



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Villamos Energetika Tanszék

Kerekes Kinga

Dienes Csaba

# **Különböző típusú fényforrások hálózati visszahatásának modellezése**

Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat

KONZULENS

**Dr. Kiss Péter**

BUDAPEST, 2013

---

## Tartalomjegyzék

1	Összefoglaló.....	2
2	Summary.....	3
3	Bevezetés.....	4
4	Modellalkotás előtt .....	5
4.1	Elméleti összefoglaló .....	5
4.2	Különböző típusú fényforrások mérése .....	6
4.2.1	Mérőkártyák fázistolásának meghatározása.....	7
4.2.2	Hagyományos izzó: .....	9
4.2.3	Halogén fényforrás .....	10
4.2.4	Kompakt fénycső .....	11
4.2.5	Led .....	12
5	A modell bemutatása .....	16
5.1	Modell működésének ismertetése.....	16
5.2	Modell helyes működésének alátámasztása.....	17
5.2.1	Három különböző led fényforrást tartalmazó mérés.....	17
5.2.2	Kilenc különböző fényforrást tartalmazó mérés .....	19
6	Fogyasztói scenáriók bemutatása a minta háztartáson.....	22
6.1	Minta háztartás bemutatása, megfeleltetés .....	22
6.2	Az egyes scenáriók hálózati visszahatásának modellezése .....	23
6.2.1	Múlt scenárió .....	23
6.2.2	Jelen, jövő és távoli jövő scenárió.....	24
7	Összegzés, jövőbeli fejlesztési lehetőségek .....	26
	Irodalomjegyzék .....	27
F1	A modell használata.....	28
F1.1	Harmonikus spektrum tárolása .....	28
F1.2	Modellezés folyamata .....	29
F2	Scenárió megfeleltetések táblázatai .....	33

---

# 1 Összefoglaló

---

Napjaink egyik fontos feladata a társadalom tudatosítása, ösztönzése a kisebb energiafelhasználásra. Gondoskodnunk kell az energiahordozók tervszerű elosztásáról, felhasználásáról, méréséről. Ezt a tendenciát figyelhetjük meg a villamos energiafogyasztó készülékeknél is, hiszen egyre magasabb energiaosztályú készülékek jelennek meg a piacon. A fogyasztói struktúra ezen változása hatással van a villamos energia rendszer minőségi mutatóira is. Jelen tanulmány a fényforrások hálózatra hatásával foglalkozik. Célunk egy felhasználóbarát, parametrikus modell fejlesztése, mellyel könnyen számíthatók egy ház fényforrásaiból adódó harmonikus áramtorzítás jellemzői, valamint ezeket szemléletesen ábrázoló Fourier spektruma is.

A tanulmány első részében a modell ismertetésének és fontosságának megértéséhez nélkülözhetetlen fogalmakat vezetjük be. Ebben a részben kap helyet a modell kiinduló pontjának szolgáló laboratóriumi mérések összefoglalása is, mely különböző típusú és teljesítményű fényforrások mérését, jelalakjuknak csoportosítását tartalmazza.

A második részben mutatjuk be a harmonikus torzítást szimuláló modellt. Részletesen kitérünk a modell felhasználó számára kialakított felületének használatára. Ezen kívül ebben a részben ismertetjük a modell helyes működését alátámasztó laboratóriumi méréseket és azok eredményeit.

A tanulmány harmadik részében a korábban bemutatott felhasználói modell segítségével vizsgáljuk a múlt és a jelen scenárióknak megfelelő lámpatest-összetétel harmonikus torzítását. Ezen felül egy jövőképet is felvázolunk, amelyben egy jövő és egy távoli jövő scenárióknak vizsgáljuk a harmonikus torzítását. Ezen scenáriókban elemezzük, miként alakul a villamosenergia fogyasztás és miként változik az idő előrehaladtával az egyes scenáriók felharmonikus visszahatása.

---

## 2 Summary

---

Nowadays one of the most important tasks is to draw the society's attention reducing the electrical energy consumption. We have to make sure of the correct energy mix and the distribution, consumption and measurement. Actually, this tendency has been shown in electrical energy-consumer devices. It means that higher and higher energy class devices are being presented in the market. This changing in the structure of the consumption has an effect on the quality of the supplied power. This paper presents an investigation of the effect of different kind of lights on the power quality parameters. Our goal is developing a new user-friendly model calculating the harmonic propagation origination from the lights of a home building. This model calculates the characteristic values of the current harmonic distortion together with the representing Fourier-spectrum.

In the first part of the study the definitions are introduced that are essential for understanding the model. In this section the summary of the laboratory measurements are discussed, which were the base for this paper. The measurements have been performed with different types of lights (incandescent lamps, CFLs, LEDs,), after this their sorting are introduced through the current waveforms.

In the second chapter the harmonic distortion simulating model is presented and the user-friendly interface is introduced. Also in this section the proper functioning of the model is validated with the results of the laboratory measurements.

In the third part different scenarios are presented and examined, where the scenarios are based on the past and present light device sets of a home building. Besides this future and far future scenarios are proposed. Finally the power consumption and the current harmonic distortion of the different scenarios are analysed.

---

## 3 Bevezetés

---

A fogyasztás csökkentésének érdekében a lakásunkban használt hagyományos izzókat energiatakarékosabb fényforrásokra cseréljük le. Ez a folyamat egyelőre ott tart, hogy a forgalomból is már kivont hagyományos wolframszálas izzók helyét energiatakarékos fényforrások, kompakt fénycsövek veszik át. Ennek a folyamatnak a hatásaival foglalkozik az [1] forrásban megjelölt cikk, amelyet mint ötletadó cikket használtunk fel dolgozatunk megírásához. Mint azt a későbbiekben látni fogjuk, mi bizonyos megszorítások mellett a gyakorlatban is használható modellt fejlesztettünk, ellentétben az ötletadó cikkben szereplő laboratóriumi mérések bemutatásával.

A következő fokozat a fény emittáló diódák (LED) beépülése lesz a háztartásunkba. Ezek a berendezések a hagyományos izzókkal ellentétben nemlineáris fogyasztóként viselkednek. E fogyasztói csoport jellemzője, hogy szinuszos feszültségből nem szinuszos áramot vesznek fel, áramalakjukban felharmonikus összetevők jelennek meg. Ennek következtében a villamos hálózaton, vezette zavarok jelenhetnek meg. A fogyasztó berendezések által keltett ilyen zavarokat hálózati visszahatásnak nevezzük. Ezeket a jelenségeket a 2008-ban kiadott "A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői" MSZ EN 50160 jelű szabvány [6] tartalmazza. A továbbiakban a szabvány által felsorolt minőségi mutatók közül csak azzal foglalkozunk, mely a modell megértéséhez elengedhetetlen. A fent említett szabvány meghatározza a feszültség normál üzemi körülmények közötti fő jellemzőit és azok megengedett eltéréseit a közcélú kiefeszültségű (KIF) és közepfeszültségű (KÖF) villamos elosztóhálózatok fogyasztói csatlakozási pontjaiban.

---

## 4 Modellalkotás előtt

---

### 4.1 Elméleti összefoglaló

Felharmonikus komponensek alatt azokat a feszültségeket vagy áramokat értjük, amelyek frekvenciája a táphálózat alaphfrekvenciájának, vagyis 50 Hz-nek, az egész számú többszöröse. Jellemzésükre vagy a frekvenciájukat (pl. 300 Hz) vagy frekvenciájuknak az alapharmonikus frekvenciára viszonyított értékét (pl.  $300/50 = 6$ ) használjuk. Ez utóbbit rendszámnak nevezzük, jele  $k$ . Az 50 Hz-hez tartozó áram, illetve feszültségértékek az alapharmonikusok. [2]

Általánosságban elmondható, hogy minden periodikus függvény végtelen számú koszinuszos és szinuszos tag összegeként megadható. Így lehetőség nyílik egy bonyolultabb függvényt egy egyszerű számsorozattal megadni. Egy  $T$  periódusidejű függvény Fourier-sora a következő képlettel írható le:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(k \cdot \omega \cdot t) + b_k \sin(k \cdot \omega \cdot t))$$

ahol  $\omega = 2\pi f$  a körfrekvencia,  $a_0$ ,  $a_k$ ,  $b_k$  együtthatókat pedig Fourier együtthatóknak nevezzük. [2]

Speciális esetekben az együtthatók száma leeredukálható, jelen esetben  $b_k = 0$ , mivel a vizsgált függvény szinuszos alakú, mely páratlan.

