

ÖSSZEFOGLALÁS:

INGER: A külvilág, vagy a belső szervek fizikai, vagy kémiai jele, melyet a specifikusan érzékeny receptorsejt érzékel.

ÉRZET: Az agy érzékelő központjának válasza az ingerre.

SZENZOROS MŰKÖDÉS: A külvilág, vagy a belső szervek információit (fizikai, vagy kémiai jel = inger) érzékeli és szállítja az agyba, ahol az érzet, mint válasz kialakul. Pl. inger = hang, érzet = hangosság.

RECEPTORSEJT, TRANSDUCER: specifikusan érzékeny érzékelő sejt, amely a külvilág, vagy a belső szervek információit (inger) érzékeli, ill. elektromos receptorpotenciállá alakítja.

RECEPTORPOTENCIÁL: A receptorsejt membránpotenciáljának lokális (nem terjedő) megváltozása. Amplitúdója az inger erősségének függvénye.

DINAMIKA KOMPRESSZIÓ: Gyenge inger esetén a receptorpotenciál viszonylag jobban megváltozik, mint erős inger esetén. A receptorsejt érzékenysége az inger erősségétől függ (általában hatványfüggvény).

ÉRZŐIDEG: A receptorsejtet az agyi érzőközponttal összekötő idegrost(köteg), amely a küszöb feletti receptorpotenciál hatására akciós potenciált hoz létre, majd az információt frekvenciakódolt formában (impulzus sorozat) továbbítja az agy felé.

AKCIÓS POTENCIÁL: Az idegrost mentén gyorsan tovaterjedő rövid (~ ms) elektromos feszültségimpulzus, melynek amplitúdója (~ 0,1 V) a terjedés során változatlan marad. Főbb jellemzők: küszöbinger, akciós potenciál frekvencia.

MEGVILÁGÍTÁS ERŐSSÉGE: A felületre merőlegesen beeső fényáram és a felület hányadosa. Mértékegysége a **lx (lux)**. Pl. egy gyertya 1 m távolságban 1 lx, míg az erős napsütés 100 000 lx megvilágítás erősséget okoz.

HANGOSSÁGSZINT: A hangosságérzet Weber-Fechner törvény alapján számított, **phon**-ban kifejezett értéke, mely 1000 Hz-en megegyezik az adott hang intenzitás szintjével (J_{dB} (dB)). Mérőszáma nem fejezi ki a valódi hangosságérzetet.

WEBER-FECHNER TÖRVÉNY: A relatív inger (Φ/Φ_0) és az érzet (Ψ) erőssége közötti **logaritmikus** összefüggés, $\Psi = 10 \lg (\Phi/\Phi_0)$. Manapság a jóval pontosabb Stevens törvény tekinthető érvényesnek.

HANGOSSÁG: A valójában érzékelt hangosságérzet **son**-ban kifejezett értéke, amely a Stevens törvény alapján számítható.

STEVENS TÖRVÉNY: A relatív inger (Φ/Φ_0) és az érzet (Ψ) erőssége közötti **hatványfüggvény**. $\Psi = \text{konst.} (\Phi/\Phi_0)^n$, ahol az n kitevő az érzékelés fajtájára jellemző szám. Pl. hangosság esetén $n = 0,3$, fényérzékelés esetén $n = 0,5$.

A mérés célja a fizikai ingerintenzitás és az érzeterősség összefüggését leíró pszichofizikai alaptörvény tanulmányozása, kimérése, ill. a szenzoros működés jelátalakító funkcióinak megismerése. A mérés első felében a szem fényérzékelő rendszerének leegyszerűsített elektromos modelljét vizsgáljuk a **receptorpotenciál** és az **akciós potenciál** szintjén. A mérés második felében a szubjektív hangosságérzet és az azt kiváltó szinuszos hang intenzitása közötti összefüggést mérjük ki, immár „élőben”.

Kapcsolódó részek:
Damjanovich-Fidy-Szöllősi:
VII / 1. 2. 4., VII / 1. 7., IX / 5. 1., 5. 2., 5. 3.

ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÁS

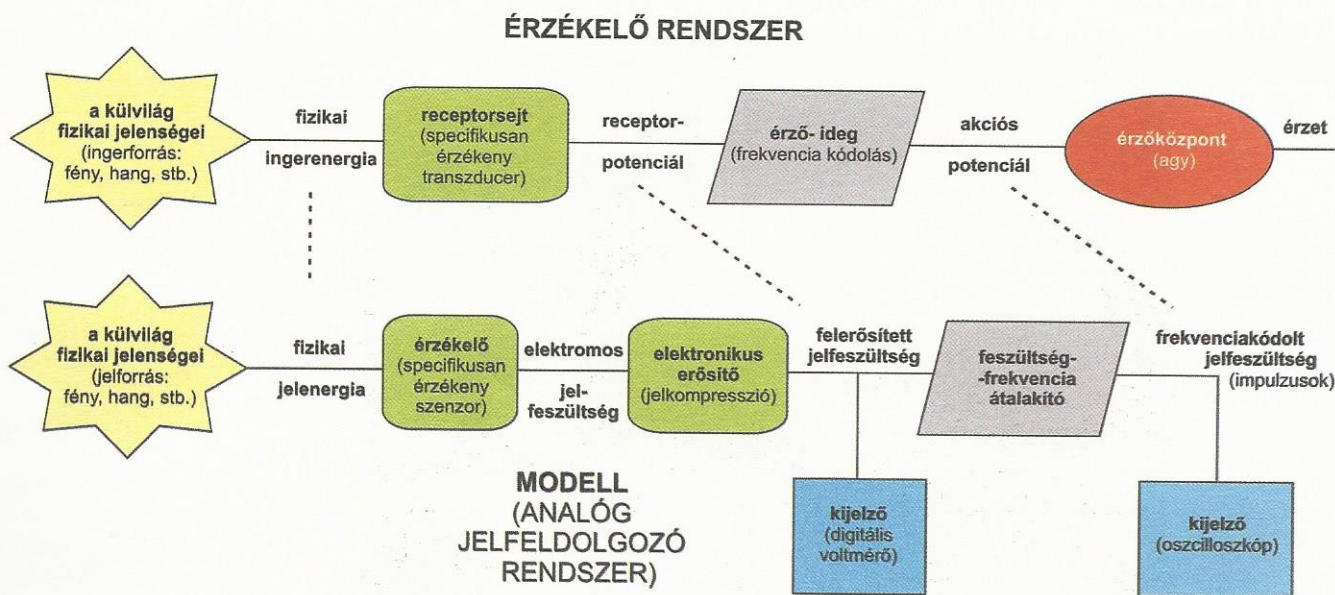
1. A SZENZOROS MŰKÖDÉS MODELLEZÉSE: FÉNYÉRZÉKELÉS

Az élő szervezetekre jellemző érzékelő rendszer egyszerűsített tömbvázlata látható az 1. ábra felső felében. Az érzékszerv **receptorsejtjei specifikusan érzékenyek** valamilyen külső fizikai, vagy kémiai ingerre. Ennek hatására a sejt nyugalmi potenciálja megváltozik, amit **receptorpotenciálnak** hívnak. Gyenge ingerek esetén a receptorpotenciál relatíve jobban megváltozik, mint erős inger esetén. Így válik lehetővé sok energia-nagyságrendet átfogó ingerek egyetlen érzékszervvel való érzékelése. Az érzékenység ilyen változását **dinamika kompresszió**nak (jelkompresszió) hívják. A receptorsejthez csatlakozó érző-idegsejt a küszöb feletti receptorpotenciálból uniformizált elektromos impulzusokat, ún. **akciós potenciálokat** hoz létre. Az akciós potenciálok frekvenciája sok esetben arányos a receptorpotenciállal. Mivel az akciós potenciál amplitúdója nem változik az idegpályán való végighaladás során, a kódolt információ csillapítatlanul és torzítatlanul juthat el az agy **érzőközpontjába**, ahol bonyolult folyamatok során az **érzet** kialakul. Objektív és szubjektív mérések összevetése során bebizonyosodott, hogy az **érzet erőssége egyenes arányban van az akciós potenciál frekvenciájával**.

inger stimulus Reiz

érzet sensation Empfindung

„Sötétben félek, világosan viszont gyanakszom...”
Woody Allen



1. ábra. Az érzékelőrendszer általános felépítése és egy lehetséges (a mérés során használt) elektromos modellje.

Az 1. ábra alsó felében az érzékelő rendszer általános elektronikus modelljének tömbvázlata látható, melynek részletes működését a fény szenzor modell leírásánál ismertetjük.

A FÉNY SZENZOR MODELL LEÍRÁSA

Mérésünkben a fizikai jelenergiát a fény képviseli, hiszen a készülék a szem retinájának működését modellezi (1. alsó ábra). A **fotóérzékelőt** (transzducer) követő elektronikus erősítő felerősíti és kompresszálja, mintegy „összenyomja” a fényjel elektromos megfelelőjét. A **receptorpotenciálnak** megfelelő jel itt mérhető. Az ezt követő **feszültség — frekvencia átalakító** pedig az **akciós potenciálhoz** hasonló jelsorozatot állít elő, mely oszcilloszkópon figyelhető meg.

A retina receptorsejtjei a csapok és pálcikák. Az ismertetendő modell fotoérzékelője a nappali látásért felelős csapokat modellezi.

HOGYAN MŰKÖDIK?

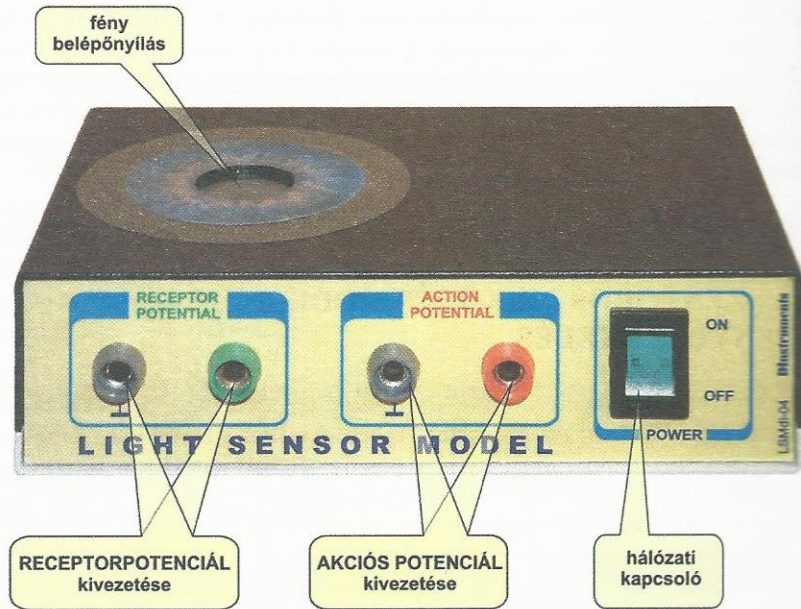
A fény szenzor modell fényérzékelője egy szilícium fotodióda, mely a belépőnyílás (az írisz közepe) alatt, a doboz belsejében helyezkedik el (2. ábra).

