

# Biofizika gyakorlat Bőrimpedancia jegyzőkönyv:

## A gyakorlat célja

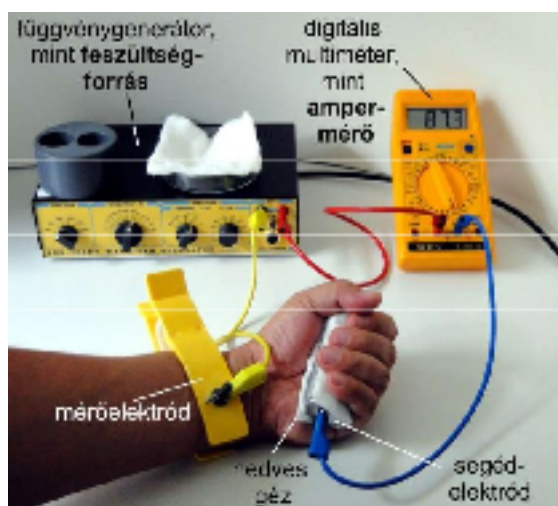
Az elektromos áram biológiai hatásai, veszélyessége, az érintésvédelem, valamint a diagnosztika szempontjából is érdekes lehet a bőr olyan adatainak ismerete, amelyeket az impedancia (váltakozó áramú, -röviden váltóáramú ellenállás) mérések szolgáltatnak. Gyakorlatunkon egyen- és váltóáramú mérések eredményeiből meghatározzuk a bőr fajlagos ellenállását és fajlagos kapacitását. Az elektromos áramnak az emberre gyakorolt hatását nagymértékben befolyásolja az áram típusa (egyenáram, váltóáram, impulzusok), az áram erőssége és az egyes szervekben fellépő áramsűrűség, valamint az áramhatás időtartama. Az áram erősségét kívülről a test felületére jutó adott feszültség esetén döntő mértékben a bőr impedanciája szabja meg.

## Gyakorlaton elvégzett feladatok

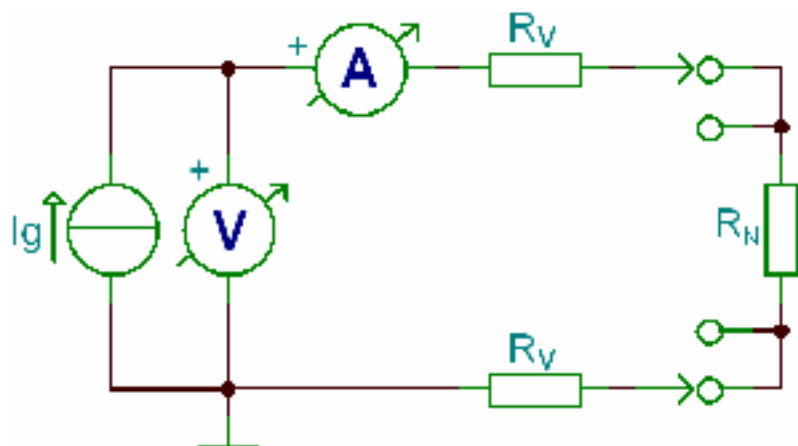
1. Egyetlen mérés sorozatot végeztünk, amiben változó frekvencián mértük az ellenállást.

## Használt anyagok és eszközök, fontos körülmények

Az alábbi ábrán látható a mérési elrendezés:



Az ábrán látszik, hogy ez egy két vezetékes mérés.