A felharmonikus áramok a hálózaton szétterjedve számos problémát okozhatnak, például [3]:

1. téves védelmi működés (biztosító kioldás, kismegszakító leoldás)
2. hálózati elemek túlterhelődése, túlmelegedése (például transzformátor túlmelegedés)
3. nullavezető melegedése
4. indukciós motorok veszteség növekedése

Az áram illetve a feszültségtorzulás definiálásához, számszerűsítéséhez két fontos fogalmat vezet be a szabvány. A fogyasztó nemlinearitásának mértékére bevezetett mérőszám az áramra vonatkozó teljes harmonikus torzítás (THD<sub>I</sub>), valamint az egyedi harmonikus torzítás (D<sub>I</sub>):

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot 100 [\%] \qquad D_I = I_k / I_1$$

Ahol  $I_1$  az alapharmonikus árama,  $I_k$  a  $k$  rendszámú felharmonikus árama. [4]

A szabvány az egyedi harmonikus torzítás megengedett maximális értékeit egy táblázatban foglalja össze a rendszám függvényében (1. táblázat). THD értékére pedig azt fogalmazzá meg, hogy a tápfeszültség THD értéke (beleértve az összes felharmonikus a 40-es rendszámig) nem lehet 8 %-nál nagyobb. [6]

Páratlan felharmonikusok				Páros felharmonikusok	
3-nak nem többszöröse		3-nak többszöröse			
Rendszám	Relatív feszültség	Rendszám	Relatív feszültség	Rendszám	Relatív feszültség
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6-24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5%				
23	1,5 %				

1. táblázat – Az egyes felharmonikus feszültségek  $U_n$  százalékában megadott értékei a csatlakozási pontokban, 25.rendszámig [6]

## 4.2 Különböző típusú fényforrások mérése

Fő célunk a lakóházi villamos hálózat világítási fogyasztóinak visszahatását vizsgálni különböző fényforrás-összetétel mellett, valamint a fogyasztói szokásban bekövetkező változásokat modellezni, annak érdekében, hogy az újabb világító berendezések áramtorzítása előre modellezhetővé váljon.

Első feladatunk folyamán különböző típusú, teljesítményű, elektronikai kialakítású, valamint gyártótól származó fényforrásokat mértünk le. A mérési eredmények összesítésével, kirajzoltatásával jellegzetes görbéket kaptunk, melyeket csoportosítottunk. A csoportosítás alapját a fényforrások típusa, pontosabban jelalakja adta, így lett hagyományos, halogén, kompakt fénycső és led. A led-eknél a többféle elektronikai kialakításnak értelmében több alcsoportot is létre tudtunk hozni.

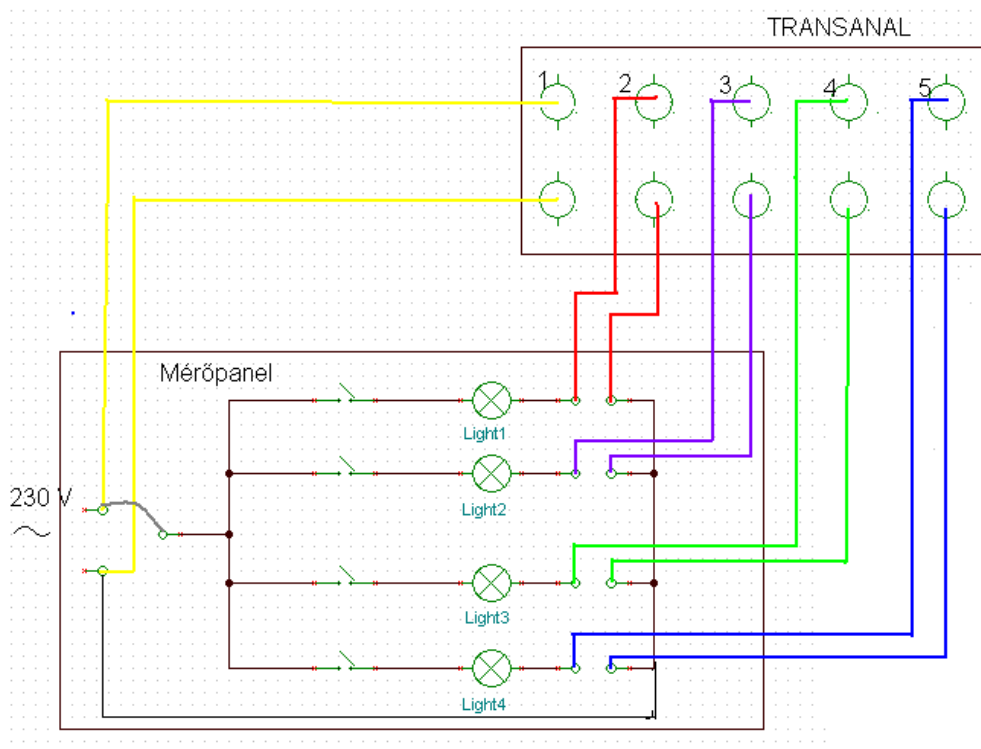
A mérés célja az volt, hogy egy képet kapjunk arról, hogy a fényforrások milyen mértékben képesek hatást gyakorolni a hálózatra, valamint melyik ilyen szempontból a legveszélyesebb típus. Ezen felül célunk volt a különböző fényforrások csoportokba sorolása, különös tekintettel a modern ledes fényforrásokra.

A méréshez a Transanal-21 Multirec harmonikus spektrum, flicker és tranziens analízátort használtuk [5]. Ennek a műszernek a sajátossága, hogy különböző típusú és különböző méréshatárú analóg bemeneti mérőkártyák használatát teszi lehetővé. Ennél a mérésnél öt mérőkártyát használtunk, egy feszültségkártyát és négy, a fényforrásoknak megfelelő méréshatárú áramkártyát. A méréshez használt analóg mérőkártyák láthatók az 1., a mérési elrendezés 2. ábrán látható. A mérés során két, különböző méréshatárú áramkártyára volt szükség, egy a kompakt, halogén és hagyományos fényforrásokhoz, egy pedig a ledesekhez. Erre azért volt szükség, mivel teljesítményükben egy nagyságrendi eltérés van. A mérések során végig ügyeltünk arra, hogy a mögöttes hálózaton egyébként is fennálló feszültségtorzítás változása a lehető legkisebb mértékben befolyásolja a méréseinket. Ezért próbáltuk az egyes méréseket egyszerre, a lehető legrövidebb idő alatt elvégezni, hogy a mögöttes hálózat zavarhatása a lehető legkisebb mértékben változzon a mérés folyamán (valójában feltételeztük, hogy

egy mérés alatt a hálózatról érkező zavar állandó). Ezen kívül a méréseinkhez egy toroidot használtunk, aminek segítségével minden mérésnél pontosabb 230 V-ot tudtunk beállítani, így is kicsit kompenzálva a mögöttes hálózat zavarhatásait. A mérésekhez felhasználtunk egy mérőpanelt és a labor által kínált fényforrásokat.



1.ábra – Transanal mérőműszerben lévő analóg mérőkártyák



2.ábra – Mérési elrendezés

#### 4.2.1 Mérőkártyák fázistolásának meghatározása

Mint már említettük, mérések folyamán különböző típusú analóg mérőkártyákat használtunk. Mivel a későbbiekben bemutatásra kerülő hálózati visszahatást szimuláló modell a felharmonikusoknak nem



csak az amplitúdójával, hanem a fázisszögével is számol, ezért fontos feladatunk volt annak megállapítása, hogy a különböző árammérő kártyák nem okoznak e fázisforgatást a mérés folyamán. A 2. táblázat foglalja össze, hogy a méréseink során milyen típusú és méréshatárú árammérő kártyákkal mértünk.