A jelfeldolgozás első fázisában a fotodióda elektromos jelét egy speciális erősítő erősíti fel, majd **kompresszálja** (analog szorzó áramkör, négyzetgyökvonó kapcsolásban). A **RECEPTORPOTENCIÁL** egyenfeszültsége itt mérhető.

A jelfeldolgozás második fázisában a receptorpotenciált egy ún. **feszültség-frekvencia átalakító** négyszög-impulzusok sorozatává alakítja. Az impulzus-frekvencia arányos a mindenkor receptorpotenciállal.

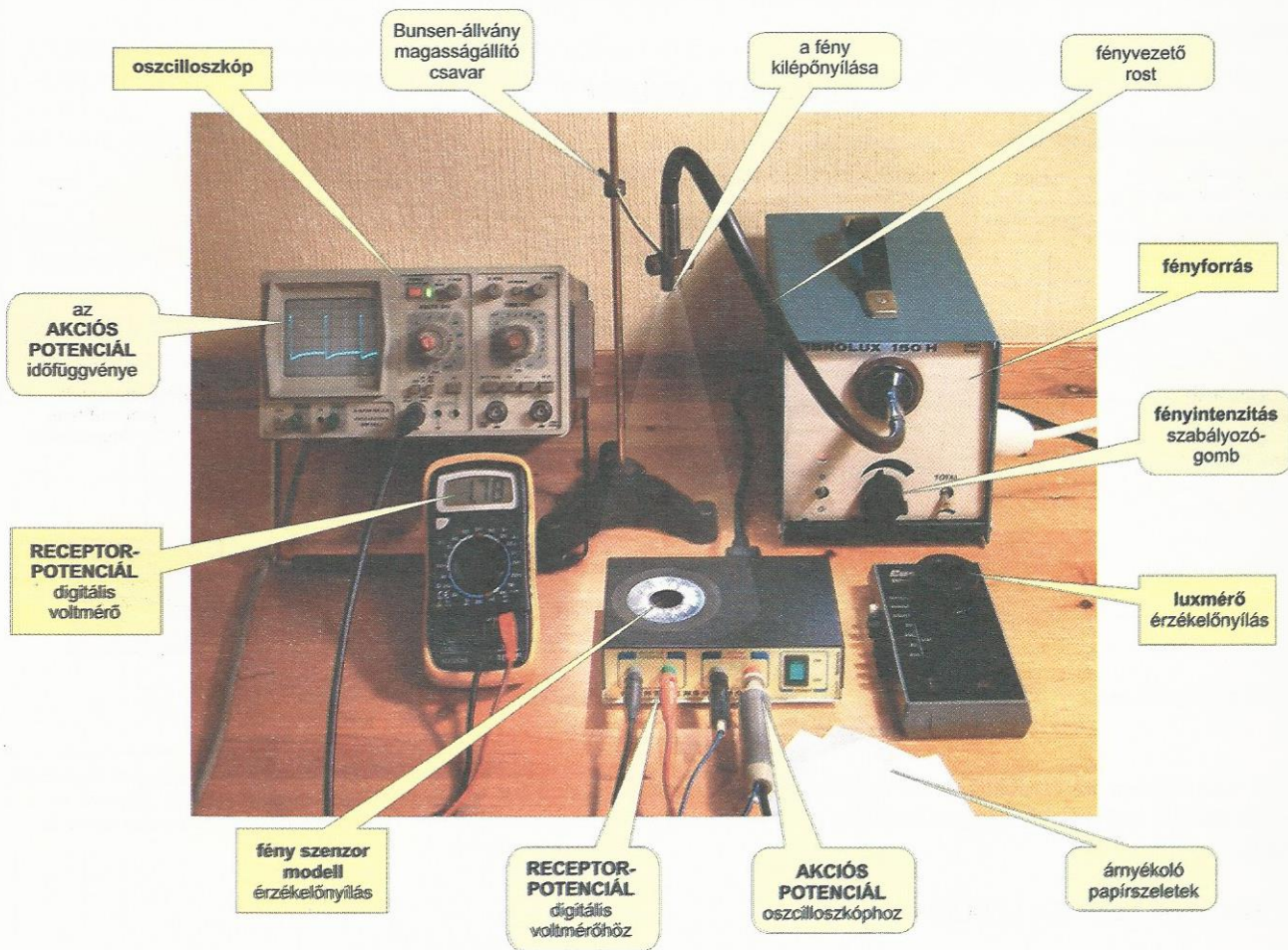
Végül egy alakformáló áramkör az **AKCIÓS POTENCIÁL**-hoz hasonló jelformát hoz létre, amit oszcilloszkópon tanulmányozhatunk.

Az egyszerűség kedvéért a fény szenzor modell nem modellezi az érzékelő rendszerekre egyébként jellemző küszbő-inger és a fájdalomküszbő jelenségét.



2. ábra. A fény szenzor modell.

A MÉRŐBERENDEZÉS ÖSSZEÁLLÍTÁSA



3. ábra. A fény szenzor modell és a mérési összeállítás.

