

# Nem-ionizáló sugarak biológiai hatásai

**Takács Szilárd László**  
**Széchenyi István Egyetem, Győr**

## 1. Bevezetés

A kutatás célja, hogy kimutassa a nem-ionizáló sugárzások lehetséges biológiai hatásait. Arra a kérdésre kerestem választ a kísérletek során, hogy rádiófrekvenciát sugárzó rádiótornyoknak van-e olyan hatása, amely befolyásolja életműködésüket. Hírforrásokban hallhatjuk, olvashatjuk, hogy a rádiótornyoknak semmilyen negatív hatása nincsen az élő szervezetekre, szövetekre. A kutatás ezt az állítást próbálta cáfolni vagy igazolni. Ezt a növények szöveteinek, sejteinek vizsgálatával és fotoszintetikus aktivitásuk mérésével végeztem.

Csírázó növényeket, folyamatos, nagyteljesítményű sugárzásnak tettem ki. A csírázás közben egy lezárt kamrában voltak, ami nem kapott fényt. A folyamat végén kivettem, a már kicsírázott növényeket, majd normál szobakörülmények között hagytam tovább fejlődni. Három csoport volt, amit vizsgáltam. Az első csoport nagy teljesítményű folyamatos sugárzást kapott, a következő csoport egy kisebb mértékű folyamatos sugárzást kapott, illetve volt egy olyan csoport, ami nem volt kitéve semmilyen plusz sugárzásnak az élő környezetünkben megtalálható sugárzásokon kívül. A sugárzás FM modulált jel volt, egy adótorny teljesítményét szimulálva, hogy összefüggésbe tudjam hozni a valós adótornyok által keltett hatásokkal. A növények sugárzás alatt vizezett papírvattában növekedtek, majd a sugárzásból való kivétel után el lettek ültetve. Ezeknek a növényeknek vizsgáltam a fotoszintetikus aktivitását és sejteit, valamint a fizikai tulajdonságait hasonlítottam össze. Ha rádiófrekvenciás stressznek kitétt növények élettani folyamatai eltérnek a kontrollcsoportétól, akkor a nem-ionizáló sugarak befolyásolják a környezetüket.

## 2. A kísérlet leírása

### 2.1. A kísérlet helye és körülményei

2018. október elsején 12:20 perckor a magokat elhelyeztem a Széchenyi István Egyetem Rádiófrekvenciás Vizsgáló Laboratóriumában található GTEM, ahol négy napon keresztüli folyamatos sugárzásnak voltak kitéve, hogy a csírázás alatt folyamatos ingert váltson ki a növényben.

A kamra fényt nem engedett be. Ebben a kamrában két csoport volt, mindkettő folyamatos sugárzást kapott, az eltérés a sugárzás térerőssége volt. A hőmérséklet és a páratartalom is közel változatlan. A besugárzás a győri Kossuth rádió frekvenciáján történt.

Ezen kívül volt egy kontrol csoport, ami besugárzást nem kapott, és szobai körülmények között növekedett. A későbbi számítások során minden számadatnak az átlaga és szórása fogja meghatározni a tényleges értékeket. Itt főként az átlagra fogok hivatkozni, mivel az adott növény levelére adok egy átlagos értéket, illetve ezeket a csoportokra vonatkoztatva is meghatározom, hogy látható legyen, hogy az adott csoportnak mekkora az átlagos értéke a sejthosszban és a fotoszintetikus aktivitás során. A kamrában lévő növények nem kaptak a csírázás alatt fényt, ellenben a szobában lévónél természetest fény kapott. Ez a csírázást nem befolyásolja, viszont a növénynél amint megjelentek a zöldszíntestek már elkezdett fotoszintetizálni. Ez azt jelenti, hogy vizsgálatkor figyelembe vesszük mindegyik növénycsoportot, viszont mindig a kamrában lévő két növénycsoport különbségei lesznek a mérvadók. Ez azért van így, mert azok a térerősség kivételével ugyan olyan körülmények között voltak. A búzának a csírázása sokkal gyorsabbnak bizonyult, mint a borsóé ezért a

vizsgálata is meglehetősen könnyebb. Ezért a továbbiakban csak a búza (*Triticum aestivum*) eredményeit tárgyalom.