Típus	Méréshatárok				Dimenzió	Bemeneti ellenállás
CT-04	1	2	5	10	A	0,04 $\Omega$
CT-05	0,5	1	2	5	A	0,04 $\Omega$
CP-01	10	20	50	100	mA	50 $\Omega$

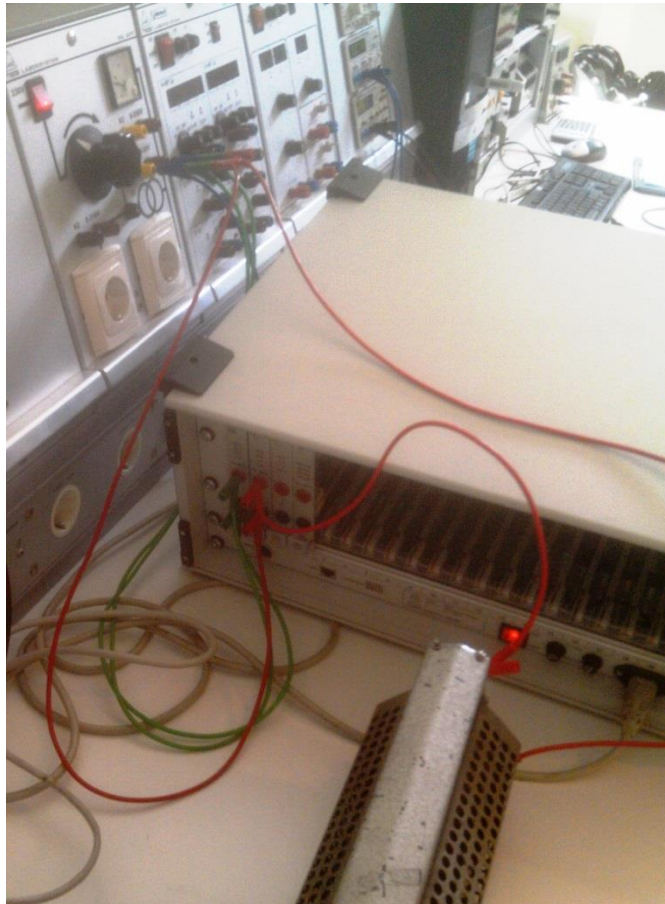
2. táblázat – A méréseink során használt árammérő kártyák paraméterei

A fázistolás megállapításához a következő egyszerű mérést állítottuk össze (3. ábra). Egy tolóellenálláson multiméter segítségével beállítottunk egy előre kiválasztott Ohm értéket, ami 10  $\Omega$  volt. Ezután ezt a beállított ellenállást változtatható feszültségforrásra kötve mértük a Transanal segítségével az ellenállás áramát. A mérést mind a három típusú árammérő kártyára megismételtük ügyelve arra, hogy az ellenállás árama az adott méréshatár közelében legyen. Az eredményeket a Transanal report funkciójával vittük át excel környezetbe, ahol kiértékeljük ezeket. Az eredmények lényegi része látható a 3. táblázatban.

CT-04-es mérőkártya		CT-05-es mérőkártya		CP-01-es mérőkártya	
Áram	Áram fázisszöge	Áram	Áram fázisszöge	Áram	Áram fázisszöge
0,61 A	-1,46 °	0,29 A	-1,20 °	50,648 mA	-0,214 °

3. táblázat – Különböző árammérő kártyák fázistolása

Mint látható a 3. táblázatban a három különböző árammérő kártya fázisszöge az ellenálláson várható nulla fokos fázisszöghöz képest csekély mértékben tér el. Ezért ezt a kis fázisszög eltérést elhanyagoltuk és azt mondtuk, hogy az árammérő kártyák nem okoznak fázisszög tolást. Megjegyezzük, hogy a 3. táblázatban látható csekély fázisszög eltéréseknek több oka is lehet. Ezek közül az egyik lehetséges ok, hogy az általunk használt hálózati feszültség se torzításmentes.

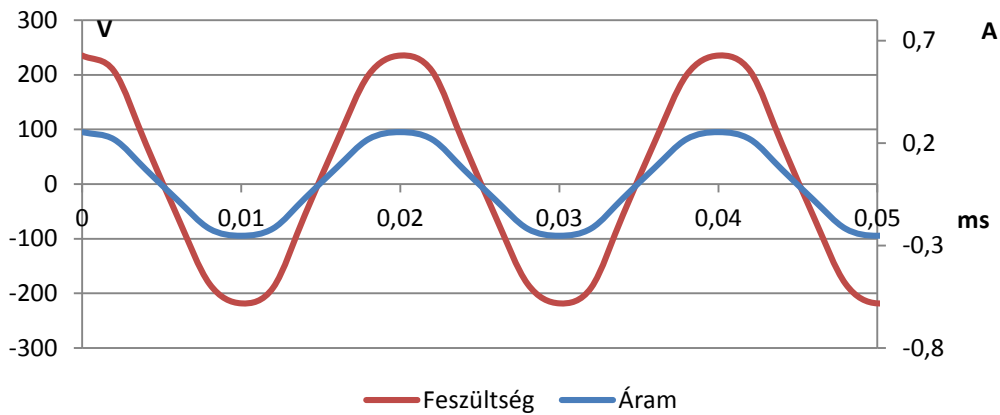


3. ábra – Mérőkártyák fázistolására használt mérési elrendezés fotója

Ezzel az egyszerű méréssel beláthattuk, hogy a Transanal árammérő kártyái nem okoznak jelentős fázistolást.

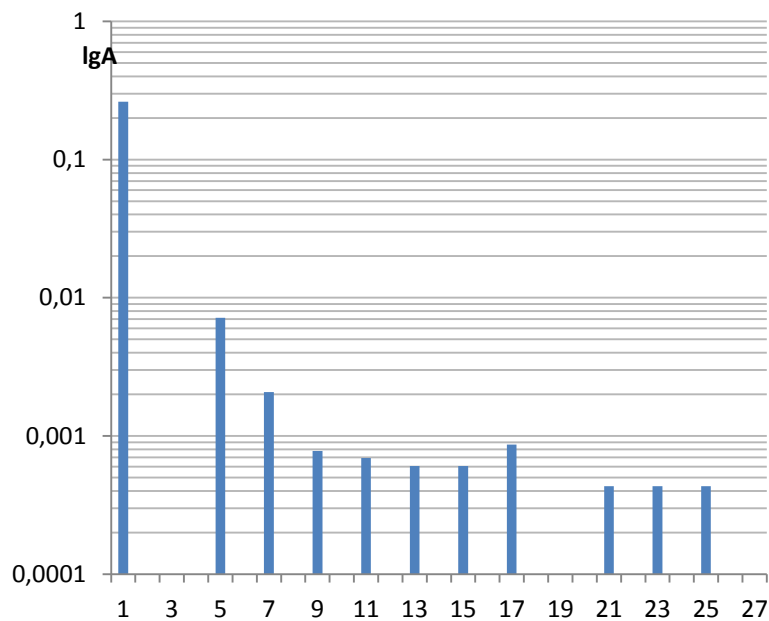
#### 4.2.2 Hagyományos izzó:

Ennél az izzó típusnál az átfolyó áram hatására a wolfram szál felizzik, fényt bocsát ki. Nincs szükség elektromos segédberendezésekre a működéséhez. Jellemző hőmérséklete 2500-3300 K, élettartama 1000-1500 óra, teljesítményei 25-100W. Előnyére válik az ára, hiszen olcsó, pár száz forintért beszerezhető, és sokáig tartott monopol helyzete.



4.ábra – A hagyományos izzó áramának és feszültségének az időfüggvénye

Az áram és feszültség jelalakokat ábrázolva látszik, hogy itt a két mennyiség között nincs fázistolás (4. ábra). Összevetve a tápláló feszültség és az áram Fourier spektrumát, azt vehetjük észre, hogy ugyanazok a felharmonikusok jelennek meg mindkettőben, így arra következtethetünk, hogy a hagyományos izzó egy lineáris terhelés.

