

Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola és
Gyógypedagógiai Tanárképző Főiskola

A motoros egység potenciál paramétereinek összehasonlító számítógépes elemzése

Molnár Ervin, Tóth János és Illyés Sándor

I. Bevezetés

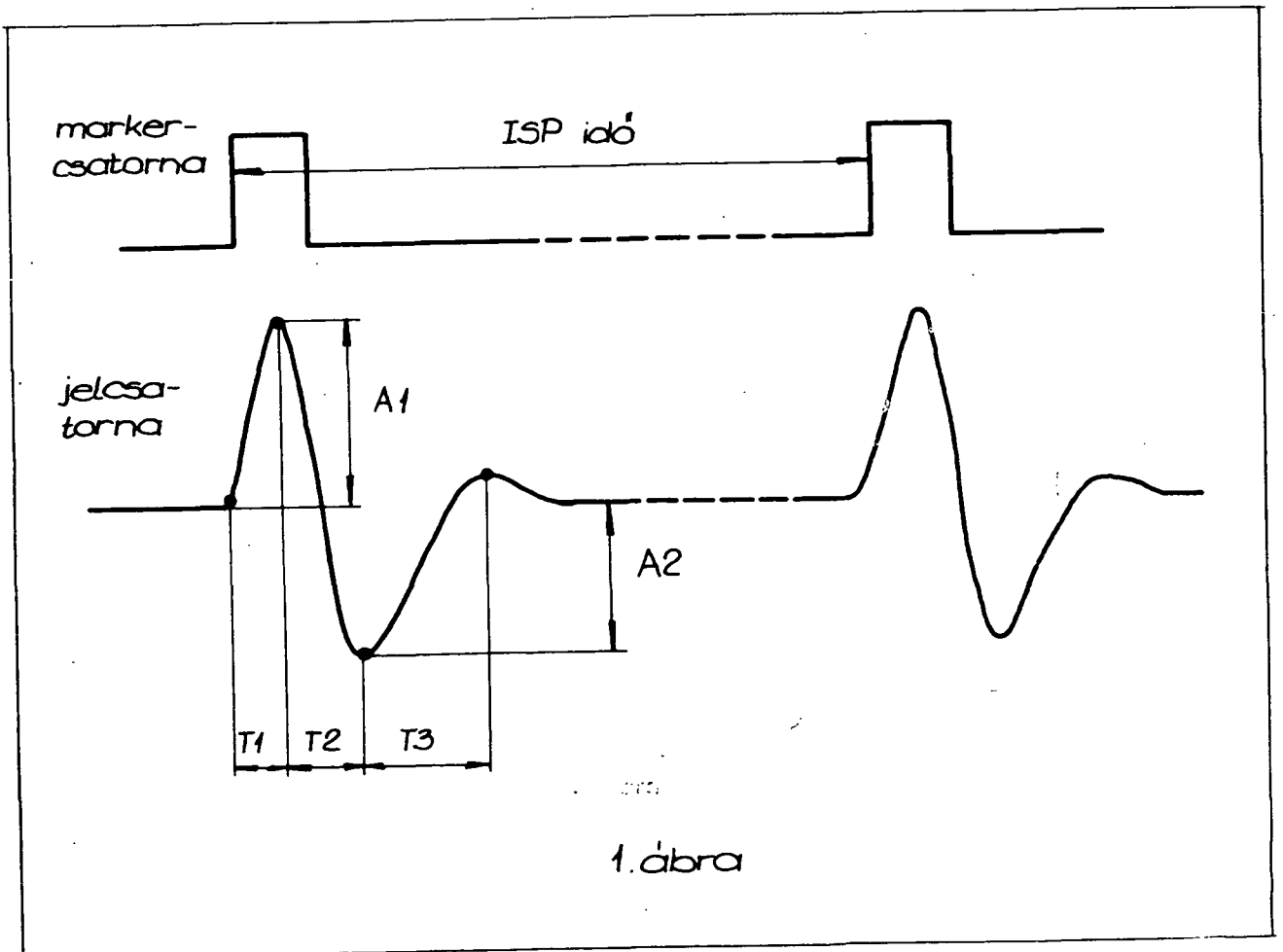
Az elektranyográfias jelek legegyszerűbb formája a motoros egység potenciál. Ez a potenciál a motoneuron által ingerületbe hozott izomroston végigfutó ingerületi állapot keltette töltéshullám különböző elektródaelrendezésekkel leképezett jele (4), (19), (36), (37). A motoros egység potenciál mért jele ilymódon felvilágosítást nyújt a motoros egység alkotóinak (motoneuron, a motoneuronból kiinduló idegrost és az idegrost által beidegzett izomrostok) működéséről és az egyes egységekben végbemenő fiziológiai folyamatokról. Ezek az információk a motoros egység potenciál