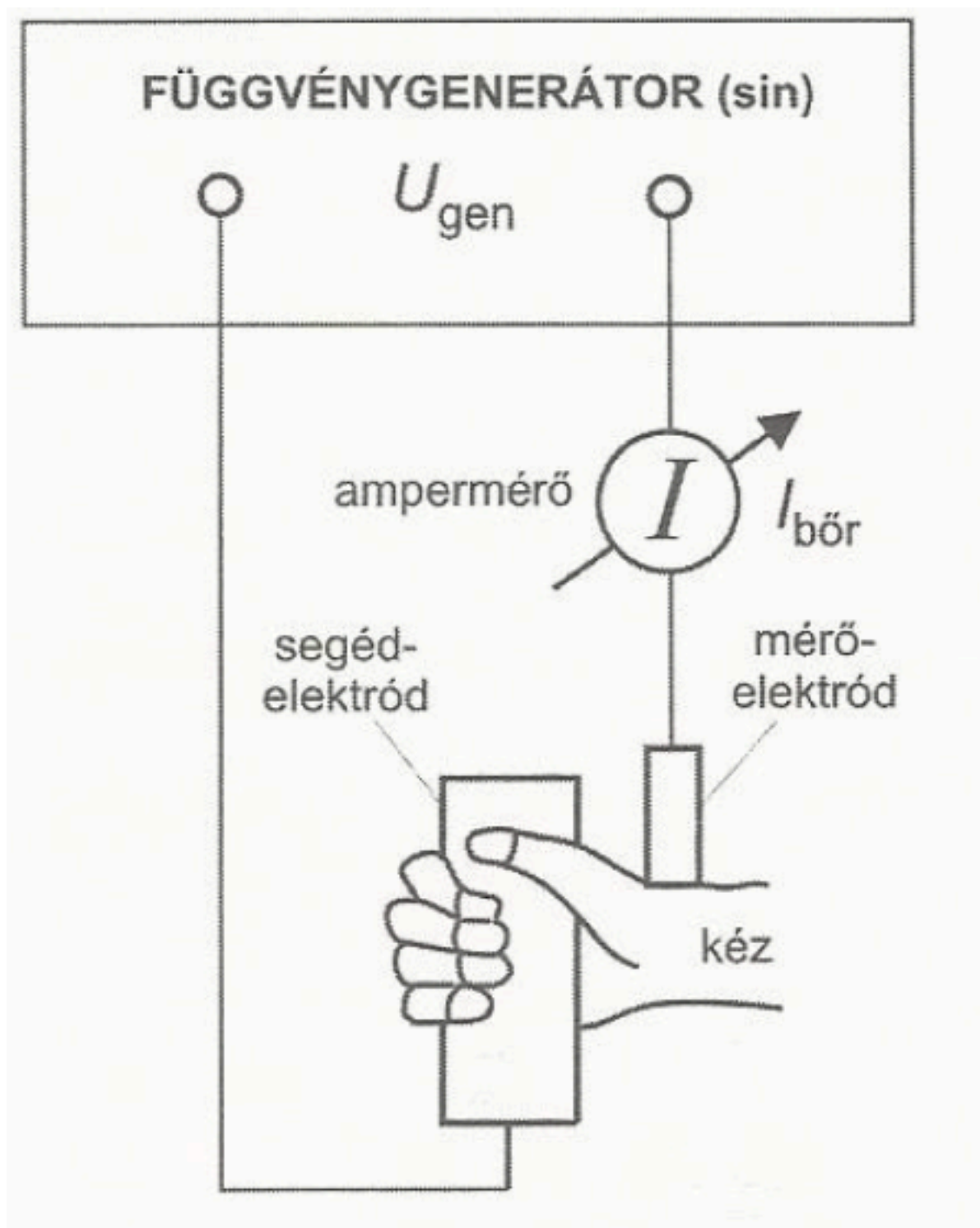


Vagyis az lenne, ha egy feszültség mérést is beiktattunk volna.