A MÉRÉS LEÍRÁSA

Először beállítjuk az első **ajánlott megvilágítás-erősséget** (10 klx). Ehhez a luxmérőt a Bunsen-állvány talapzatára helyezük úgy, hogy fényérzékelő nyílás függőlegesen a fényforrás alá kerüljön. Ezután a fényforrástartó szorító-csavarjának meglazításával addig süllyesztjük, ill. emeljük az optikai rostköteg végét, amíg a luxmérő a megközelítőleg a kívánt értéket mutatja (pl. 9990 lx-ot). Ekkor rögzítjük a szorítócsavart és feljegyezzük a **mért megvilágítás erősséget**. A fényszabályozó potenciométer végig a maximális állásban legyen. A szükséges beállítási pontosság $\pm 10\%$.

Ezután a luxmérőt eltávolítjuk és helyére a szenzor modellt csúsztatjuk, úgy, hogy a fényérzékelő nyílás (az írisz közepe) pontosan a rostköteg alá kerüljön. Így érjük el, hogy a megvilágítás erőssége ugyanakkora legyen, mint a luxmérő esetén (példánkban 9990 lx).

A luxmérő és a szenzor modell érzékelőnyílás geometriáját úgy alakították ki, hogy azonos térlátószögön keresztül és azonos magasságból „lássák” a külvilágot.

Ekkor a voltmérőről leolvassuk és feljegyezzük a **receptorpotenciál** értékét V-ban. Ez a feszültség a kényelmes mérhetőség kedvéért a valódi receptorpotenciál értékének kb. 100-szorosára van erősítve.

Az oszcilloszkóp segítségével az egymást követő **akciós potenciálok** közötti **periódusidőt** mérjük meg milliszekundumban (ms) (4. ábra, az amplitúdó is kb. 100-szoros, $U_{akc} = 8V$).

A fenti méréseket kell a különböző ajánlott megvilágítás-erősségeknél megismételni. Az egyre csökkenő fényintenzitást a fényforrás magasságának változtatásával (emelés) érhetjük el. A mért adatokat az alábbi táblázatba írjuk be:

ajánlott megvilágítás erőssége (lx)	10 k	3 k	1 k	300	100	30	10
mért megvilágítás erőssége (lx)							
receptorpotenciál (V)							
akciós potenciál periódusidő (ms)							

A Bunsen-állvány véges magassága, ill. a környezeti fények zavaró hatása miatt 300 lx-nál és ez alatt **fehér papírlappal**, mint fényelnyelő réteggel csökkentjük a luxmérőbe ill. a szenzor modellbe jutó fény intenzitását. Több réteg egymásra helyezésével és a fényforrás magasságának változtatásával a legkisebb megmérendő fényintenzitás (10 lx) is beállítható. A papírlapot ill. lapokat közvetlenül a luxmérő ill. a szenzor modell fényérzékelő nyílására helyezük.

KIÉRTÉKELÉS

A **mért megvilágítás értékeket**, és az ezekhez tartozó **receptorpotenciál** és az **akciós potenciál periódusidő** értékeket a számítógép EXCEL programjában megnyitott táblázatába másoljuk (5. ábra). A program az adatok beléptetésének pillanatában újraszámolja a táblázatot és a grafikonokon megjelenített mérési pontokat csakúgy, mint a regressziós egyenest. A mérés végeredménye az **akciós potenciál frekvencia – megvilágítás erőssége** függvény log-log ábrázolásából származó **regressziós egyenes meredeksége (n)**. Mivel az akciós potenciál frekvenciája arányosnak tekinthető a **fényérzet erősségével (Ψ)**, az alábbi **Stevens féle pszichofizikai törvény** érvényes:

$$\text{fényérzet erőssége} = \text{konst. (relatív fényinger erőssége)}^n,$$

$$\Psi = \text{konst.} \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} \right)^n.$$

ahol Φ a lx-ban mért megvilágítás erőssége (fizikai inger), Φ_0 pedig egy tetszőleges viszonyítási alap, esetünkben 1 lx.

A kiértékelés végén az EXCEL táblázatot kinyomtatjuk, és a jegyzőkönyvhöz **füzzük**. A program az illeszkedés „jóságát”, az **r** korrelációs együtthatót is kiszámolja.

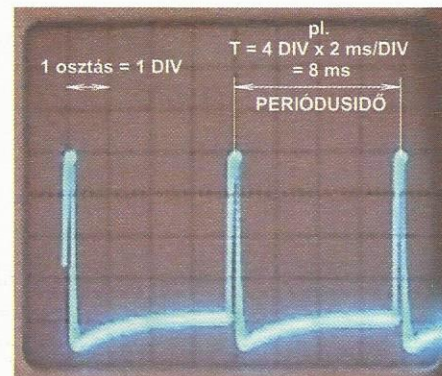
A fény szenzor modell mérési összeállítás a 3. ábrán látható.

A **digitális voltmérőt** mérőszinórpár segítségével a **RECEPTOR POTENTIAL** banánhüvelyeihez csatlakoztatjuk. A műszer **COM** kivezetése a földelésjellel ellátott **szürke** banán-hüvellyel, a **V Ω mA** pedig a szenzor modell **zöld** banánhüvelyével kerüljön összeköttetésbe. A műszert 20 V méréshatárra állítjuk, amivel egyben be is kapcsoltuk. A kikapcsolás a méréshatárváltó **OFF** állásba forgatásával történik.

Az **oszcilloszkóp** mérőfejét az **ACTION POTENTIAL** banánhüvelyeihez csatlakoztatjuk. Értelemszerűen a földelésjellel ellátott **szürke** banánhüvelybe a mérőfej „repülő” banándugóját dugjuk, magát a „mérőfejet” pedig a **pirosba**. Így kapunk polaritáshelyes képet az oszcilloszkópon. Ezután bekapcsoljuk a **fény szenzor modellt** (POWER ON) és az oszcilloszkópot (POWER on/off).