## 2.2. Laborkörülmények

A Rádiófrekvenciás Vizsgáló Laboratóriumban állandó 24,5°C hőmérséklet és 36% páratartalom volt. A kamra belsejében ez az érték kicsit magasabb volt. 24,7°C állandó hőmérséklet és 36,7% páratartalom. A magok elültetésüktől kezdve nem kaptak semmilyen külső hatást (például vizet, napfényt, illetve légmozgás sem történt). A szobában növekedett növények ugyanekkor lettek papírvattába helyezve. 2018. október 5-én (pénteken) 13:14-kor vettem ki. Összesen 5814 percig kapták a sugárzást folyamatosan.

## 2.3. A sugárzás

A Kossuth Rádió frekvenciáján sugároztam, ami 87,6 MHz. Ilyen adást sugároznak az országban két helyen, Győrben és Szabadhegyen, aminek vízszintes polarizációja van és 7,6 kW a maximális kivehető teljesítménye a rádiótornyok által kisugárzott jelnek.

Az adás online ment, hogy elkerüljük a lehetséges ingadozást, és a hullámot ott állítottuk elő a kamra belsejében. Az első csoport a nagyobb sugárzás által létrehozott 36 V/m és 40 V/m között lévő térerősségen volt. A másik folyamatosan 6-10 V/m térerősségen volt. Ezt a kisebb térerősséget is ugyan az a sugárzás hozta létre, mivel ezek nem a közvetlen sugárzás útjában voltak, ezért egy kisebb térerősség jött létre a növények tartózkodási helyén. A növények helyei közötti különbség ténylegesen csak a térerősség nagysága volt, amin növekedtek.

## 3. A növények növekedése

Miután a növények a kamrából kikerültek természetes körülmények között növekedtek tovább. Ekkor már mindhárom növénycsoport azonos körülmények között volt. 2018. október 5-én (pénteken) 23:20-kor azonos típusú földbe lettek elültetve, hogy tápanyagdús környezetben tudjanak növekedni. A kamrából való kivétel után mindhárom növénycsoport fotoszintetizált. A növények a jobb növekedés érdekében kaptak egy tápoldatot, ami 4%-ban nitrogént (N) 5%-ban foszfort (P) és 6%-ban tartalmazott káliumot (K). Ez a kísérletet nem befolyásolja, hiszen csak a növekedést segíti elő.



1-2. sz. kép: A növény a kamrából való kivétel után

## 4. A növény fizikai vizsgálata

A növényeken nem volt szemmel látható eltérés. Ebben a pontban a növény morfológia tulajdonságait vizsgáltam. A növény hosszának mérése milliméterbeosztású vonalzóval történt sugár irányban. A vizsgálathoz minden csoportból 10 növény magassága lett megvizsgálva.

Mivel az átlagok nem tértek el lényegesen a csoportok között, ezért azt a megállapítást tehetem, hogy a nem-ionizáló sugárzás ezen a frekvencián nem befolyásolja a növények morfológiáját.

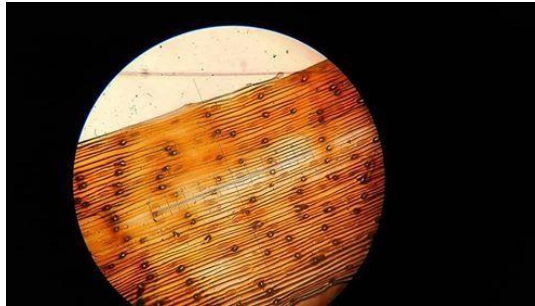


3. sz. kép:

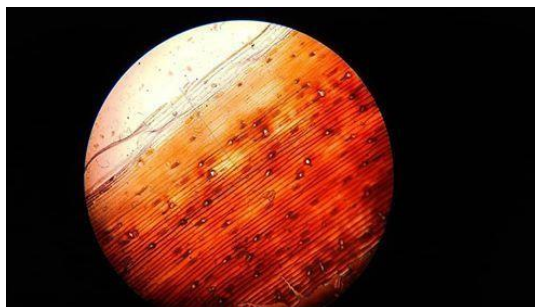
Az eltérés átlaga 0,6 cm volt, erre az eltérésre nem jelenthetem ki, hogy a sugárzás befolyásolta, hiszen ilyen kis értéket bármilyen környezeti tényező okozhat. Ezek alapján arra lehet következtetni, hogy a nem-ionizáló sugárzásnak nincsen hatása ezen a frekvencián a növények növekedésére.

### 5. Mikroszkopikus sejtvizsgálat

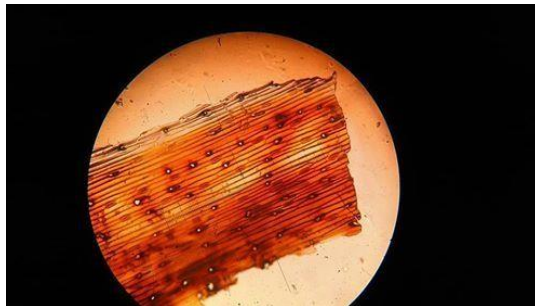
Következőekben a sejtek hosszát vizsgálom. Ezek már szemmel nem látható elváltozások. A megfigyeléshez használt segédeszköz Olympus CX21i mikroszkóp és Toup view számítógépes program volt.



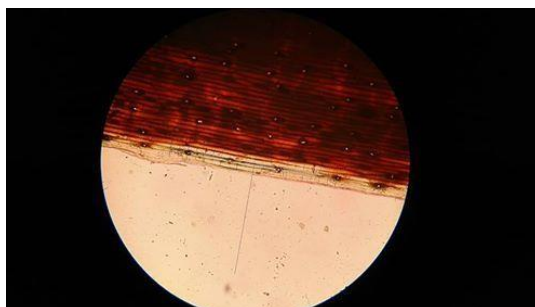
4. sz. kép: Szobában növekedett növény



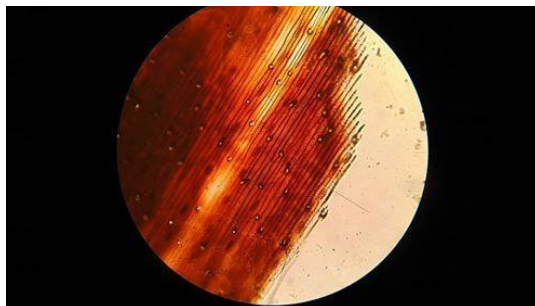
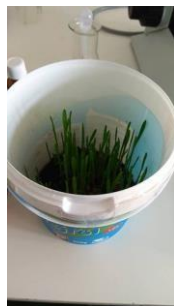
5. sz. kép: Kis sugárzást kapott növény



6. sz. kép: Kis sugárzást kapott növény



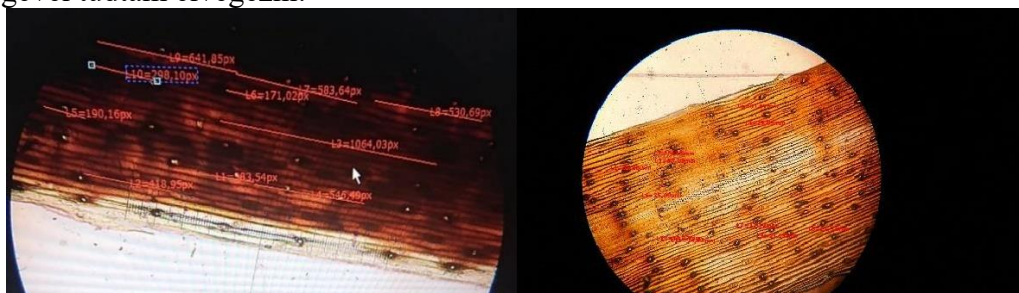
7. sz. kép: Nagy sugárzást kapott növény



8. sz. kép: Nagy sugárzást kapott növény

A fenti képeken a növények láthatóak növekedés közben, illetve szövetük képei, amelyeket a fent említett mikroszkóppal készültek.