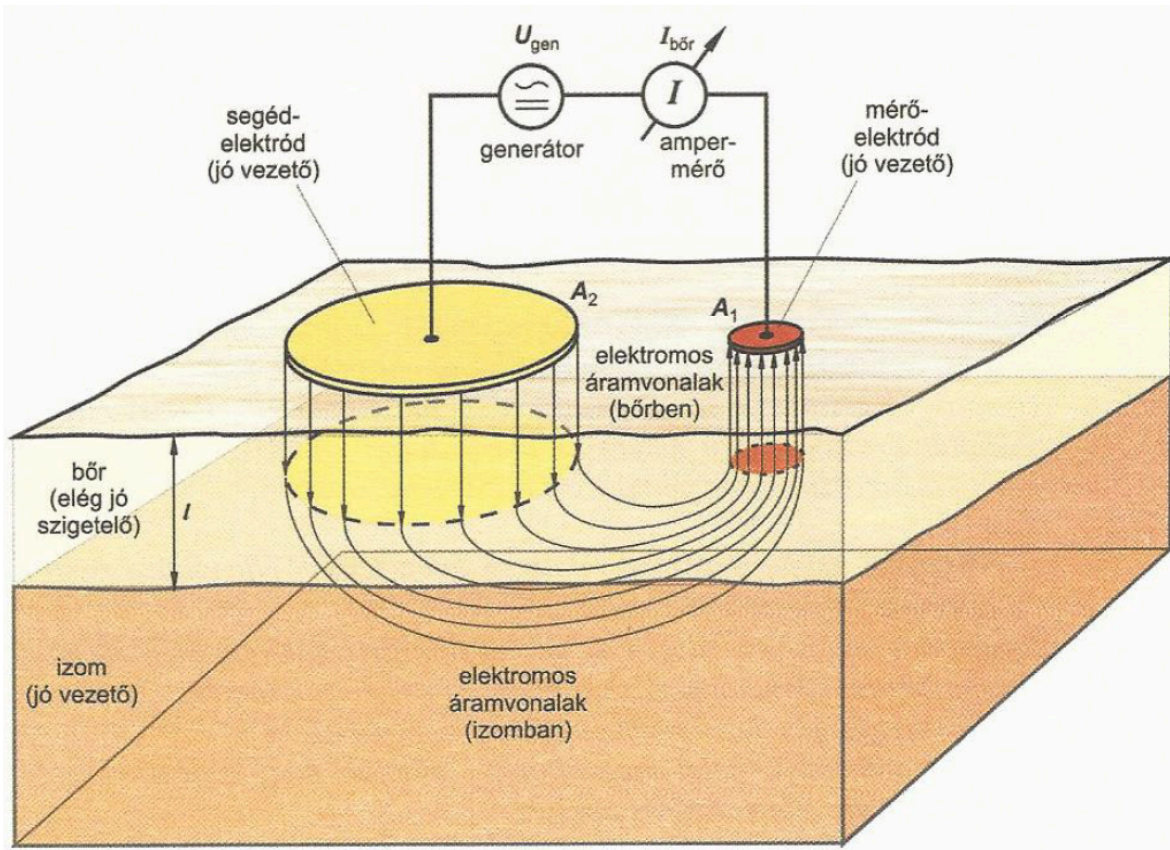
## A mérés elméleti alapjai

### A BŐR ELEKTROMOS MODELLJE

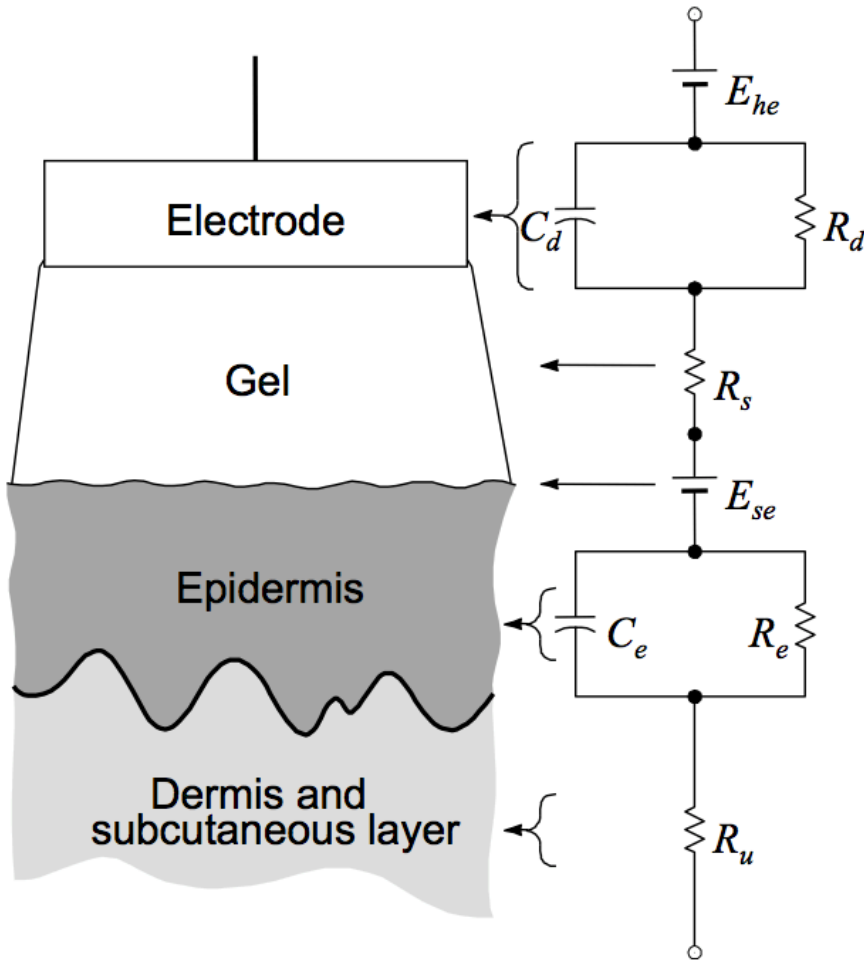
A bőr ellenállását ( $R$ ), ill. impedanciáját ( $Z$ ) az ábra szerinti kapcsolásban feszültség és áramerősség mérésére vezetjük vissza.



Egyenáram esetén  $R = U_{\text{gen}}/I_{\text{bőr}}$ , váltóáram esetén pedig  $Z = U_{\text{gen eff}}/I_{\text{bőr eff}}$ . A mérésben feszültségforrásként egyen-, ill, váltófeszültségű függvénygenerátort, ampermérőként digitális multimétert, az áram testbe való bevezetéséhez pedig két fémelektrodot használunk.