A **fényforrás** (FIBROLUX) bekapcsolása (•) után a fényerő-szabályozó gombbal maximális fényerőre szabályozunk.

Végül a **megvilágítás-erősségmérőt** (COSILUX, továbbiakban **luxmérő**) 20 klux méréshatárra kapcsoljuk, majd ezt is bekapcsoljuk (ON-OFF).

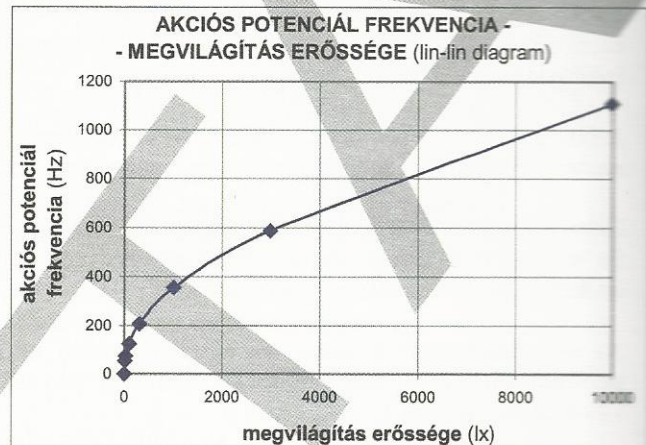
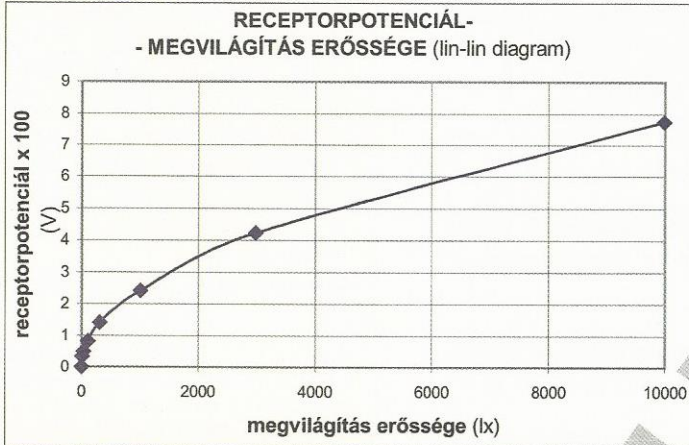


4. ábra. Az akciós potenciál frekvenciáját a megmért periódusidőből számíthatjuk ki ($f = 1/T$).

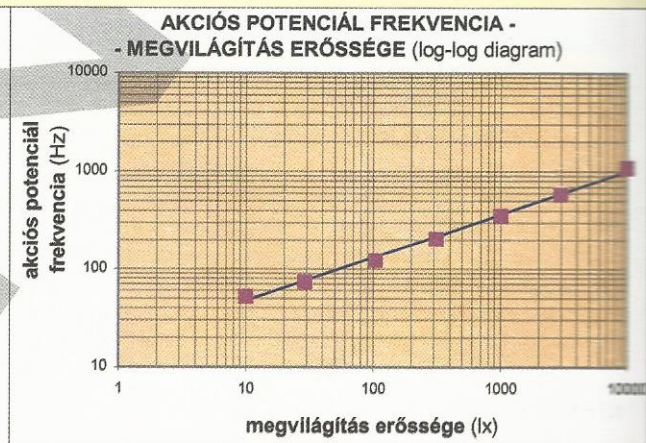
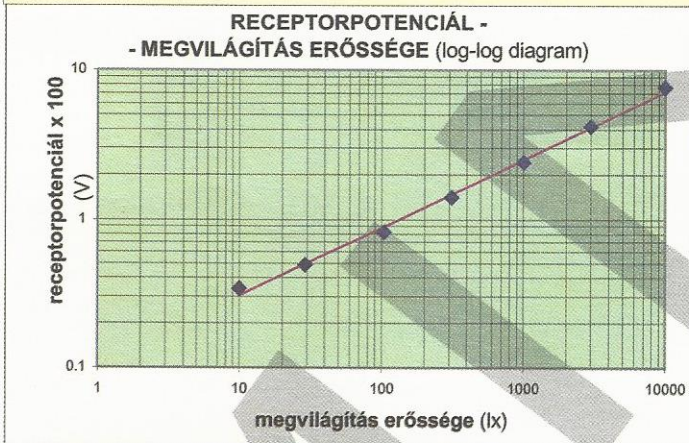
megvilágítás erőssége (lx)
illuminance (lx)
Beleuchtungsstärke (lx)

megvilágítás erőssége (ajánlott)	megvilágítás erőssége (mért)	receptor-potenciál x100	akciós potenciál periódusidő (T)	akciós potenciál frekvencia (f)
(lx)	(lx)	(V)	(ms)	(Hz)
0	0.00	0	-	0
10	10.00	0.34	19	53
30	29.0	0.49	13.4	75
100	105	0.82	8	125
300	312	1.41	4.8	208
1000	1006	2.42	2.8	357
3000	2980	4.24	1.7	588
10000	9990	7.73	0.9	1111

CSAK A FEHÉR MEZŐKBE ÍRJANAK !



A fenti görbékről csak azt állapíthatjuk meg, hogy az origóból indulnak ki és monoton növekedésűek. Leginkább egy elfordított parabolához, azaz egy gyökfüggvényhez hasonlíthatunk (x^n -ediken, ahol $n < 1$). A lin-lin ábrázolásból grafikai módszerrel aligha tudjuk a Stevens törvény n kitevőjének értékét meghatározni.