A bőrszövet lenyomatos képeit 4%-os kollódium oldattal készítettem, amelyet utána mikroszkópban vizsgáltam 100x-os nagyításon. A sejtek méretét a Toup view program segítségével tudtam elvégezni.



9. sz. kép: A sejtek vizsgálata a program segítségével

	Szobai (mm)	Kis sugárzás (mm)	Nagy sugárzás (mm)
<b>Átlag</b>	28,443	2,7495	2,6445
<b>Tapasztalati szórás</b>	4,690868	0,948881	0,644814
<b>Korrigált tapasztalati szórás</b>	4,944609	0,973531	0,661565

A növények különböző térerősségű térben voltak, viszont ez itt nem érzékelhető. Az átlagokat összehasonlítva azt a következtetést lehet levonni, hogy mivel a két sugárzást kapott növénycsoport sejthossz átlaga közel azonos, ezért feltételezhetően a különböző térerősséggel kapott sugárzás nem befolyásolja a sejthossz méretét. A szobában növekedett növényeknek azért tér el ennyivel ez az értéke, mivel nem volt fénytől elzárt helyen, így a fotoszintetizálás előbb elindult. Itt ezért csak a két sugárzást kapott növényt lehet összehasonlítani. Mivel arányaiban csak minimálisan tér el, ezért feltételezhetjük, hogy a nem-ionizáló sugaraknak, ekkora frekvencián nincsen hatása a sejthossz növekedésére.

## 6. Klorofil – a fluoreszcencia indukció

A fotoszintetikus aktivitás mérésére széles körben elterjed a klorofil-a fluoreszcencia indukció mérésén alapuló módszer. A fotoszintetikus elektrotranszportlánc működésének hatására változó fluoreszcencia intenzitás mérhető. [4] 1931-ben Kautsky és Hirsch fedezte fel az összefüggést, miszerint a fotoszintetikus elektrotranszportlánc és a fluoreszcens jel között soros összefüggés van:  $E_{\text{abszorbált}} = E_{\text{hő}} + E_{\text{fotoszintézis}} + E_{\text{fluoreszcencia}}$ . Ennek lényege, hogy a fluoreszkálás jelenségét használják ki a mérésre. A fluoreszkálás egy olyan folyamat, ami során valami fényt nyel el, és egy különböző hullámhosszú fényt sugároz ki magából. A mérés során a beérkezett fény hullámhosszát és a kijövő fény hullámhosszát mérik, majd ebből meghatározható a fotoszintetizáló képesség.

## 7. A fényadaptált állapot változó fluoreszcenciája

Minden növénycsoportból 9-12 mintának mértem meg a fényadaptált állapot változó fluoreszcenciájára vonatkoztatott értéket. Majd ezeket átlagoltam, és a csoportok átlagait egy táblázatba tüntettem fel.

Növény	Fényadaptált állapot változó fluoreszcenciájára számolt átlaga
Szobában növekedett növény	0,277298
Kis sugárzást kapott növény	0,269954
Nagy sugárzást kapott növény	0,275721

Mivel látható különbség ezen értékek között nincsen, ezért kijelenthetem, hogy a vizsgált nem-ionizáló sugárzásnak nincsen hatása a fényadaptált változó fluoreszcenciára.