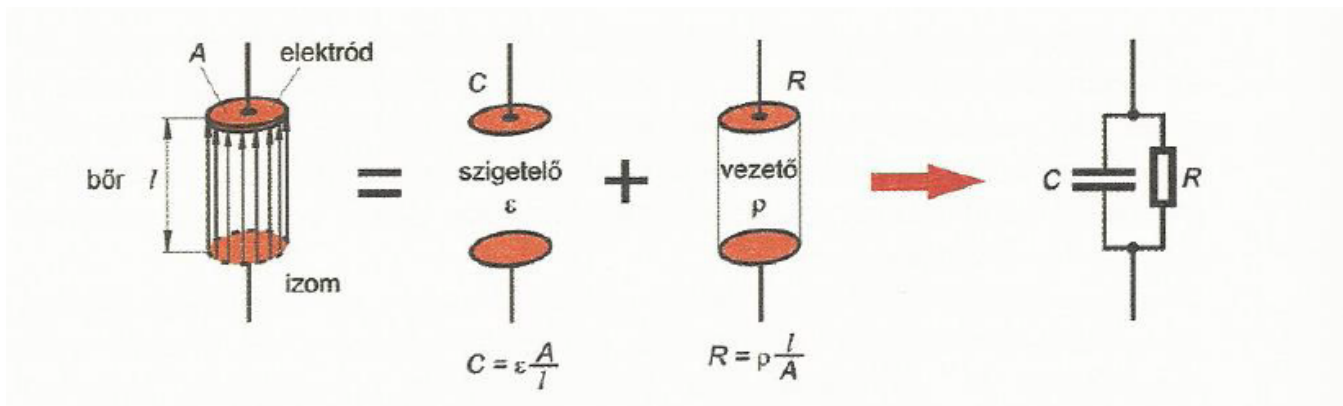
A mérőáramkör helyettesítő kapcsolásában (lásd ábra) figyelembe vesszük, hogy a két elektród között különböző felületű ( $A_1, A_2$ ), de kb. azonos vastagságú ( $l$ ) bőrrétegek valamint izomszövet vannak sorba kapcsolva.



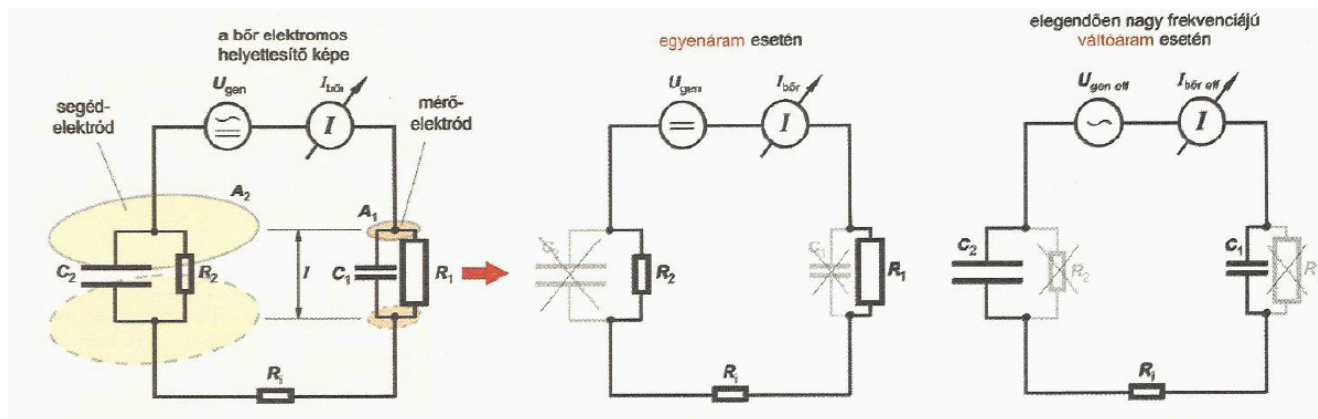
Ha megnézzük a fentebbi helyettesítő képet, akkor persze bonyolultabb modellt is láthatunk. Viszont mi most a mérés során egy sokkal egyszerűbb helyettesítőképet fogunk használni.

- a bőr ellenállása, ill. kapacitása a mérőelektrod alatt ( $R_1$  és  $C_1$ ),
- az izom ellenállása ( $R$ )
- a bőr ellenállása, ill. kapacitása a segédelektrod alatt ( $R_2$  és  $C_2$ ).

A bőr vezetőnek, de egyben szigetelőnek is tekinthető, ezért a bőr elektrodok alatti  $A$  felületű és  $l$  vastagságú részét egy ellenállással ( $R$ ) és egy kondenzátorral ( $C$ ) helyettesíthetjük, amelyek párhuzamosan kapcsolódnak.



A segéd- és mérőelektrod, valamint az izom elektromos helyettesítő képe a mérési elrendezésnek megfelelő kapcsolásban alább látható.



## Első feldolgozó lépés

Olvassuk be az adatokat.

```
mertek = symunit;
opts = detectImportOptions("borimp-adatok_tisztított.xlsx");
opts.VariableUnitsRange = 2;
opts.VariableDescriptionsRange = 3;
adatok = readtable("borimp-adatok_tisztított.xlsx",opts);
adatok.Ugen_eff(2:end) = adatok.Ugen_eff(1) / sqrt(2);
```

Az egyenáramú esetben természetesen a kapacitív összetevőket figyelmen kívül hagyhatom és egy ellenállással helyettesíthetem a kapcsolást és ennek ellenállása, Ohm törvénye  $\left(R = \frac{U}{I}; |Z| = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}\right)$  alapján:

```
R_egenaramu = unitConvert((adatok.Ugen_eff(adatok.f == 0) * mertek.Volt) ...
    / (adatok.I_bor_eff(adatok.f == 0) * mertek.microAmpere ),mertek.kiloohm);
disp(R_egenaramu)
```