RECEPTORPOTENCIÁL

meredekség $n = 0.46$

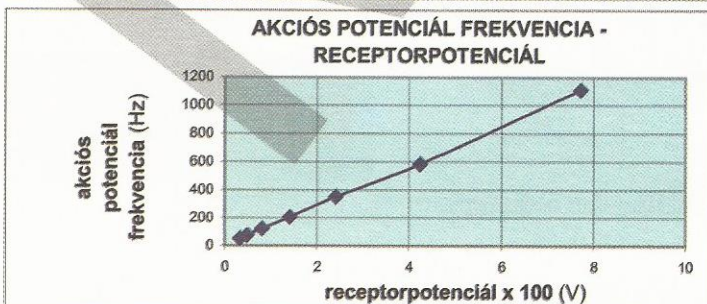
korrelációs egy. $r = 0.9982$

AKCIÓS POTENCIÁL FREKVENCIA

meredekség $n = 0.44$

korrelációs egy. $r = 0.9981$

Bármely hatványfüggvény log-log ábrázolásban egyenest ad. Amennyiben logaritmált mérési adatainkra "jól" illeszthető egyenes, az is bizonyossá válik, hogy a mért fizikai összefüggés hatványfüggvényt követ. A "jószág" mértéke a korrelációs együttható, az r . A regressziós egyenes meredeksége n , pedig a hatványfüggvény kitevőjét adja. Pusztán szemmel is megállapítható a meredekség értéke, ha figyelembe vesszük a kb. 2 nagyságrend x irányú változáshoz tartozó kb. 1 nagyságrendnyi y irányú változást.



Megállapíthatjuk, hogy míg a receptorpotenciál a megvilágítás erősségének hatványfüggvénye, az akciós potenciál frekvencia közelítőleg lineáris függvénye a receptorpotenciálnak.

5. ábra. A fény szenzor modell mintajegyzőkönyve.

2. HANGOSSÁGMÉRÉS

A mérés feladata a fizikai hanginger-intenzitás és a szubjektív pszichofizikai hangosság összefüggésének kimérése.

A méréshez felhasznált eszközök:

- függvénygenerátor (szinusz)
- fehallgató

A mérésben ketten vesznek részt, a kezelő és a kísérleti személy.

A MÉRÉS MENETE

A generátort 1000 Hz frekvenciájú (FREQUENCY, 1k) szinuszfüggvényre (SIN) állítjuk, a fehallgatót pedig csatlakoztatjuk a műszerhez. A kezelő személy a generátor COARSE fokozatkapcsolóját 10^{-2} -re, a FINE gombját pedig 1-re állítja. Mivel a fenti kezelőszervek maximális állásukban 5 V amplitúdójú jelet szolgáltatnak a fehallgatóra kerülő közepes erősségű fűtő:

$$U = U_{\text{coarse}} \cdot U_{\text{fine}} \cdot 5V = 10^{-2} \cdot 1 \cdot 5V = 0,05 \text{ (V)}$$

feszültség-amplitúdójú lesz. A hang intenzitását a 22. AUDIOMETRIA gyakorlatból megismert formulával számolja ki az EXCEL program:

$$J_{00} = AU^2 \text{ (W/m}^2\text{)},$$

ahol $A = 5 \cdot 10^{-7} \text{ W/V}^2\text{m}^2$ értékű.

Ez a J_{00} fizikai intenzitás idézi elő a fülhallgatóban az önkényesen „egységnyi”-nek nevezett **referencia-hangosságot**. Ezt a hangosságértéket kell a kísérleti személynek jól megjegyeznie úgy, hogy a későbbiek során jól emlékezzen erre a kezdeti, referencia-hangosságra. Ezért a fenti intenzitású jelet hosszú ideig, kb. 15 - 20 másodpercig hallgattatjuk a kísérleti személlyel.

Ezután a kezelő személy a 6. ábra táblázata szerint megváltoztatja a jel amplitúdóját úgy, hogy azt a kísérleti személy ne lássa (COARSE, FINE gombok). Az így előállt **hang hangosságát** a kísérleti személy egy **pozitív számmal, becsléssel** jellemzi. Ha a hallott hangot, pl. 10-szer olyan hangosnak hallja, mint az először adott referencia hangosságú hangot, akkor 10-et jelez, amennyiben pl. fele hangosságot észlel, akkor 0,5-ös relatív értéket közöl. A referencia hangosságú jel a mérés során a kísérleti személy kérésére megismételhető.

Mivel egyszerre több mérés zajlik a teremben, célszerűen a becsült hangot nem szóban közöljük, hanem a kísérleti személy a mérés sorszáma mellé leírja (6. ábra). Így minimalizálhatjuk a labor zajszintjét.

Összesen 20 mérést kell elvégezni a hallásküszöbtől a leghangosabb beállítható hangerőig, a 6. ábrán megadott amplitúdó-beállításokat követve. A táblázat szerinti sorrendben haladva, az előírt amplitúdójú hangok véletlenszerűen hol hangosabban, hol halkabban szólnak. Ezzel elkerülhetjük a megszokás következtében fellépő hibás becsléseket.

KIÉRTÉKELÉS

Ezután a hangosságérték adatokat manuálisan bemásoljuk az EXCEL program fehér mezőibe, a 6. ábra sorszámainak megfelelő helyekre (7. ábra). Minden adat beültetése után a táblázat az összes számolási feladatot újraszámolja, így jól nyomon követhető a grafikonok alakulása.

