the company facilitates more accurate and relevant measurements to clear and understand the effects of weather. In this paper we regard human organism as a technical system which allows us a measurement-theoretical approach. Besides collecting the implications of this point of view, we also summarize the basis and solutions of the development of our heart monitor apparatus satisfying all requirements we laid. The main novelty of this project is to make a device which is capable to simultaneously measure physiological signals and atmospheric microenvironmental parameters.

### Rendszertechnikai értelmezés.

**Bevezetés.** Mind az orvostudományok, mind a meteorológia területén alapvető fontossága van a különböző méréseknek, azok értékelésének, illetve a különböző modellalkotási folyamatoknak. Általában ezek útján jutunk olyan rendszerezhető vagy már meglévő rendszerbe illeszthető információhoz, amire szükségünk van ahhoz, hogy előrejelzést adjunk az időjárás alakulásáról vagy felmérjük egy páciens egészségi állapotát. A két mérési típus első ránézésre meglehetősen különbözik, azonban mérés-technikai oldalról ez már korántsem annyira igaz. Főleg akkor érdemes a két gondolatvilágot illet szempontból közelebb vinnünk egymáshoz, ha egy olyan tudományterületen szeretnénk előre lépni, ami éppen a két kapcsolatát tárgyalja.

**Rendszerek közötti kapcsolat.** Rendszertechnikai értelemben *valós fizikai rendszernek* nevezünk egy olyan fizikai objektumot, amely mérhető külső kényszer hatására mérhető módon megváltozik (Korondi, 2012). Ez első hallásra orvostudományi területen idegen megfogalmazásnak tűnhet, azonban a műszaki és mérés-technikai megközelíthetőség megköveteli ezt a szemléletet. Ennek elfogadásával nem csak a két rendszer (az élő szervezet és a légköri-fizikai környezet) együtt tárgyalása válik kézenfekvőbbé, hanem lehetőséget ad arra is, hogy kapcsolatuk matematikailag leírhatóvá váljon, abból adott esetben egy modell készülhessen, ami a mérések spektrumának bővítésével finomítható.

Esetünkben e gondolatmenet közvetlen felhasználása azért nehéz, mert a legtöbb fizikai rendszertípussal

(például: mechanikai, villamos, termikus) szemben a biológiai rendszerek leírására egyelőre kevés egzakt, matematikailag deklaráható belső összefüggés áll rendelkezésünkre. Ugyanakkor a rendszerszemlélet ezt nem minden esetben igényli feltétlenül. Műszaki területen sem idegenek az úgynevezett fekete-doboz mérések, amikor a rendszer bemenetére ismert gerjesztő jeleket kapcsolunk, valamint mérjük a rendszer kimenetén megjelenő jeleket és a kettő egymáshoz való viszonyából próbáljuk kitalálni az ismeretlen vagy csak részben ismert rendszer tulajdonságait idő- és frekvencia tartományban. Az így szerzett ismeretek kellő alapként szolgálhatnak a belső kapcsolatok feltárásának kiindulópontjaként is. Ez a vizsgálati módszer kellő analógiában áll a *rendszer* fogalmával is, miszerint: a rendszer egy valós fizikai rendszer valamilyen pontosságú és meghatározott működési tartományra érvényes absztrakt modellje, amely a bemenőjelek és a kimenőjelek között teremt matematikai kapcsolatot (Korondi, 2012).

Az emberi szervezet egy kiemelkedő bonyolultságú, rengeteg belső összefüggéssel rendelkező, számtalan állapotjelzővel leírható rendszer, aminek teljes feltárása bőven túlmutat a tárgyalt célunkon, azonban a mérnöki gyakorlatban megszokott lényegkiemelés térnyerésével, és a megfelelő paraméterek megválasztásával közelíthetünk ahhoz. Az emberi szervezetet még ez esetben is mindenképpen MIMO, azaz több be- és kimenetű rendszerként kell kezelni. Ilyen esetekben általában minden bemenetnek minden kimenetre gyakorolt hatását fel kell tárnunk. Ez többféle méréstípus

eredményeinek együttes kezelését jelenti. Sok esetben a legnagyobb segítséget az adja, ha az újszerű rendszerünket egy már ismert rendszerrel analógiába tudjuk állítani, ugyanis ha az analógia helytállóan bizonyul, akkor meg lehet kísérelni a már ismert rendszerre érvényes törvényszerűségek alkalmazását az újszerű rendszerre. Példa erre a villamos és mechanikus rendszerek közötti megfeleltetés, ahol az  $i(t)$  áramnak a mechanikai egyenes vonalú rendszerben az  $f(t)$  erő felel meg (átmenő jellegű változó), míg az  $u(t)$  villamos feszültségnek a  $v(t)$  sebességkülönbség (keresztváltozó). A köztük lévő kapcsolatot leíró egyenletek is hasonló alakúak, kapcsolatukat megtestesítő fizikai mennyiségek pedig szintén analóg módon értelmezhetők (1. táblázat).