- jelalakjából (adott elektródaelrendezésnél mérve),
- a jel amplitudó- és időadataiból, valamint
- a jelek gyakoriságából (a kisülési frekvenciából)

nyerhetők ki. A jelalak és a jelparaméterek legegyszerűbben az egyes jelek számítógépes átlagolásával kaphatók meg, és az erre kidolgozott eljárást a (45) közleményben ismertetjük. Jelen közleményben egy, a jelparaméterek és a kisülési frekvencia együttes vizsgálatára alkalmas másik számítógépes eljárást ismertetünk. Az eljárás előnye az átlagolással szemben, hogy lehetővé teszi az egyes jelparaméterek akaratlanos vagy fáradásból adódó időbeni változásának vizsgálatát, és így hosszú, egybefüggő felvételek értékelhetők.

II. A motoros egység potenciálok paramétereit meghatározó eljárás

Az elmúlt években számos eljárást ismertettünk (16), (34), (19) a motoros egység potenciálok számítógépes értékelésére, ill. rámutatunk az egyes eljárások problémáira (35) is. Az újabb vizsgálatainknál ezért az utóbbi előadásunkban ismertetett problémák kiküszöbölését tűztük ki célul, és az eddigi eljárásaink jól bevált részeit felhasználva, ill. továbbfejlesztve dolgoztuk ki az új jelértékelő algoritmusunkat. Az új eljárás adatgyűjtő és összesítő programokból áll. Az adatgyűjtő programot bipoláris elvezetésű jelekhez fejlesztettük ki, és a program a mágnesszalagon elhelyezkedő digitalizált elektromiográfiás felvételeket elemzi. A felvételek az első előadásban ismertetett marker-csatornát is tartalmazzák (45). A programnak bemenő paraméterként megadható a jel- és marker-csatorna száma, a mintavételi frekvencia és a bipoláris jel első csúcsának polaritása (jelen közleményünkben mindig pozitívba induló jelet tételezünk fel). Az adatgyűjtő program a felvételek elemzésekor az 1. ábrán bejelölt jelparamétereket gyűjti ki.