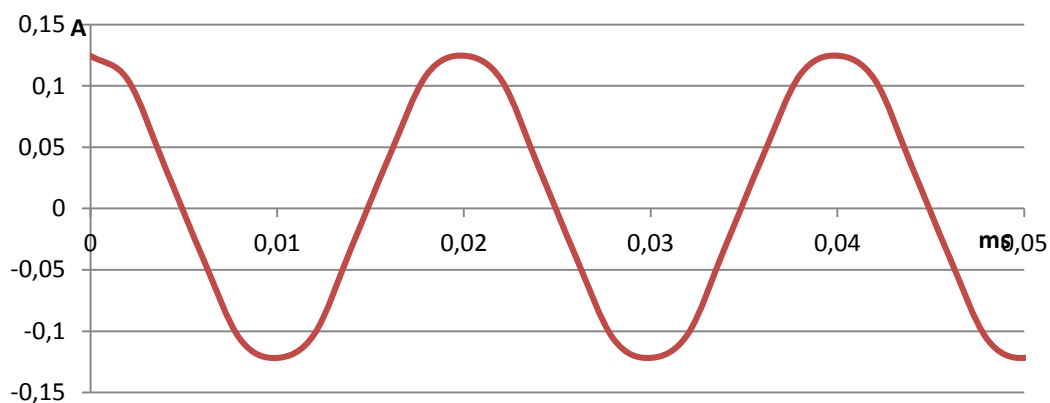


5.ábra – A hagyományos izzó áramának felharmonikus tartalma

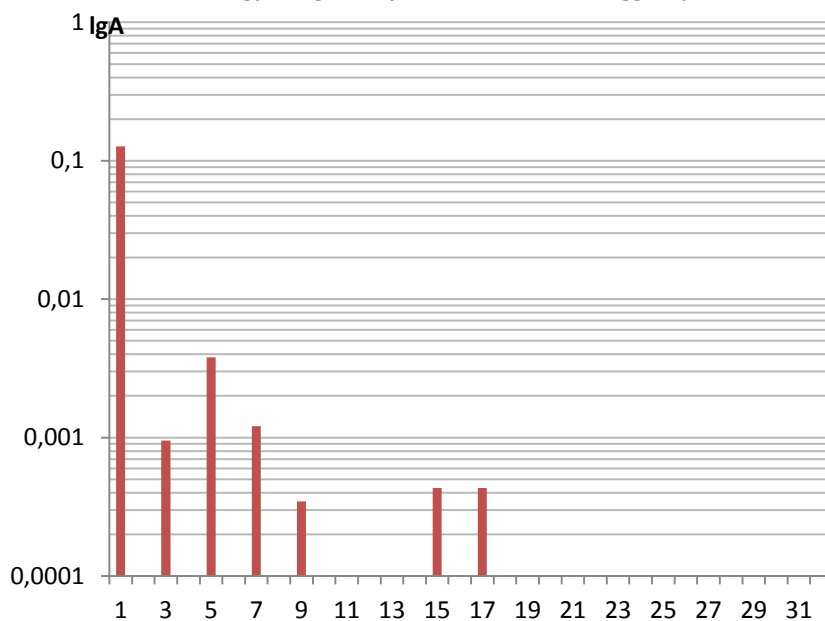
Az izzó ellenállásának 600-1000  $\Omega$  közötti érték. Ez a bizonytalanság a mérés során fellépő zaj hatásának tudható be. Meghatározása az Ohm törvénnyel történt, miszerint  $R=U/I$ .

#### 4.2.3 Halogén fényforrás

Pontszerű fényforrás, a lámpa burájában halogén elemet (jódot vagy brómot) juttatnak. Spirálja a wolfram izzóénál magasabb hőmérsékletű, ezért a burát keményüvegből, vagy kvarcból készítik. Jellemzően 2800-3300 K hőmérsékletű, élettartama 2000-3000 óra, valamint teljesítményei 10-50 W.



6. ábra – Egy halogén fényforrás áramának időfüggvénye



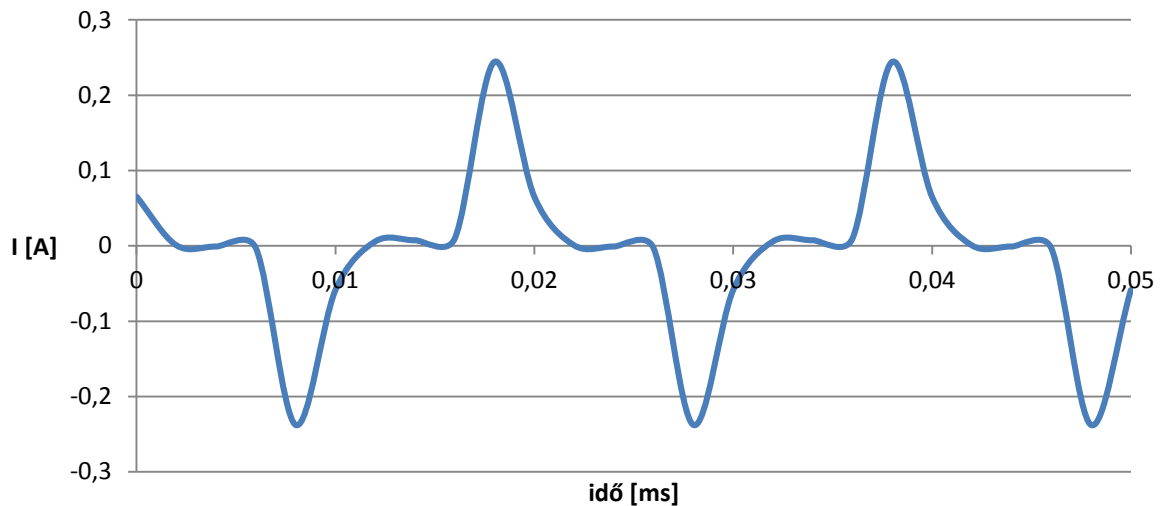
7. ábra – Egy halogén fényforrás áramának felharmonikus tartalma

Időfüggvénye és jelalakja a hagyományos izzót tükrözi, de ez nem meglepő mivel működésük alapja is ugyanaz. Gyors amplitúdó változás megmaradt, kis THD érték jellemzi.

#### 4.2.4 Kompakt fénycső

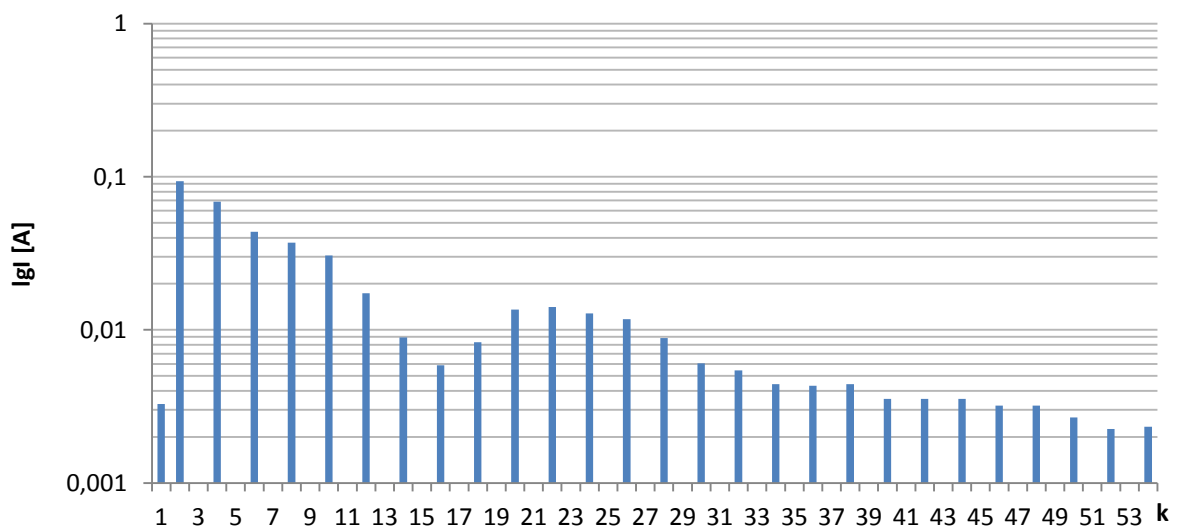
A fénycsövek hagyományos működtetéséhez szükség van egy áramkorlátozó elemre (többnyire induktív előtétre, fojtótekerccs, illetve ritkán kapacitív elemre, vagyis kondenzátorra) és egy gyújtóra. A mai, korszerű fénycsöves lámpák már nem a kevésbé energia hatékony induktív, hanem jobb hatásfokú elektronikus előtéttel működnek.

Jellemző teljesítmény értékük 5-36 W, élettartamuk várhatóan 8000 óra, bekerülési költségük viszonylag magas. Előnye az alacsony üzemeltetési költség.



8. ábra – Egy kompakt fénycső áramának időfüggvénye

Jellegzetes alakú időfüggvény jellemzi, a szinuszos alak kezd eltűnni, az előbbiekhöz képest itt jóval torzabb jelalakot kaptunk. Ez a nagy felharmonikus tartalomnak tudható be. Az áram THD értéke 100% fölött van. A 9. ábrán látható, hogy az áram az alapharmonikus értékét leghamarabb csak a 41. felharmonikus után veszi fel.