1. táblázat: Analógia a villamos és mechanikai egyenes vonalú fizikai rendszerek között (Huba, 2010)

	Energiatárolók		Disszipatív elemek
Villamos rendszer	$i = C \cdot \frac{du_{12}}{dt}$	$i = \frac{1}{L} \cdot \int u_{12} dt$	$i = \frac{1}{R} \cdot u_{12}$
Egyenes vonalú, mechanikus rendszer	$f = m \cdot \frac{dv_{12}}{dt}$	$f = k \cdot \int v_{12} dt$	$f = b \cdot v_{12}$

A táblázatban található fizikai mennyiségek és mértékegységeik:  $i$ , villamos áram [A];  $C$  villamos kapacitás [F];  $u$ , villamos feszültség [V];  $L$ , villamos induktivitás [H];  $R$ , ohmikus ellenállás [ $\Omega$ ];  $f$ , erő [N];  $m$ , tömeg [kg];  $v$ , sebesség [m/s];  $k$ , rugómerevség [N/m];  $b$ , csillapítási faktor [Ns/m]

Jelen esetben ilyen mértékű megfeleltetésre egyelőre nem vagyunk képesek, de mindenképpen érdemes szem előtt tartani azt a szemléletmódot, miszerint a légkörkörnyezet és a minket körülvevő fizikai valóság ismert pillanatnyi paraméterei, illetve azok ismert tranziensei a vizsgált rendszer (emberi szervezet) bemenetei, kimenetei pedig olyan mérhető szintén fizikai mennyiségek, amik alkalmasak lehetne arra, hogy a kapcsolatokat felderítsük. Ennek érdekében olyan műszerekre van szükségünk, amik alkalmasak valamilyen paramétert vagy mutatót megbízhatóan, objektíven és reprodukálhatóan mérni. Ilyen mérendő mutatók lehetnek a szív működés villamos jelei. Ennek igazolása nem tárgya e dolgozatnak, jelen bemutatás egy konkrét készülék tervezésénél felmerülő technikai és mérés technikai problémák tárgyalására összpontosít.

### Mérőműszer fejlesztés.

**Bevezetés.** A szív villamos jeleinek mérésére egy folyamatos működésű, az emberre veszélyt semmilyen módon nem jelentő, noninvasív készülék tervezése volt a cél, mikrokontrolleres irányítással. A berendezés tervezésekor és kialakításakor olyan kritériumokat és szempontokat kellett figyelembe venni, amik nagy mértékben meghatározták az egyes technológiai paramétereket. Ezeket veszem számba az alábbi bekezdésben. A tervezés során általában többszörös iteráción keresztül jutottunk el a végső megoldáshoz, ami természetesen a műszaki fejlesztések és megoldások terén.

**Tervezési szempontok.** Mérés technikai szempontból a véletlen hibák és külső zavarjelek kiküszöbölése érdekében elengedhetetlen a nagy számú, és jelen esetben rendszeres, minél hosszabb időtartamú mérés. Ráadásul, mivel a vizsgálataink a környezeti paraméterek széles spektruma esetén elvégzendők, ilyen szempontból is cél a kísérleti személyek szervezetének reakciójának rögzítése minél több különböző humánmeteorológiai® helyzetekben. Egyúttal a berendezésnek minél mobilabbnak kell lennie. Ezek az elvárások huzamos (több hetes) üzemidőt igényelnek, aminek sok technológiai vonzata van. Ilyen például a tápellátás kérdése. A készülék 3 [V]-os egyenfeszültségű tápellátását 1,5 [V]-os szárazelemek biztosítják, a gazdaságos tápfelhasználás érdekében pedig számos szoftveres és hardveres megoldásra volt szükség, melyek közül a legfontosabbak a következők:

- időben szakaszos programfutás;
  - flexibilis órajel módosítás;
  - intelligens periféria kezelés (a mikrokontrolleren belül is);
  - szerteágazó hardveres tápmenedzsment;
  - back-up megoldások;
  - ultra alacsony fogyasztású áramkörti elemek használata.
- A hosszú távú használat ergonomiai kérdéseket is felvet. A készüléknek méreteiben és kialakításában olyannak kell lennie, hogy az viselőjét ne akadályozza a mindennapi életvitelében, és ne okozzon kellemetlenséget a viselése. Az ennek figyelembevételével történő tervezést a következő paraméterek és megoldások tükrözik:
- a készülék tömege 100 [g];
  - a készülék tetszés szerint nyakba akasztható vagy övre csíptethető;
  - a mellkasi elektróda-öv bőrbarát anyagokból készül, felhelyezése és levétele egyszerűen, gyorsan megvalósítható, nem szükséges hozzá második személy.