$\frac{1000}{7} \text{ k}\Omega$

```
R_egenaramu = double(separateUnits(R_egenaramu));
disp(R_egenaramu)
```

142.8571

A váltóáramú esetben a komplex impedancia abszolút értékét fogom nézni. Erre az alábbi értékek jönnek ki:

```
Z_impedancia = unitConvert((adatok.Ugen_eff(adatok.f ~= 0) * mertek.Volt) ...
    ./ (adatok.I_bor_eff(adatok.f ~= 0) * mertek.microAmpere ),mertek.kiloohm);
disp(Z_impedancia)
```

$$\left( \begin{array}{l} \frac{1250 \sqrt{2}}{79} \text{ k}\Omega \\ \frac{625 \sqrt{2}}{54} \text{ k}\Omega \\ \frac{1250 \sqrt{2}}{141} \text{ k}\Omega \\ \frac{2500 \sqrt{2}}{417} \text{ k}\Omega \\ \frac{50 \sqrt{2}}{13} \text{ k}\Omega \\ \frac{125 \sqrt{2}}{52} \text{ k}\Omega \\ \frac{1250 \sqrt{2}}{787} \text{ k}\Omega \\ \frac{250 \sqrt{2}}{331} \text{ k}\Omega \\ \frac{125 \sqrt{2}}{244} \text{ k}\Omega \\ \frac{25 \sqrt{2}}{62} \text{ k}\Omega \end{array} \right)$$

```

adatok.Z_impedancia = [R_egyenaramu; double(separateUnits(Z_impedancia))];
adatok.Properties.VariableUnits(4) = {'Kohm'};
adatok.Properties.VariableDescriptions(4) = {'A mért ellenállás'};

```

Összességében az alábbi táblázattal jellemezhetem az adataimat:

```
disp(adatok)
```

f	Ugen_eff	I_bor_eff	Z_impedancia
0	0.5	3.5	142.86
16	0.35355	15.8	22.377
32	0.35355	21.6	16.368
64	0.35355	28.2	12.537
125	0.35355	41.7	8.4785
250	0.35355	65	5.4393
500	0.35355	104	3.3996
1000	0.35355	157.4	2.2462
2000	0.35355	331	1.0681
4000	0.35355	488	0.72449
8000	0.35355	620	0.57025

```
summary(adatok)
```

Variables:

f: 11x1 double

Properties:

Units: Hz

Description: Generátor frekvencia

Values:

Min	0
Median	250
Max	8000

**Ugen\_eff:** 11x1 double

Properties:

Units: V

Description: Generátor feszültség

Values:

Min	0.35355
Median	0.35355
Max	0.5

**I\_bor\_eff:** 11x1 double

Properties:

Units: microA

Description: A bőrön mért áramerősség

Values:

Min	3.5
Median	65
Max	620

**Z\_impedancia:** 11x1 double

Properties:

Units: Kohm

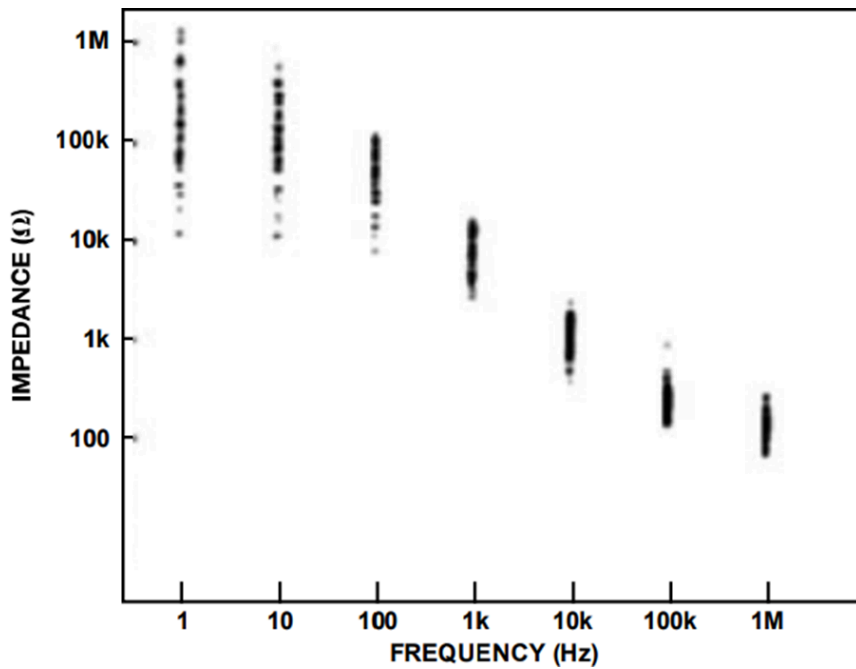
Description: A mért ellenállás

Values:

Min	0.57025
Median	5.4393
Max	142.86

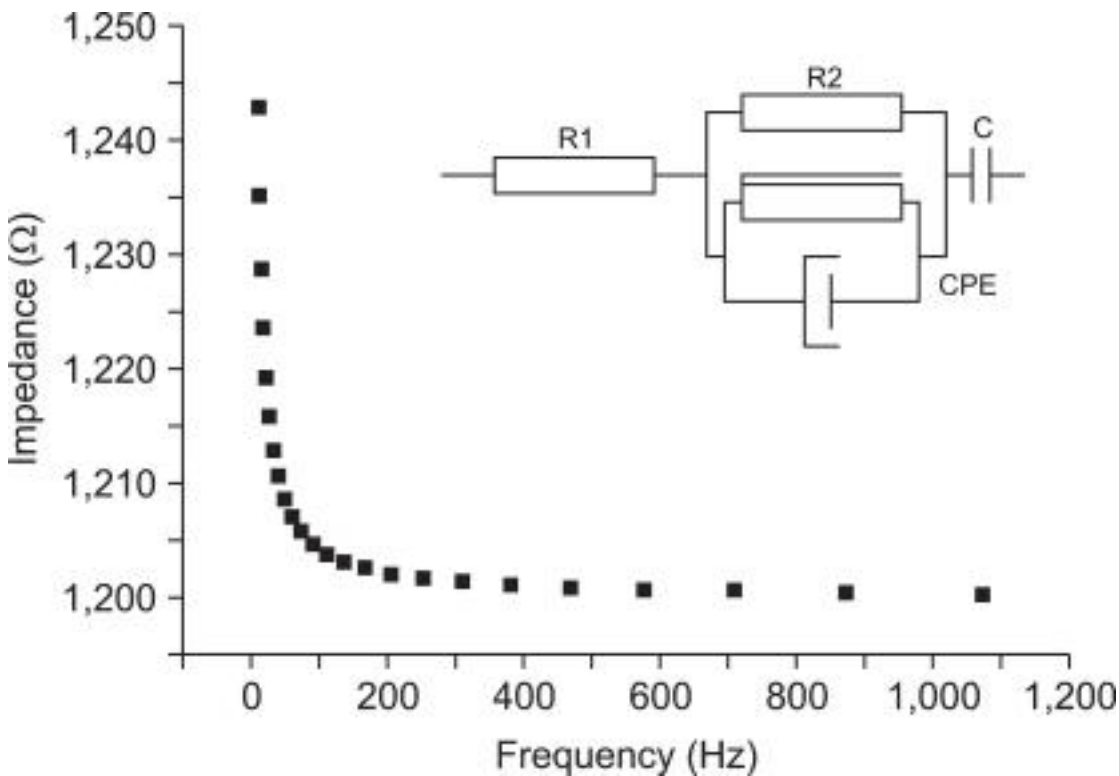
## Ábrázolás

Nézzük meg, hogy milyen értékeket várhatunk.



Rosell, Xavier & Colominas, Josep & Riu, Pere & Pallas-Areny, Ramon & Webster, John. (1988). Skin impedance from 1 Hz to 1 MHz. IEEE transactions on bio-medical engineering. 35. 649-51. 10.1109/10.4599.

Valamint a milyenekhez közelebb álló ábrázolásban is.



Kim, Min & Cho, Youngchang & Seo, Suk-Tae & Son, Chang-Sik & Park, Hee-Joon & Kim, Yoon-Nyun. (2010). A New Method for Non-Invasive Measurement of Skin in the Low Frequency Range. Healthcare informatics research. 16. 143-8. 10.4258/hir.2010.16.3.143.



Látszik, hogy magasabb frekvenciákon jelentősen csökken a komplex ellenállás abszolút értéke. Először nézzünk egy realiztikus modellt

$$Z = \left| \frac{R \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \right| = \left| \frac{R}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{R}{1 + (\omega RC)^2} \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$$

Ennek megfelelő görbét illeszthetünk a mérési adatainkra:

```
figure
f_real_model = fittype('R/(1+(2*pi*f*C*R)^2)*sqrt((2*pi*f*C*R)^2+1)', ...
    'dependent',{ 'Z' }, 'independent',{ 'f' }, 'coefficients',{ 'R', 'C' });
f_real_opt = fitoptions('Method','NonlinearLeastSquares','Lower',[0,0], ...
    'Upper',[Inf,max(adatok.f)], 'Startpoint',[adatok.f(end), adatok.Z_impedancia(end)]);
[f_real, gof_real] = fit(adatok.f, adatok.Z_impedancia, f_real_model, f_real_opt);
disp(f_real)
```