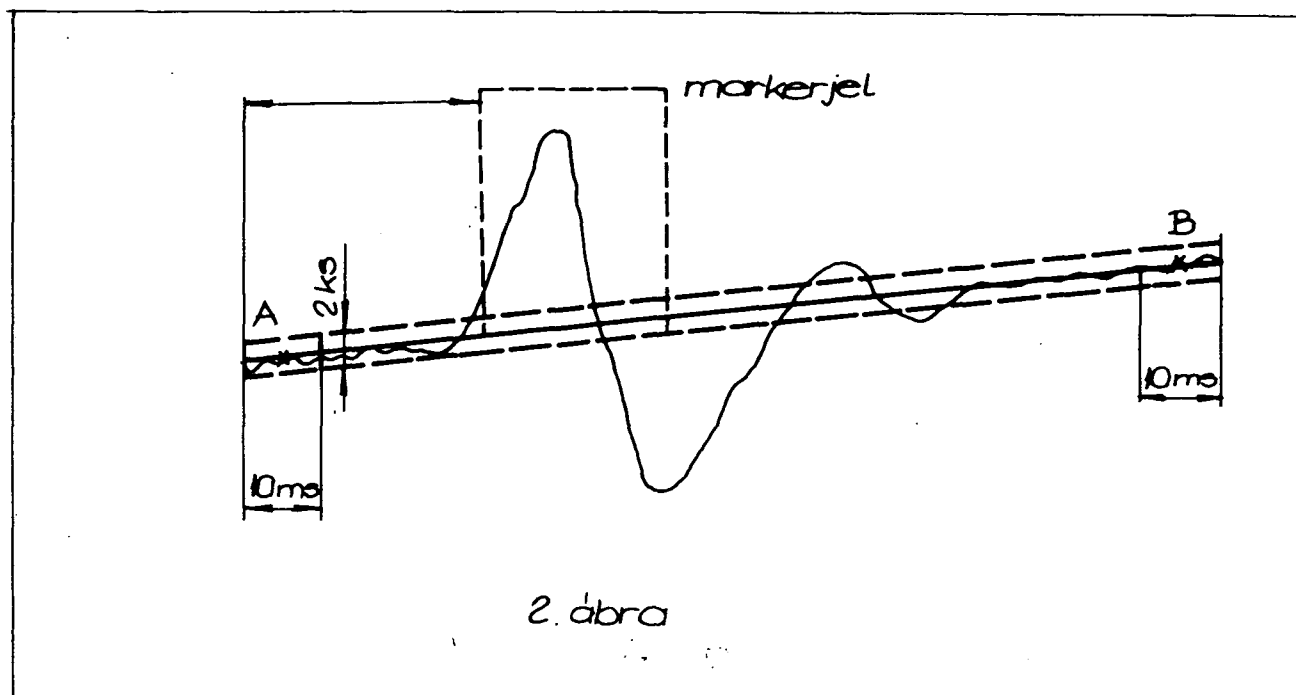
1. ábra

Biológiai jelek feldolgozásánál minden esetben a legnagyobb problémát a zaj jelenti. Az első nehézség a jel és a zaj szétválasztása (jeldetektálás). A program a mágnesszalagon tárolt digitalizált jelet kétszeres puffereléssel olvassa le, és a jel detektálása a markerjel felismerésén alapszik. A jel detektálását követi a jel egyes paramétereinek mérése. A zajos háttérbe beolvadt jelalkotók felismerése általában rendkívül nehéz, így a kapott eredmények sok esetben csak nagyon kritikusan értelmezhetők. Az 1. ábrán bemutatott jel esetén ez elsősorban az egyes definíciós pontok detektálásánál jelent problémát. A felfutó, lefutó, ill. utópozitivitási csucs definiálása software uton történő amplitúdókomparálással viszonylag egyszerű, viszont a felfutó szakasz kezdetét a zaj miatt nehéz felismerni. Ezt a nehézséget egy mesterséges alapvonal generálásával és egy zajsáv bevezetésével oldottuk meg. Az alapvonal-generálás lényege, hogy a markerjel megjelenésekor a markerjel felfutóélét megelőző és azt követő max. 64 ms hosszúságú jelszakaszt egy pufferbe töltjük, majd a puffer jelet megelőző és jelet követő szakaszából egy átlagértéket és szórásit számolunk. Az átlagérték a markerjel felfutó éle előtt 30 ms-mal kezdődő 10 ms-os, ill. a puffer utolsó 10 ms-os szakaszából kerül ki. Az így kapott A és B átlagértékeket a vizsgált intervallum középső pontjához rendeljük, és a két ponton átmenő egyenest definiáljuk alapvonalként. A két 10 ms-os szakaszon számolt s szórás k-szorosát mint zajsávot fogjuk fel, és a jel kezdetét az

$$A_i > at_i + b + ks$$

egyenlőtlenség teljesülésével értelmeztük. Az összefüggésben A_i a t_i időpontban vett minta értéke, $at + b$ a fenti módon generált alapvonal egyenlete, és ks a zajsáv. Az alapvonal-generálás és a zajsáv kijelölés módszerét a 2. ábrán szemléltettük. A gyakorlatban problémát okozott a zajsáv szélességét megadó k konstans meghatározása. Ezt több, különböző jel/zaj viszony felvétel kiértékelése alapján 2-nek választottuk.