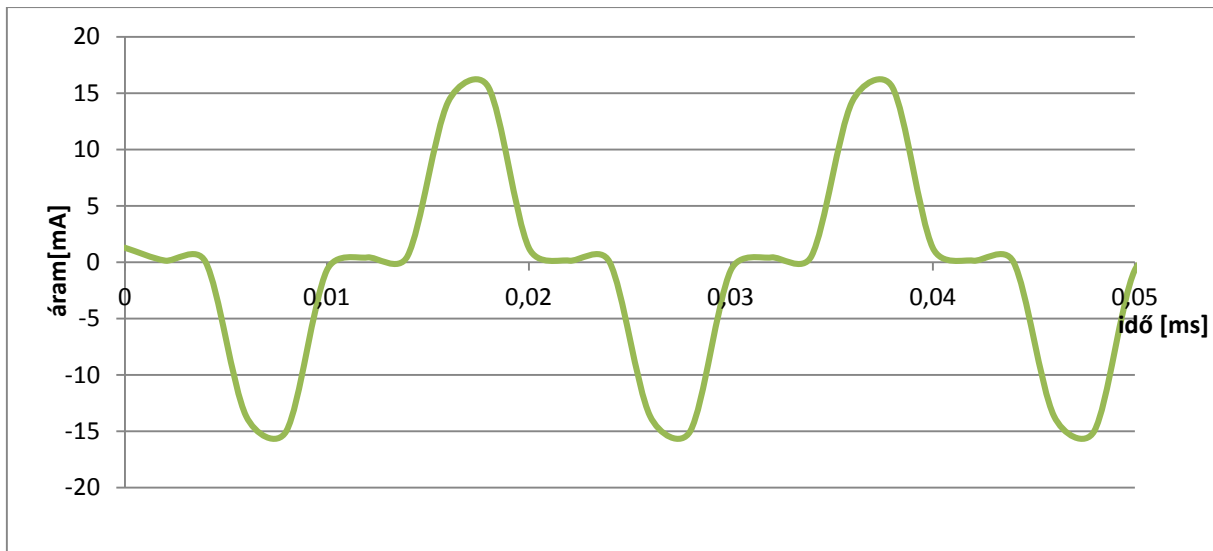
9. ábra – Egy kompakt fénycső áramának felharmonikus tartalma

#### 4.2.5 Led

A fényforrások legújabb családjába tartoznak a fénykibocsátó diódák. A fény úgy keletkezik, hogy a diódára adott áram a dióda anyagában levő atomok elektronjait gerjeszti, amitől azok nagyobb energiaszintű elektronpályára lépnek, majd miközben visszatérnek eredeti energiaszintjükre, fotonokat bocsátanak ki. Élettartamuk igen magas, 25000-40000 óra, teljesítménye egy darab lednek 1-5 W. Előnye a kis mérete, hosszú élettartama. Hátránya az ára, magas a bekerülési költsége. Mára

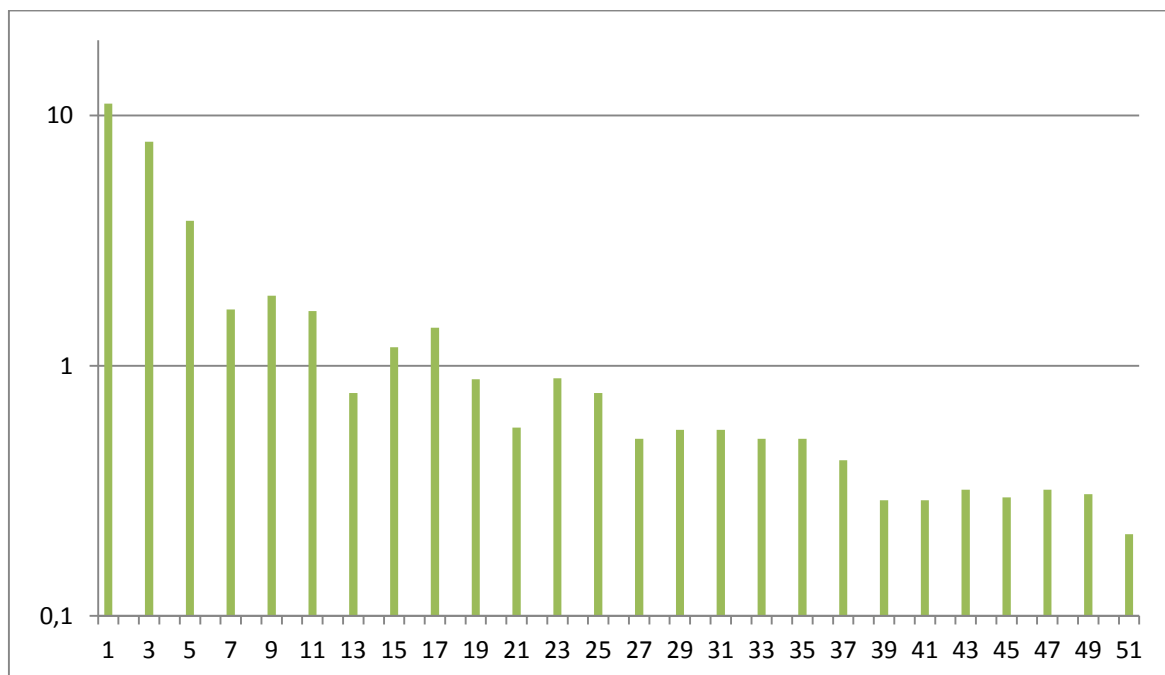
már számtalan gyártó számtalan terméke található a piacon, más és más kialakítással. Ennek is tudható be, hogy a vizsgált fényforrások között nem kaptunk egységes alakokat, így jelalakjuk alapján három csoportba kategorizáltuk őket. Míg eddig a vizsgált fényforrások minősége azonos volt, adott kategóriában ugyanazt a jelalakot tapasztaltuk, itt már ez nem mondható el.

#### 4.2.5.1 Első csoport



10. ábra – Az első csoportba eső led áramának időfüggvénye

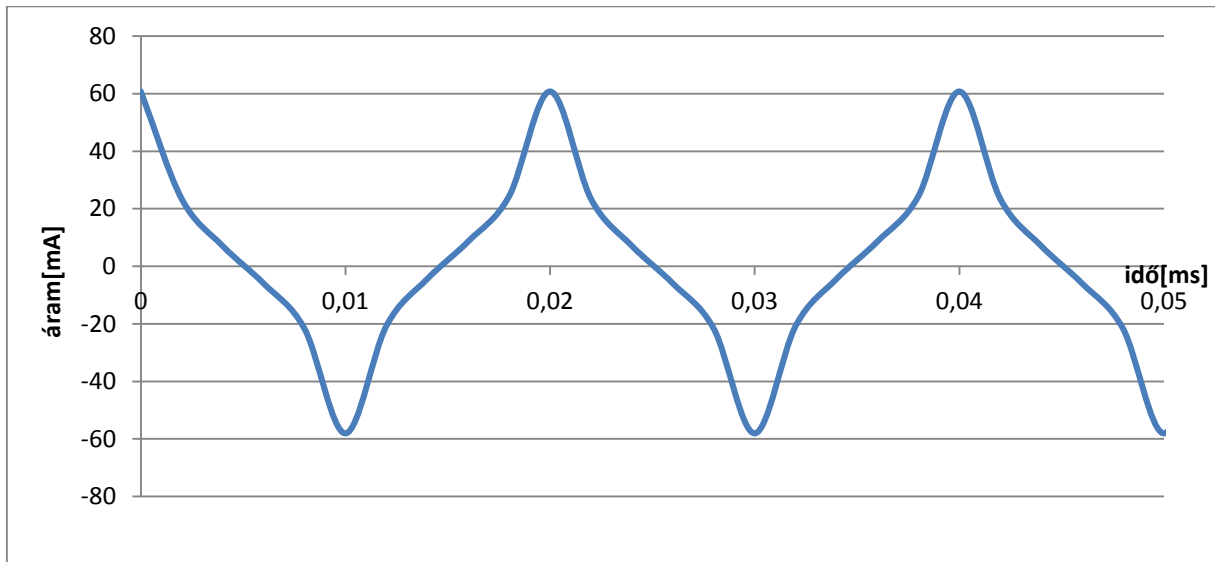
Időfüggvénye hasonlít a kompakt fénycsőnél tapasztaltakra, de látszik a kisebb felharmonikus tartalom, mivel nem olyan csúcsos a jelalak.