A könnyű kezelhetőség ugyanannyira fontos, mint az ergonómikus viselet, melynek érdekében a készülék:

- a kijelzőjén átláthatóan, lényegre törően jeleníti meg a szükséges adatokat;
- a grafikus kijelzésen kívül hangjelzéssel is tud kommunikálni viselőjével;
- kezelése egyszerű, egyértelmű funkciójú gombokkal történik;
- szoftvere egyszerű, robusztus, túlnyomórészt automatikus működésű, lényeges beavatkozást nem igényel;
- mérés közben valós idejű visszajelzést ad a szív mért elektromos jeleiről, ami által könnyen ellenőrizhetjük az elektróda-kontaktusok minőségét.

A sok mérés nagy mértékű adattárolást és kezelést kíván. Az ezzel kapcsolatos paraméterek:

- a készülék nagy mennyiségű adat tárolására képes a mérés közben folyamatosan, így végtelenített mérésekre is lehetőség adódik;
- az adatokat titkosítva tárolja;
- a ma már szinte kötelező szabvánnyá vált USB-s kommunikáció létesíti meg az interfészt az adatok letöltéséhez illetve a mérési paraméterek beprogramozásához.

Analóg elektronikai értelemben a legfőbb problémát a következők jelentették:

- megfelelő jelelvezetés;
- zajvédelem;
- túlfeszültség védelem;
- ESD (elektrosztatikus kisülés) elleni védelem;
- DC-leválasztás;
- 50 [Hz]-es zajsűrűséssel történő kiküszöbölése.



1. ábra: Az ICI Interaktív Zrt. saját fejlesztésű szív működés-monitorozó 3D modellje és legyártott kísérleti sorozatú berendezése

E problémák áthidalására különféle megoldásokat eszközöltünk. A hasznos jel zajterhelése kettős. Egyrészt a környezetből, antennaként összeszedett széles frekvenciaspektrumú zaj, másrészt a feldolgozó elektronika digitális áramköri elemeinek nagyfrekvenciás zaja. Ezek minimalizálása végett többlépcsős, L-C szűrőn keresztül kell megtáplálni az analóg műveleti erősítőket, amelyekkel a szív villamos jeleit erősítjük digitalizálható jelszintre, illetve fokozottan kell ügyelnünk a rendszer tápellátásának kialakítására. Ez egyrészt a szokásosnál nagyobb mennyiségű zajsűrő, úgynevezett hidegítő kondenzátor használatát, másrészt a táp- és földvezetés csillag-topológiájának szigorú betartását jelenti. A túlfeszültség és ESD elleni védelmet speciális, erre alkalmas Zener-diódákkal oldottuk meg. A DC-leválasztást kerámia kondenzátorok sorba kötésével valósítottuk meg.

**Tapasztalatok, további célok.** A berendezés a gyakorlatban teljesítette az irányába támasztott

elvárásokat. A kezdeti kísérleti időszakban 25 személyen végeztünk különböző időtartamú méréseket száz-as nagyságrendben, a néhány perctől a 24 óráig. A készülék folyamatos mérési ideje 50-60 óra, amely szakaszos üzemmód esetén akár hónapos méréseket is lehetővé tesz. A mellkasi jelelvezetések emberi bőrrel

való kontaktjának bizonytalansága napi viszonylatban 5-8%-os adatvesztést okozott, ami jelentősen nem befolyásolta a kiértékeléseket. A berendezés jelenleg az ICI Interaktív Zrt-nél folytatott humánmeteorológiai@ kutatások spektrumának bővítését szolgálja, azonban időközben kilátásba került a készülék klinikai felhasználása is, amely különböző intézetekkel történő együttműködés keretein belül valósulhat majd meg. A készülék utódja már tervezés alatt áll. Elsősorban az akkumulátoros tápellátás és a kisebb, könnyebb kivitelezés alkotják a továbbfejlesztés tárgyát.

## Irodalom

- Korondi, P., 2013: Rendszertechnika jegyzet. *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, 10-13.
- Huba, A., 2010: Oktatási segédanyag Mechatronika II. tantárgyhoz. *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*