A mesterséges alapvonal előnye, hogy kiszűri a felvétel egyenáramu színtingadozásait és lehetővé teszi a jelkezdet detektálását. Az adatgyűjtő program az 1. ábrán megadott paramétereket a következő módon értelmezi:



2. ábra

Interspike (ISP) idő: két markerjel felfutóéle közt eltelt idő. Egy markerjel detektálása után 50 ms-ig a program új markerjelet nem vesz figyelembe. Ebben az időintervallumban markerjel csak a zaj vagy egy másik motoros egység aktivitásának hatására keletkezhet.

Felfutó amplitudó (A1): az alapvonal és a zajsáv alapján értelmezett jelkezdet és az azt követő lokális maximumból álló komplexum maximumértékéhez tartozó amplitudó.

Lefutó amplitudó (A2): a lokális maximumot követő lokális minimum amplitudóértéke.

Felfutó idő (T1): a jelkezdet és a felfutó amplitudó időpontja közt eltelt idő.

Csúcsközi idő (T2): a felfutó és lefutó amplitudók megjelenése közt eltelt idő.

Lefutó idő (T3): a lefutó amplitudó helye és az utópozitív csúcs közt eltelt idő.

Az adatgyűjtő program minden jelből meghatározza a fenti jelparaméterek értékét, és lerakja őket egy file-ba. A file-ban összegyűlt adatok végső értékelését az összesítő program végzi. Az összesítő program különböző időbeni, ill. amplitudó feltételek alapján szűri az adatsort, majd a kapott (minden feltételnek megfelelő) adatokból átlagértéket, ill. szórást számol, és előállítja az egyes adatok megoszlását lei-

ró hisztogramokat. Az adatgyűjtő program további funkciója még a hat mért paraméter kölcsönös korrelációs mátrixában szereplő elemek meghatározása. Az összesítő programban alkalmazott szűrőkritériumok azt eredményezik, hogy az egyes eredményeket (átlag, ill. korreláció) különböző számú minta felhasználásával kapjuk. Ez azért előnyös, mivel így néhány nem értékelhető adat esetén is felhasználhatjuk azokat, amelyek a hat paraméter közül megmaradtak. A fenti két programot TPAi számítógépre, FORTRAN, ill. SLANG 3 nyelven írtuk meg, és az OS/i-8 operációs rendszer felügyelete alatt futtattuk. A programrendszer működéséhez szükséges minimális hardware konfiguráció:

- 8 K tárolókapacitású, alap-perifériákkal ellátott TPA-i kishátszámítógép
- min. 64 K tárolókapacitású diszk-egység
- 2 db mágnesszalagos egység
- 4 A/D konvertert tartalmazó LABORHIBRID keret.

A speciális hardware eszközökről korábbi előadásainkban már többször beszámoltunk, így itt nem kívánunk erre kiténi.

III. A kapott eredmények

A programrendszerrel állandó, ill. változó kisülési frekvenciájú motoros egység potenciálokat vizsgáltunk. Az állandó kisülési frekvenciájú jel úgy keletkezett, hogy a kísérleti személy a visszacsatolás révén igyekezett állandó kisülési frekvenciával egyetlen motoros egységet működtetni. A változó kisülési frekvenciájú jelnél a kísérleti személy a kisülési frekvenciát akaratlagosan változtatta. A jeleket bipoláris elvezetéssel mértük, a digitalizálás mintavételi frekvenciája 1 kHz volt.