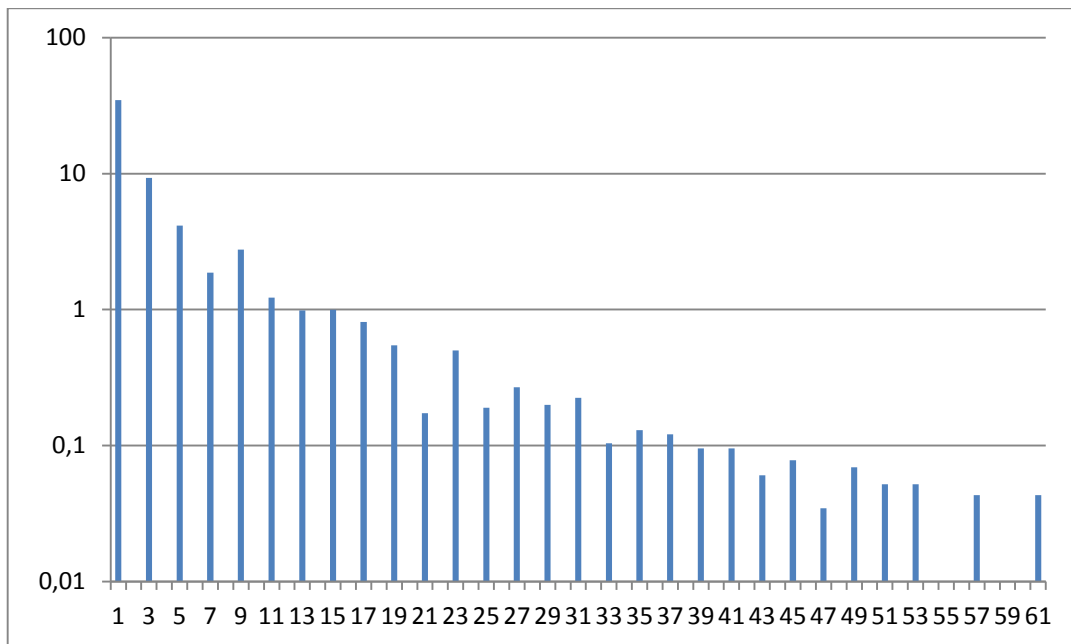
11. ábra – Az első csoportba eső led áramának felharmonikus tartalma

#### 4.2.5.2 Második csoport

Időfüggvényéből eltűntek a vízszintes szakaszok, egy csúcsosabb jelalakok kaptunk, viszont még mindig megőrzi a szinuszgörbe jellegét. Az első csoporthoz képest fontos észrevenni azt, hogy eltűntek a közel zérus áramú szakaszok, azaz itt már folyamatos a vezetés.



12. ábra – A második csoport típusos áram időfüggvénye

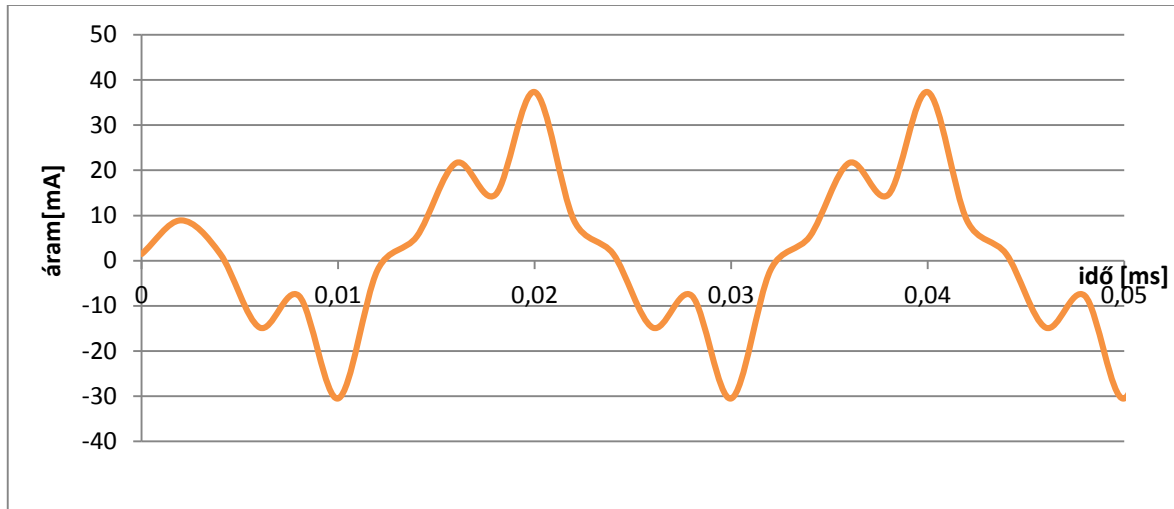


13. ábra – A második csoport áramának felharmonikus tartalma

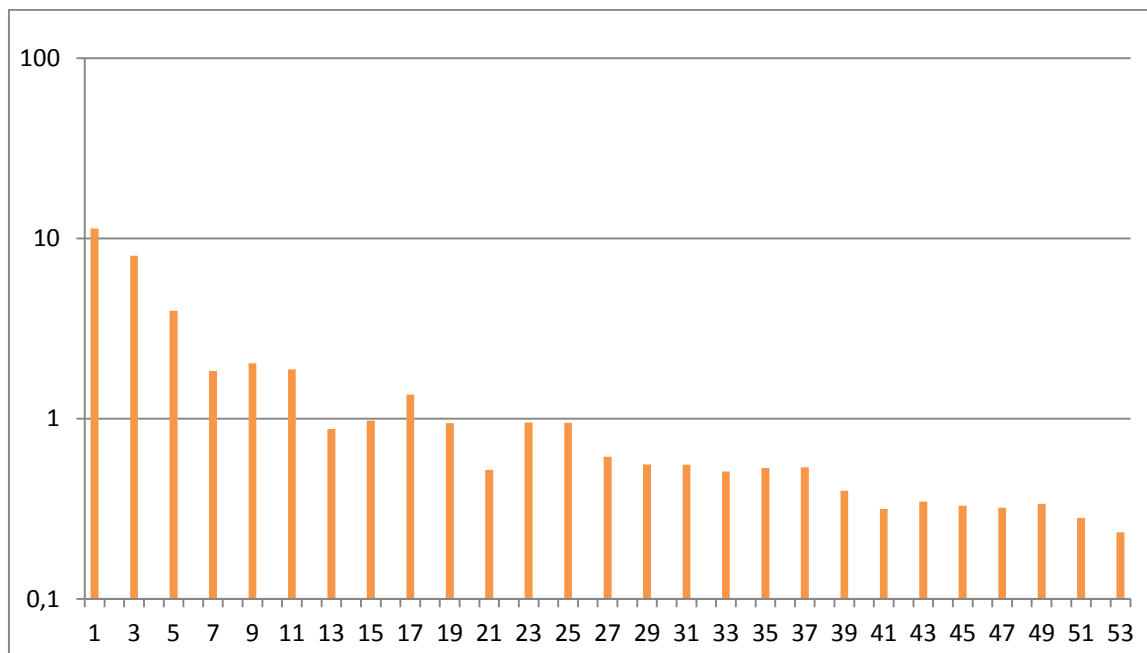
#### 4.2.5.3 Harmadik csoport

Ezen fogyasztók generálják a legnagyobb mértékű felharmonikusokat. Időfüggvénye a szinuszhoz képest torz, az áram amplitúdó értékei nem csökkennek olyan mértékben, mint az előző csoportoknál,

még az 51. felharmonikus összetevő amplitúdójánál sem állapítható meg a 2 nagyságrendnyi visszaesés.



14. ábra – A harmadik csoportba eső fogyasztó áram időfüggvénye



15. ábra – A harmadik csoportba eső led lámpatest áramának felharmonikusai

Összességében fázisszög szempontjából a ledek a legváltozatosabbak, valamint a  $THD_1$  értéküket nem lehet pontosan megmondani, egy elég széles sávban mozog. A kompakt fénycsövek  $THD_1$  értékei már egy szűkebb tartományban mozognak, hagyományosnál ez a jellemző, szinte elhanyagolható. Ezeknél a fázisszögek közel azonosak. A ledek mellett szól, hogy kis teljesítményűek, ebből következően csak kis értékű áramkomponensek jelennek meg.