A program szinuszos feszültség-amplitúdói ($U_{\text{coarse}} \cdot U_{\text{fine}} \cdot 5 \text{ V}$) nem változtathatók, ezek a 6. ábra értékeivel egyezzenek meg.

A kiszámított hangintenzitás függvényében az EXCEL program log-log koordináta rendszerben ábrázolja a relatív (pszichofizikai) hangosság becsült értékeit, és regressziós egyenest illeszt a pontokhoz (HANGOSSÁGDIAGRAM). Kiszámítja a



sor-szám	U_{coarse} (rel. egys.)	U_{fine} (rel. egys.)	relatív becsült hangosság (H_{rel}) (rel. egys.)
1.	10^{-2}	1	1
2.	10^{-1}	1,0	
3.	10^{-3}	1,0	
4.	1	1,0	
5.	10^{-2}	0,8	
6.	10^{-1}	0,5	
7.	10^{-1}	0,2	
8.	10^{-3}	0,3	
9.	1	0,2	
10.	10^{-2}	0,3	
11.	1	0,5	
12.	10^{-3}	0,8	
13.	10^{-2}	0,2	
14.	10^{-1}	0,3	
15.	1	0,3	
16.	1	0,7	
17.	1	0,4	
18.	10^{-2}	0,5	
19.	10^{-3}	0,4	
20.	10^{-1}	0,7	

6. ábra. A sorszám szerint hallott hangok becsült hangosságértékének táblázata

Természetesen az illesztett regressziós egyenes és meredeksége akkor fogadható el, ha a mért pontok valóban az egyenes mentén helyezkednek el. Erről szemrevételezéssel, ill. a **korrelációs tényező** 1-hez közeli értékéből győződhetünk meg.

A **determinációs tényező** (r^2) azonban jobban kifejezi mérésünk „jóását”. A hangosság-mérésben pl. r^2 azt fejezi ki, hogy a hangosság-értékek szórásnégyzetének hány százalékát magyarázhatjuk a feltételezett korrelációval. Részletesebben:

Elvben, feltételezett korreláció esetén (létező függvénykapcsolat, és nincs mérési hiba) az y függő változó (ti. a mért mennyiség) változásai (szórásnégyzete) teljes mértékben az x független változó változásaival (szórásnégyzetével) arányos. Ekkor a determinációs együttható értéke $r^2 = 1$ (azaz 100%).

Valós körülmények között azonban az y változásait (szórásnégyzetét) egyéb tényezők (pl. mérési hibák) is befolyásolhatják. Ekkor a determinációs együttható értéke $r^2 < 1$.

Ha pl. a determinációs együttható $r^2 = 93\%$, akkor azt mondhatjuk, hogy az y szórásnégyzetét 93 %-ban az x szórásnégyzete határozza meg, 7 %-ban pedig egyéb tényezőktől (pl. mérési hibáktól) függ.

Stevens törvény kitevőjét, a meredekséget (n), a korrelációs együtthatót (r), és a determinációs együtthatót (r^2).

Végeredményként felírhatjuk a kísérleti személy saját hangosságérzékelését leíró **Stevens-féle pszichofizikai törvényt**:

$$H_{\text{rel}} = \text{konst.} \left(\frac{J}{J_{00}} \right)^n \quad (\text{rel. egys.})$$

ahol H_{rel} a kísérleti személy hangosságérzetének erőssége, J_{00} a mérésben szereplő referencia intenzitás ($1,25 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$), n pedig a regressziós egyenes meredeksége.

A 7. ábra **HANGOSSÁGOK ÉS A HANGOSSÁGSZINT ÖSSZEHASONLÍTÁSA** diagramjában vékony vonallal szerepel a **Stevens törvény** hangosságra vonatkozó elméleti összefüggése **son**-ban skálázva:

$$H_{\text{son}} = \frac{1}{16} \left(\frac{J}{J_0} \right)^{0,3} \quad (\text{son}),$$

valamint szaggatott vonallal a **Weber-Fechner** féle hangosságszintet kifejező

$$H_{\text{phon}} = 10 \lg \left(\frac{J}{J_0} \right) \quad (\text{phon})$$

összefüggése **phon**-ban skálázva ($J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$). Ez utóbbi függvényt szokták tévesen a hangosság kifejezésére használni. A hangosság és a hangosságszint függvények összehasonlításakor vegyük figyelembe, hogy a **phon**halmaz y -irányban tetszőleges mértékben eltolható, hiszen a referencia hangosság mérőszámának megválasztása önkényes volt.

Az **objektív összehasonlítás** érdekében az EXCEL program kiszámítja a mért hangosságértékekre illesztett regressziós egyenes és a Weber-Fechner törvény közötti korrelációt is. Ebből megállapítható, hogy a Stevens, vagy a Weber-Fechner törvény illeszkedik jobban a mért hangosság adataihoz.