A kétféle jelre kapott numerikus eredményeket a I. és II. táblázatok tartalmazzák. A változó kisülési frekvenciájú jelek paramétereinek hisztogramját a 3. - 8. ábrák mutatják. A kapott átlag- és szórástértékek vizsgálatának eredményei a következőkben összegezhetők:

INTERSPIKE IDŐ HISZTOGRAM:

1	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	0	
6	23	****
7	30	*****
8	98	*****
9	92	*****
10	67	*****
11	53	*****
12	23	****
13	10	**
14	12	**
15	5	*
16	0	
17	1	
18	0	
19	0	
20	0	

oszt. sz. - 10 ms

3. ábra

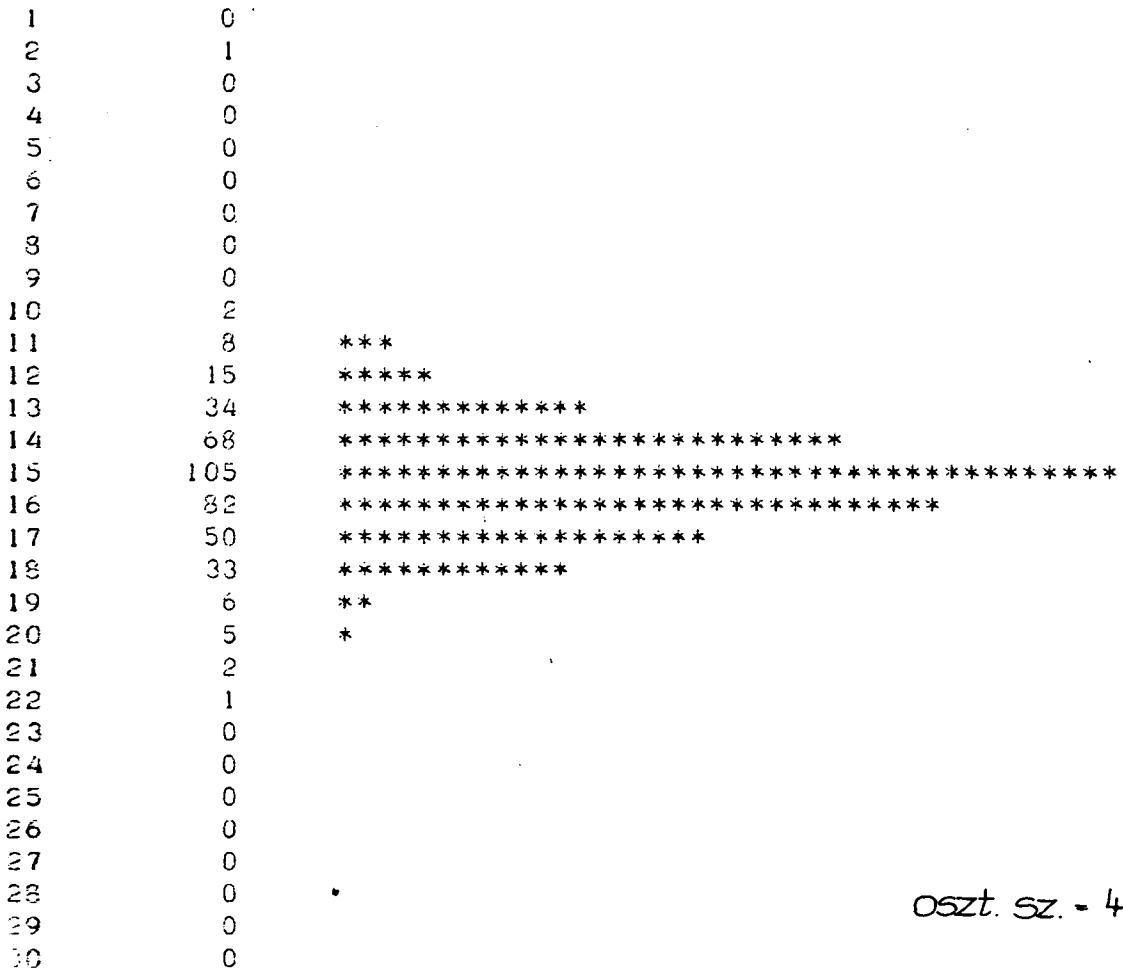
FELFUTÓ AMPLITUDO HISZTOGRAM:

1	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	1	
6	0	
7	0	
8	0	
9	0	
10	0	
11	0	
12	0	
13	0	
14	0	
15	0	
16	0	
17	2	
18	8	***
19	15	*****
20	30	*****
21	82	*****
22	99	*****
23	99	*****
24	46	*****
25	15	*****
26	9	***
27	4	*
28	0	
29	0	
30	0	

4. ábra

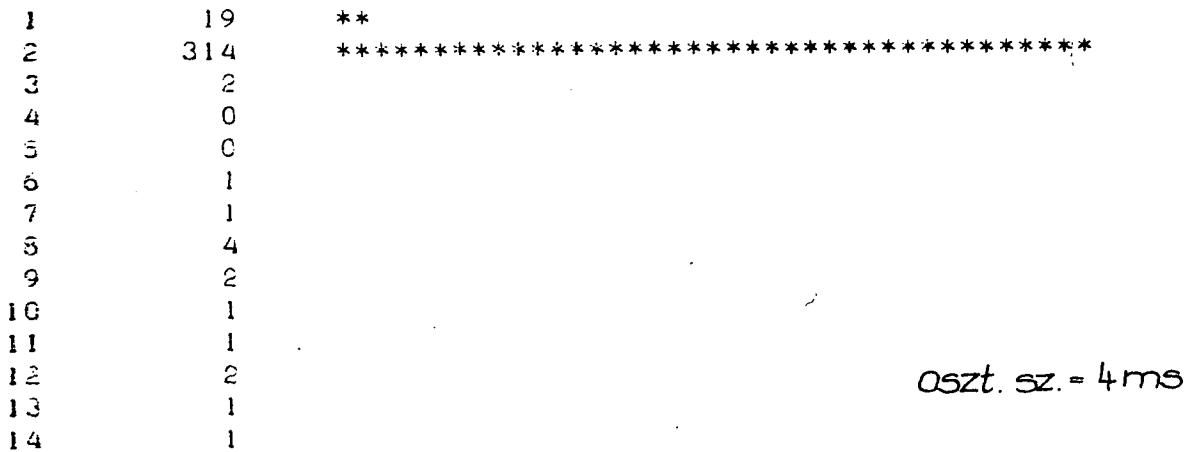
oszt. sz. - 4.0 r.

LEFUTÓ AMPLITUDO HISZTOGRAM:



5. ábra

FELFUTÓ IDŐ HISZTOGRAM:



6. ábra

CSUCSKOZI IDŐ HISZTOGRAM:

1	0
2	0
3	241
4	167
5	0
6	0
7	0
8	1
9	0
10	3

oszt. sz. - 2ms

7. ábra

LEFUTÓ IDŐ HISZTOGRAM:

1	1
2	0
3	3
4	15
5	12
6	42
7	11
8	13
9	16
10	15
11	7
12	0
13	0
14	0
15	0

*

oszt. sz. - 2ms

8. ábra

a.) Az ISP idők átlaga és szórása az akaratlagosan változtatott kisülési frekvenciájú jelnél nagyobb, mint az állandó kisülési frekvenciánál mért értékek. A hisztogram állandó kisülési frekvencia esetén Gauss-görbe alakú, viszont változó kisülési frekvencia esetén torzul, aszimmetrikussá válik. Ez azzal magyarázható, hogy a kisülési frekvencia egy felső határfrekvenciával rendelkezik.

b.) A pozitív és negatív csúcsok jól mérhetőek, a fel- és lefutó amplitudók szórása viszonylag kicsi. Feltűnő a jel aszimmetriája (a felfutó amplitudó mindig nagyobb a lefutó amplitudónál), ami részben az elektródarendszer hibájával magyarázható.

c.) A jel felfutási és csúcsközi ideje rendkívül stabil, a jelváltozás rendkívül gyors.

d.) Az állandó és változó kisülési frekvenciánál mért amplitudó és idő adatok az ISP időt leszámítva alig változnak.

e.) A jel felfutási idejének mérését az utópozitív csúcs elment, zajba beolvadt jellege nagymértékben nehezíti. A jelek kb. kétharmadánál az utópozitív csúcs nem detektálható.