---

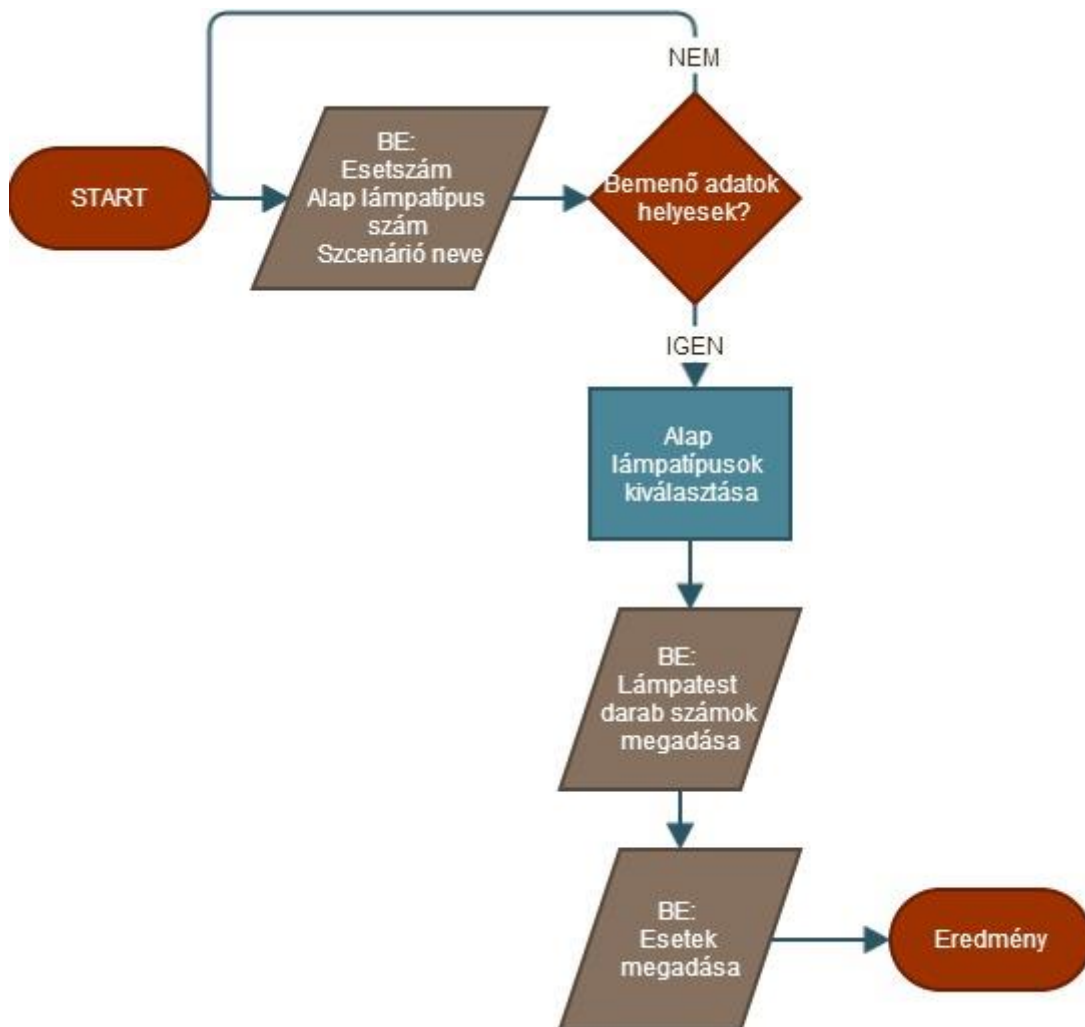
## 5 A modell bemutatása

---

Ennek a fejezetnek a célja a hálózati visszahatást szimuláció modell működési elvének bemutatás, illetve a modell helyes működését alátámasztó mérések ismertetése. A modellünk Microsoft Excel környezetben készült el, amelyben használtuk a környezet által biztosított Visual Basic programnyelvet [7].

### 5.1 Modell működésének ismertetése

A modellünknek két jól elkülöníthető része van. Az első az adatbázis része, ahol tárolni tudja a felhasználó a modellezni kívánt lámpatestek harmonikus spektrumát az alapharmonikustól egészen a 63. felharmonikusig. A másik része a modellnek az a felület, ahol maga a szimuláció futtatható le. A szimulációnak a folyamatát szemlélteti a 16. ábra.



16. ábra – Szimuláció folyamatábrája

Mint az a folyamatábrából is látható, a modellezés során a program a felhasználótól kapott adatokból és a rendelkezésre álló fogyasztók harmonikus spektrumából kiszámolja az eredő harmonikus spektrumot, azaz a lámpatestek együttes hálózati visszahatását. A modell egyes munkalapjainak, táblázatainak bemutatása, illetve a szimuláció részletekben kimerülő ismertetése egy példa segítségével megtekinthető az F1. függelékben.

## 5.2 Modell helyes működésének alátámasztása

A modell elkészülte után az elsődleges feladatunk volt meggyőződni arról, hogy helyesen működik a modell. Ennek belátására két mérést végeztünk és ezek eredményeit mutatjuk be.

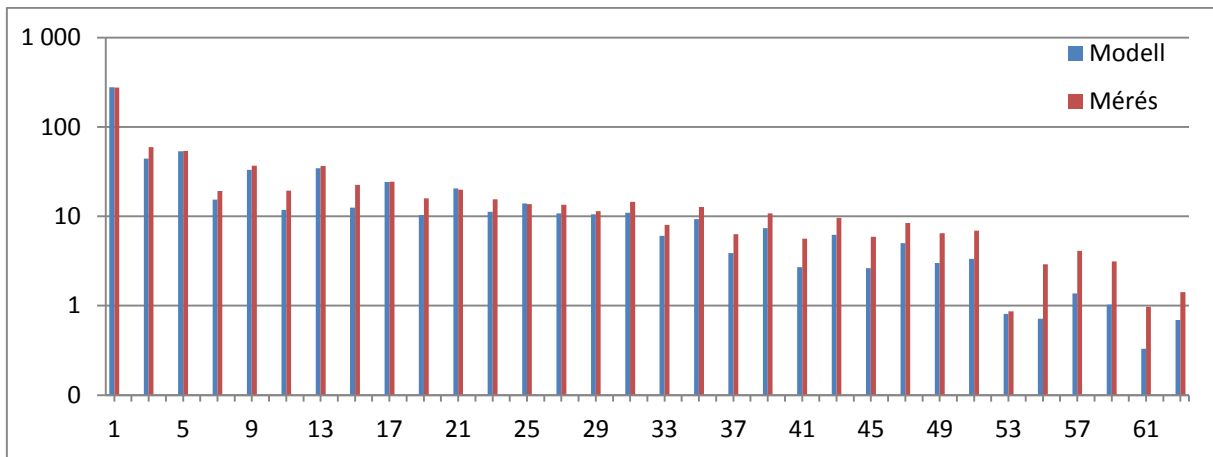
### 5.2.1 Három különböző led fényforrást tartalmazó mérés

A mérés során három különböző típusú led fényforrásból összesen tíz darab fényforrást használtunk. Első lépésünk volt a különböző típusú fényforrások harmonikus spektrumát külön-külön megmérni. Ehhez mindegyik típusú fényforrásból egy-egy darabot külön-külön változtatható feszültségforráson beállított 230 V-ra kapcsoltuk és mértük a Transanal-al a harmonikus spektrumukat. A 4. táblázat foglalja össze, hogy milyen típusú lámpatestekből hány darabot használtunk a mérés során, illetve azt is mutatja, hogy melyik lámpatestet milyen analóg árammérő kártyával mértünk.

Lámpatípus		Transanal mérőkártya		2. mérési elrendezésnél használt darabszám
Neve	Teljesítménye	Típusa	Méréshatára	
Conlight 3x2 W leg	6 W	CP-01	100 mA	2
Conlight 4 W White	4 W	CP-01	100 mA	4
Conlight 4 W Warm White	4 W	CP-01	100 mA	4

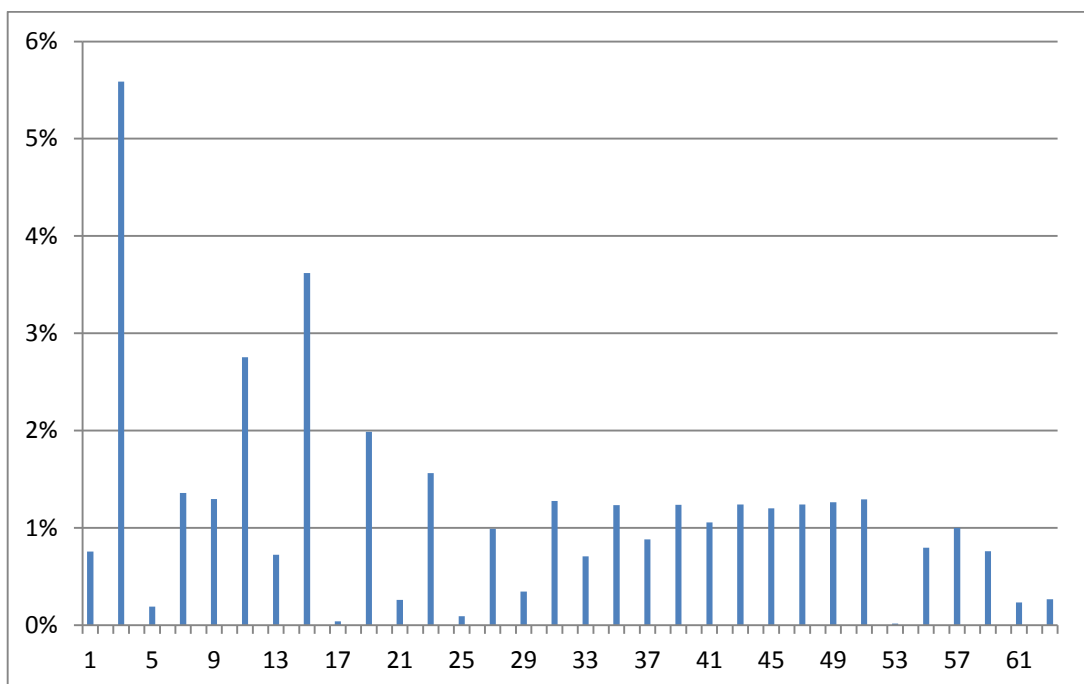
4. táblázat – Mérés során használt fényforrás típusok