General model:

```
f_real(f) = R/(1+(2*pi*f*C*R)^2)*sqrt((2*pi*f*C*R)^2+1)
```

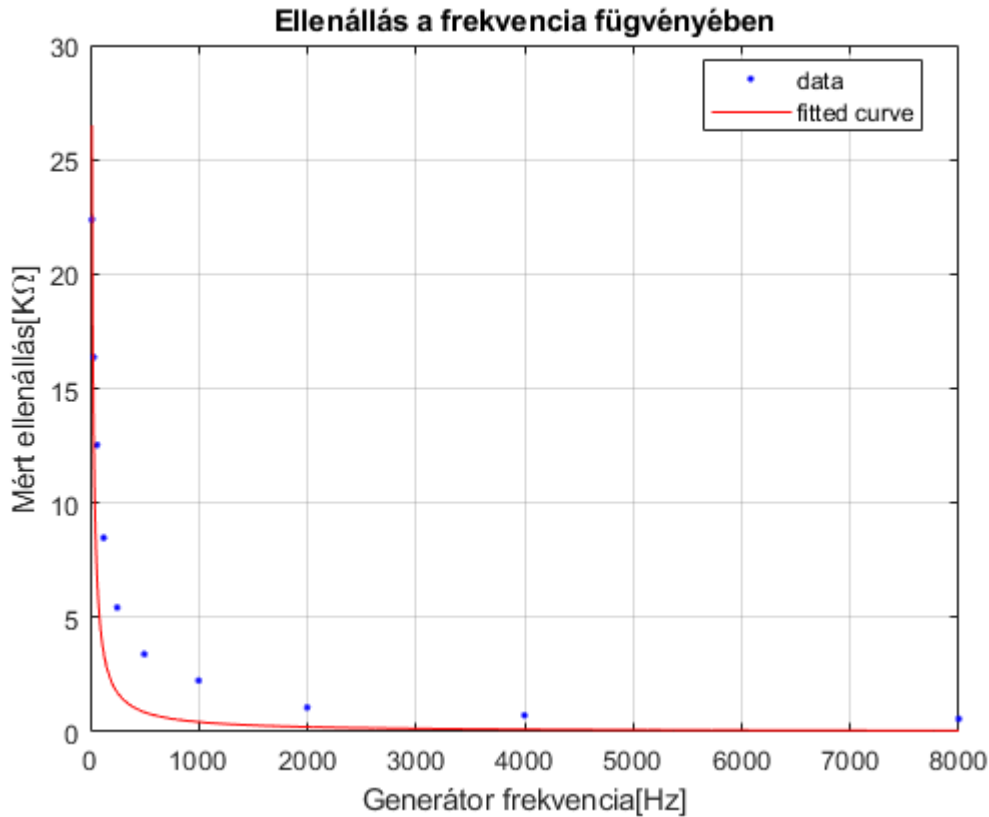
Coefficients (with 95% confidence bounds):

```
R =      142.8  (134.9, 150.7)
C =    0.000369  (0.0002715, 0.0004665)
```

```
disp(gof_real)
```

```
sse: 109.5067
rsquare: 0.9936
dfe: 9
adjrsquare: 0.9929
rmse: 3.4882
```

```
figure
plot(f_real, adatok.f(2:end), adatok.Z_impedancia(2:end))
title("Ellenállás a frekvencia függvényében")
xlabel("Generátor frekvencia[Hz]")
ylabel("Mért ellenállás[K\Omega]")
legend('Location','best')
grid on
```



Térjünk át logaritmus skálára, mert az adatok elég széles skálán mozognak.

```
x_log = log10(adatok.f(2:end));
y_log = log10(adatok.Z_impedancia(2:end));
```

Illesszünk egyenest.

```
[f_poly, gof_poly] = fit(x_log,y_log, 'poly1');
disp(f_poly)
```

```
Linear model Poly1:
f_poly(x) = p1*x + p2
Coefficients (with 95% confidence bounds):
p1 =      -0.629  (-0.6822, -0.5759)
p2 =       2.19  (2.047, 2.334)
```

```
disp(gof_poly)
```

```
sse: 0.0315
rsquare: 0.9894
dfe: 8
adjrsquare: 0.9880
rmse: 0.0628
```