Az egyes paraméterek közti korrelációk nem túl élesek. Mindkét méréssorozatnál 1 %-os szignifikanciaszinten korrelációt találtunk az ISP idő és a csúcsközi idő közt, valamint a pozitív és negatív amplitudók közt. A felfutási idő és a pozitív, ill. negatív amplitudók közti korrelációk 5 %-os szinten szignifikánsak. A korrelációk fiziológiai jelentésének tisztázása további elméleti és kísérleti vizsgálatokat igényel. A felfutó amplitudó jó detektálhatósága mindenesetre jelentős eredmény, és várhatóan alkalmazásával elhagyható az eljárást bonyolító markerjel.

Jelparaméter	Állandó kisülési fr.			Változó kisülési fr.		
	átlag	szórás	db. szám	átlag	szórás	db. szám
ISP	74.7 ms	10.0 ms	652	86.7 ms	22.0 ms	452
A1	81.3 or	6.9 or	604	86.1 or	7.9 or	412
A2	-48.6 or	6.5 or	604	-58.5 or	7.8 or	412
T1	6.9 ms	2.0 ms	603	9.6 ms	3.0 ms	411
T2	6.2 ms	1.0 ms	604	5.8 ms	1.0 ms	412
T3	12.3 ms	1.0 ms	211	12.0 ms	1.0 ms	140

1. táblázat

jelparaméter	Állandó kisülési fr.				
	A1 korr.eh. /m.szám/	A2 korr.eh. /m.szám/	T1 korr.eh. /m.szám/	T2 korr.eh. /m.szám/	T3 korr.eh. /m.szám/
ISP	0.05 /604/	0.06 /604/	-0.05 /603/	-0.21 /604/	-0.04 /211/
A1	- -	-0.20 /604/	0.00 /603/	0.12 /604/	0.04 /211/
A2	- -	- -	-0.05 /603/	-0.03 /604/	-0.11 /211/
T1	- -	- -	- -	-0.05 /603/	0.04 /210/
T2	- -	- -	- -	- -	0.09 /211/
változó kisülési fr.					
ISP	0.00 /412/	0.12 /412/	-0.07 /411/	-0.11 /412/	-0.08 /140/
A1	- -	-0.18 /412/	0.02 /411/	0.02 /412/	0.29 /140/
A2	- -	- -	0.03 /411/	-0.07 /412/	-0.17 /140/
T1	- -	- -	- -	-0.03 /411/	0.05 /139/
T2	- -	- -	- -	- -	0.00 /140/

II. táblázat

IV. Összefoglalás

A fenti eredmények alapján úgy látjuk, hogy a programrendszer a motoros egység potenciálok rutinszerű vizsgálatára alkalmas. Az így mért jelparaméterek nagy megbízhatósága lehetővé teszi a módszer diagnosztikai alkalmazását, mivel a jelparaméterek és a kü-

lőnböző kóros elváltozások közt szoros kapcsolat van (lásd (19), (36), (37)). A kapott eredmények alapján két továbbfejlesztési cél tűzhető ki:

- a mérés-technikai módszer javítása a markerjel pozitív csúccsal történő helyettesítése alapján, valamint az utópozitív csúcs detektálhatóságát javító zajszűrés bevezetése,
- a kapott eredmények felhasználása a motoros egység működését leíró sztatikus (egy jel viselkedését megadó) ill. dinamikus (a gyorsulás-lassulás hatását figyelembe vevő) modellek megalkotására.

Az irodalomjegyzék az első előadás végén található.