A kiértékelés végén az EXCEL táblázatot kinyomtatjuk, és a jegyzőkönyvhöz fűzzük.

$$A = 5 \cdot 10^{-7}$$

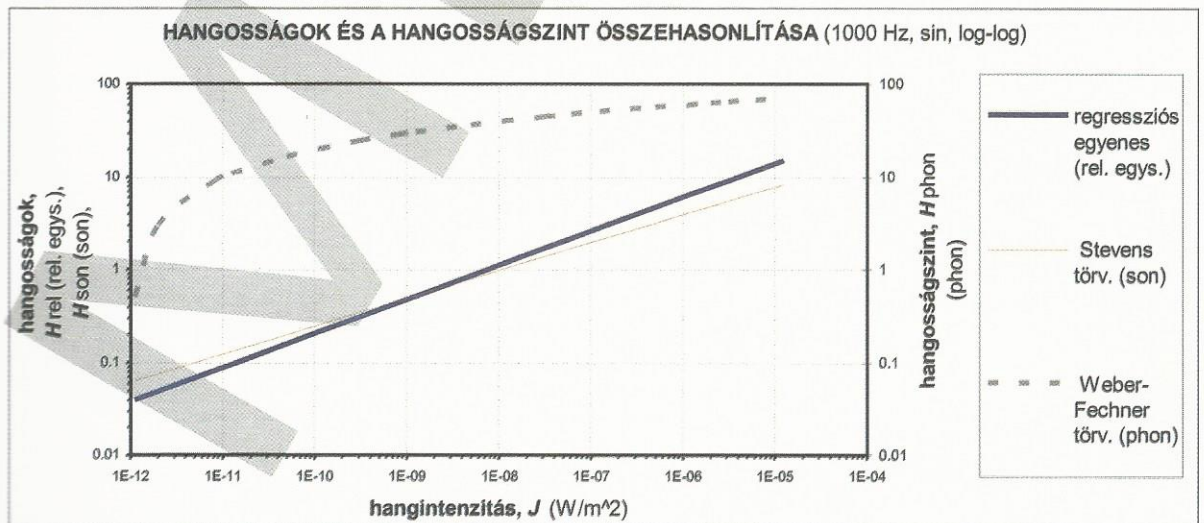
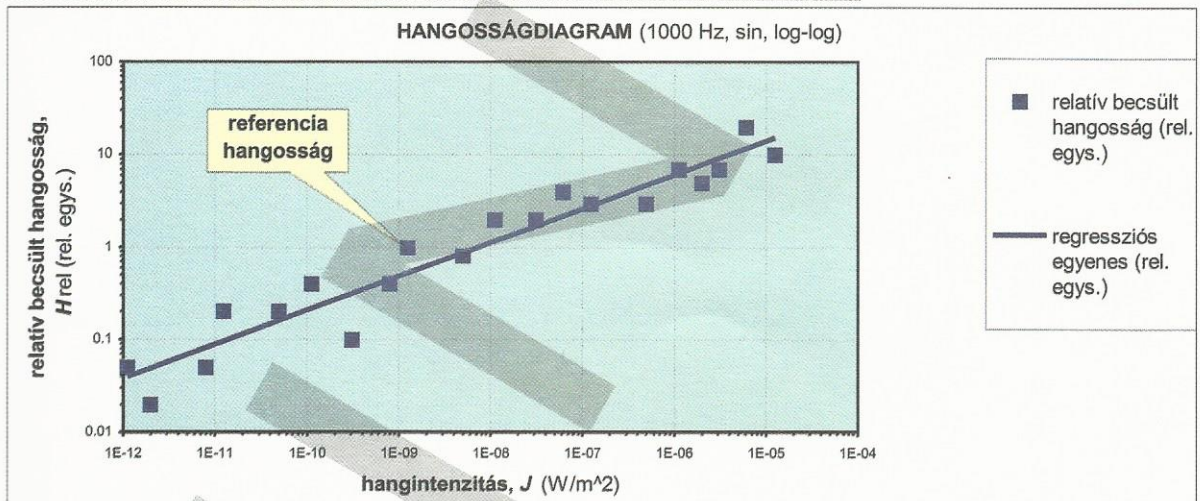
sor-szám	U coarse (rel. egys.)	U fine (rel. egys.)	5V (V)	U (V)	$J = A \cdot U^2$ (W/m ²)	relatív becült hangosság (H_{rel}) (rel. egys.)
8.	0.001	0.30	5	0.0015	1.13E-12	0.05
19.	0.001	0.40	5	0.0020	2.00E-12	0.02
12.	0.001	0.8	5	0.0040	8.00E-12	0.05
3.	0.001	1.0	5	0.0050	1.25E-11	0.2
13.	0.010	0.2	5	0.0100	5.00E-11	0.2
10.	0.010	0.3	5	0.0150	1.13E-10	0.4
18.	0.010	0.5	5	0.0250	3.13E-10	0.1
5.	0.010	0.8	5	0.0400	8.00E-10	0.4
1.	0.010	1.0	5	0.0500	1.25E-09	1
7.	0.100	0.2	5	0.1000	5.00E-09	0.8
14.	0.100	0.3	5	0.1500	1.13E-08	2
6.	0.100	0.5	5	0.2500	3.13E-08	2
20.	0.100	0.7	5	0.3500	6.13E-08	4
2.	0.100	1.0	5	0.5000	1.25E-07	3
9.	1.000	0.2	5	1.0000	5.00E-07	3
15.	1.000	0.3	5	1.5000	1.13E-06	7
17.	1.000	0.4	5	2.0000	2.00E-06	5
11.	1.000	0.5	5	2.5000	3.13E-06	7
16.	1.000	0.7	5	3.5000	6.13E-06	20
4.	1.000	1.0	5	5.0000	1.25E-05	10

Stevens törvény -- rel. becs. hangosság
meredekség (n)
0.367
korrelációs egy. (r)
0.9630
determinációs egy. (r^2)
92.7%

Weber-Fechner tv. -- rel. becs. hangosság
korrelációs egy. (r)
0.8364
determinációs egy. (r^2)
70.0%

referencia hangosság

CSAK A FEHÉR MEZŐKBE ÍRJANAK!



7. ábra. A hangosságmérés mintajegyzőkönyve.