### 8. A nem-fotokémiai kioltás

A nem-fotokémiai kioltás egy olyan mechanizmus, amit a növények, illetve algák arra használnak, hogy megvédjék magukat a magas fényintenzitáskáros káros hatásaitól. A sötétadaptált állapothoz képest a maximális fluoreszcencia hozamot különböző eredetű energiaveszteségek csökkentik: ez az energiamennyiség elvész a fotoszintetikus elektrontranszportlánc, különösen a PSII meghajtása szempontjából. A jelenségeket összefoglaló néven a nem-fotokémiai kioltásként (NPQ) ismert folyamatok közé sorolják.[4] Ez az NPQ érték számolható a maximális fluoreszcenciából valamint a fényadaptált állapotban lévő maximális fluoreszcenciából:

$$NPQ = (F_m - F_{m'}) / F_{m'}$$

Ezeket az adatokat géppel lehet mérni. Ha ezeket az értékeket átlagolom, akkor adott levelekre megkapom, hogy átlagosan mekkora a nem-fotokémiai kioltás. Ezeket a növénycsoportokra vonatkoztattam, hogy egy-egy növénycsoportnak mekkora átlagosan a nem-fotokémiai kioltása:

<i>Növény</i>	<i>Szobában növekedett</i>	<i>Kis sugárzást kapott</i>	<i>Nagy sugárzást kapott</i>
	<i>NPQ</i>	<i>NPQ</i>	<i>NPQ</i>
<i>Átlag</i>	<i>0,137484127</i>	<i>0,149511905</i>	<i>0,182410714</i>

A sugárzással ez az érték növekszik. Ebből azt feltételezhetjük, hogy minél nagyobb sugárzást kap a növény annál nagyobb értéket ad a nem-fotokémiai kioltás. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás hatása után a növényekben valami kialakul, ami a fotoszintézist akadályozza. És ez a sugárzás növekedésével egyre nagyobb mértékben megfigyelhető. Tehát a sugárzás növekedésével egyre rosszabb a növény fotoszintetizáló képessége. Ebből levonhatjuk azt a következtetést, hogy a nem-ionizáló sugaraknak negatív hatása van a fotoszintetizáló képességre.

### 9. Értékelés

Ritkán esik szó a rádiótoronyok esetleges káros hatásairól. Azt próbáltam igazolni, hogy valójában tényleg nincsenek, vagy megcáfolni, hogy ténylegesen vannak. Ezért növényeket nem-ionizáló sugárzási stressznek tettem ki négy napon keresztül a csírázás alatt. A növényeket számos szempont alapján vizsgáltam. Egy értékben nagyobb eltérések voltak, ez a NQP. Minél nagyobb térerősegen voltak a növények, annál nagyobb volt ez az érték. Megállapítható, hogy minél nagyobb térerőségű sugárzást kapnak a növények, annál rosszabb a fotoszintetizáló képességük.

## Irodalom

Batha I. 2013: *Villamosságtan*. Budapest: TERC Kiadó.

[https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2009-0018\\_villamosagtan/adatok.html](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2009-0018_villamosagtan/adatok.html) (letöltve: 2018.10.25.)

Huber T. 2013: *Fluoreszcencia spektroszkópia*.

[http://biofizika2.aok.pte.hu/tantargyak/files/szeminarium2/2012-2013/szeminarium2\\_2012-2013\\_02.pdf](http://biofizika2.aok.pte.hu/tantargyak/files/szeminarium2/2012-2013/szeminarium2_2012-2013_02.pdf) (letöltve: 2018.10.25.)

*Portable Chlorophyll Fluorometer PAM 2500 Handbook of Operation* 2008. (letöltve: 2018.10.25.)

Tamás L. et al. 2013 *Növényélettani vizsgáló módszerek* Budapest: Eötvös Lóránd Tudomány egyetem.

<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/NovenyelettniVizsgModsz/book.pdf> (letöltve: 2018.10.25.)

URH-FM rádióműsorszóró állomások.

<http://www.frekvencia.hu/fmlist-hng.htm> (letöltve: 2018.10.25.)