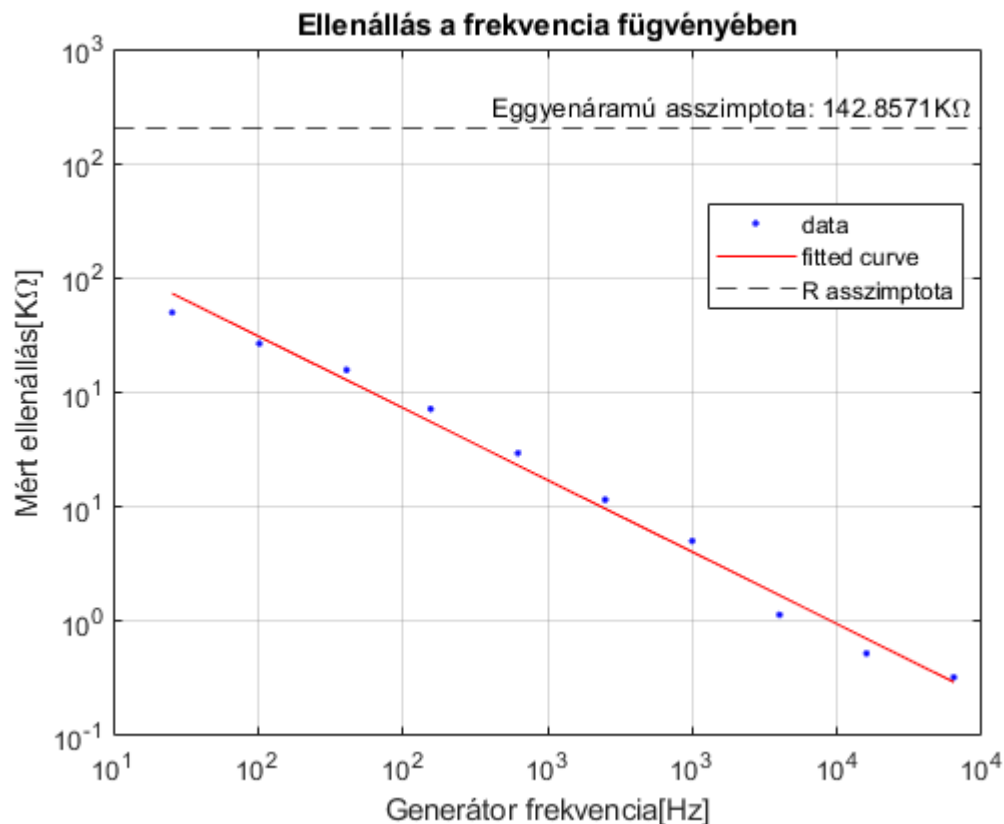
Egészen kis hibával tudtunk egyenest illeszteni és látszik a mínusz egyhez közeli meredekség. A mérés nagy hibával terhelt ezért elfogadható az érték.

```
figure
plot(f_poly, x_log, y_log)
text = "Eggyenáramú asszimptota: " + num2str(R_egyenaramu) + "K\Omega";
```

```

yline(log10(R_egyenaramu),'k--', text, 'DisplayName','R asszimptota')
title("Ellenállás a frekvencia függvényében")
xlabel("Generátor frekvencia[Hz]")
xtickformat('10^{%,.0f}')
ylabel("Mért ellenállás[K\Omega]")
ytickformat('10^{%,.0f}')
legend('Location','best')
grid on

```



## A kiegészítő számítások.

Először hasonlítsuk össze az illesztésből és a számolásból számolt ellenállást. Nyilván azonos:

```
disp(R_egyenaramu)
```

142.8571

```
disp(f_real.R)
```

142.8340

Számítsuk ki a fajlagos ellenállást. Ohm törvénye alapján  $R = \frac{U}{I}$ ;  $\rho^* = R \cdot A$

```

A_meroelektroda = 22 * mertek.mm * 38 * mertek.mm;
disp(A_meroelektroda)

```

836 mm<sup>2</sup>

```
ro_fajlagos = unitConvert((adatok.Ugen_eff(adatok.f == 0) * mertek.Volt) ...
    / (adatok.I_bor_eff(adatok.f == 0) * mertek.microAmpere ) ...
    * A_meroelektroda, mertek.0hm * mertek.meter ^ 2);
disp(ro_fajlagos)
```

$$\frac{836}{7} \Omega \text{ m}^2$$

```
disp(double(separateUnits(ro_fajlagos)))
```

119.4286

A bőr fajlagos kapacitásának kiszámításához önkényesen kiválasztottam a görbe utolsó pontját, ahol a modell

már jó közelítéssel kapacitívnak tekinthető. Így pedig  $C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot Z}$ ;  $\gamma^* = \frac{C}{A}$

```
C_kapacitas = unitConvert(1/(2*pi*adatok.f(end)*mertek.hertz*adatok.Z_impedancia(end) ...
    *mertek.kiloohm), mertek.Farad);
disp(C_kapacitas)
```

$$\frac{31 \sqrt{2}}{400000000 \pi} \text{ F}$$

Hasonlítsuk össze az illesztésből és a számolásból számolt kapacitást.

```
disp(double(separateUnits(C_kapacitas)))
```

3.4887e-08

```
disp(f_real.C*1E-3) %közös mértékegységre hozom
```

3.6899e-07

Egy nagyságrend eltérés mutatkozik. Végül a fajlagos kapacitás:

```
C_fajlagos = unitConvert(f_real.C*1E-3*mertek.F/A_meroelektroda, mertek.Farad/(mertek.meter ^ 2
```

```
C_fajlagos =
```

$$\frac{54453774574935890625}{123371824364969481207808} \frac{\text{F}}{\text{m}^2}$$

```
disp(double(separateUnits(C_fajlagos)))
```

4.4138e-04