Miután külön-külön minden típusú fényforrásnak rögzítettük a harmonikus spektrumát, mértük a tíz lámpatest eredő harmonikus spektrumát szintén a Transanal műszerrel. Ezután az általunk készített modell segítségével és az egyes típusú fényforrások harmonikus spektrumának ismeretében modelleztük az eredő harmonikus spektrumot. Végül ezt a modellezett eredő harmonikus spektrumot hasonlítottuk összes a mért eredő harmonikus spektrummal.



17. ábra - A mért és a modellezett harmonikusok abszolútértékének összehasonlítása

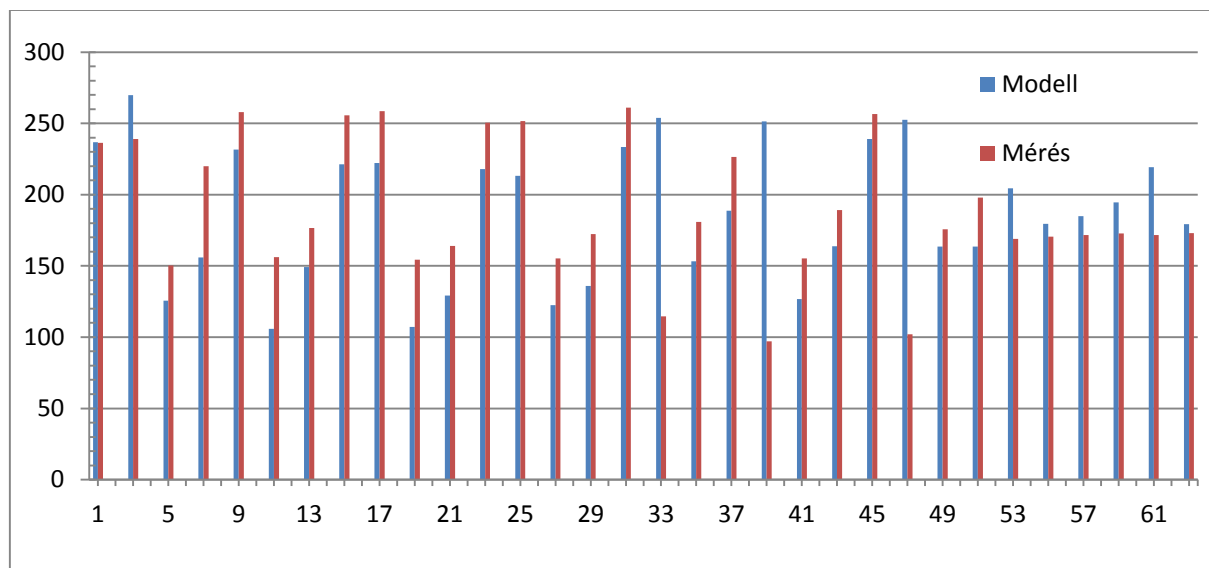
A 17. ábra mutatja a mért és a modellezett harmonikusok abszolút értékét, míg a 18. ábra pedig az adott modellezett harmonikus amplitúdó százalékos eltérést mutatja a mért alapharmonikus amplitúdójához képest. Mint a két grafikon jól mutatja a modell pontosságát. A 18. ábrán látható, hogy a harmadik harmonikusnál található a legnagyobb eltérés, körülbelül 6%. Megfigyelhető az alapharmonikus abszolút értékének nagy pontosságú egyezése, kevesebb, mint 1% az eltérés a modellezett és mért amplitúdó között.



18. ábra - Az adott modellezett harmonikus amplitúdó százalékos eltérése a mért alapharmonikus amplitúdójához képest

Az eddigiekben nagy hangsúlyt fektettünk az amplitúdó egyezésre, de érdemes lehet megvizsgálni a fázisszög egyezést is. A 19. ábra mutatja a modellezett és a mért fázisszögeket az egyes harmonikusokra. Itt is megfigyelhető az alapharmonikus közel pontos egyezése. A magasabb

rendszámú harmonikusoknál megfigyelhető kisebb eltérés, de százalékosan ez se jelent túl nagy értéket.



19. ábra – A mért és a modellezett fáziszögek

### 5.2.2 Kilenc különböző fényforrást tartalmazó mérés

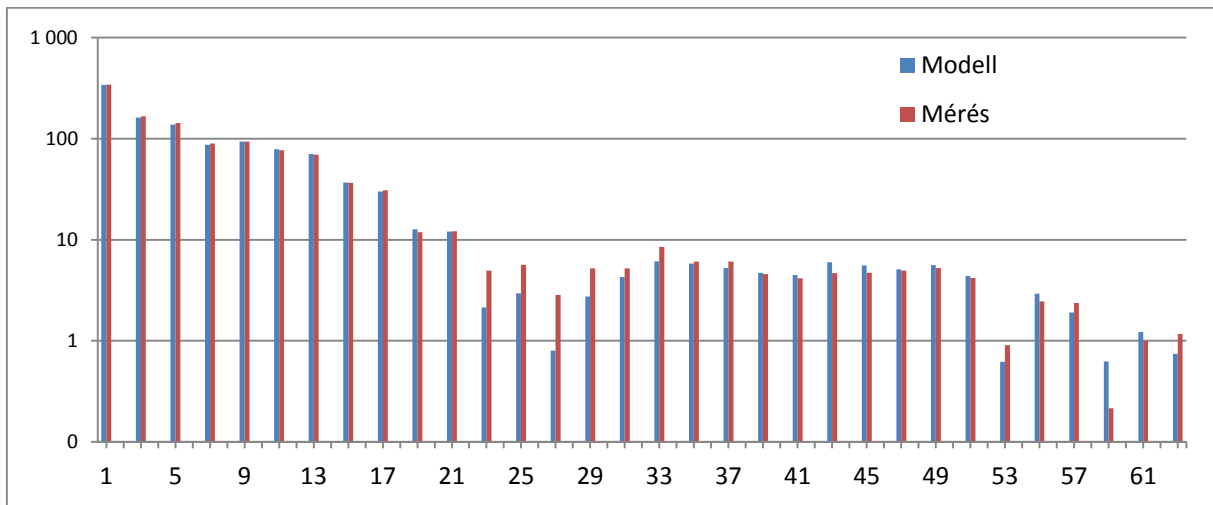
Az előzőekben bemutatott mérési elrendezéssel szemben ez a mérés kilenc különböző típusú fényforrást tartalmaz, amelyben vegyesen található led, illetve kompakt fényforrás. Az elrendezésben használt lámpatestek adatai és a mérésükhöz használt analóg árammérő kártya típusa látható az 5. táblázatban.

Lámpatípus		Transanal mérőkártya	
Neve	Teljesítménye	Típusa	Méréshatára
Osram Led	3 W	CP-01	100 mA
Pannon Electrical Led	4,5 W	CP-01	100 mA
UFO Led	4,2 W	CP-01	100 mA
Abcom Led	3,3 W	CP-01	100 mA
Pannon Electrical Led	4 W	CP-01	100 mA
Pannon Electrical Led	6 W	CP-01	100 mA
JDR Led	3,41 W	CP-01	100 mA
Philips kompakt	23 W	CT-05	0,5 A
Aurolite kompakt	26 W	CT-05	0,5 A

5. táblázat – Kilenc különböző fényforrást tartalmazó mérésnél használt fényforrások

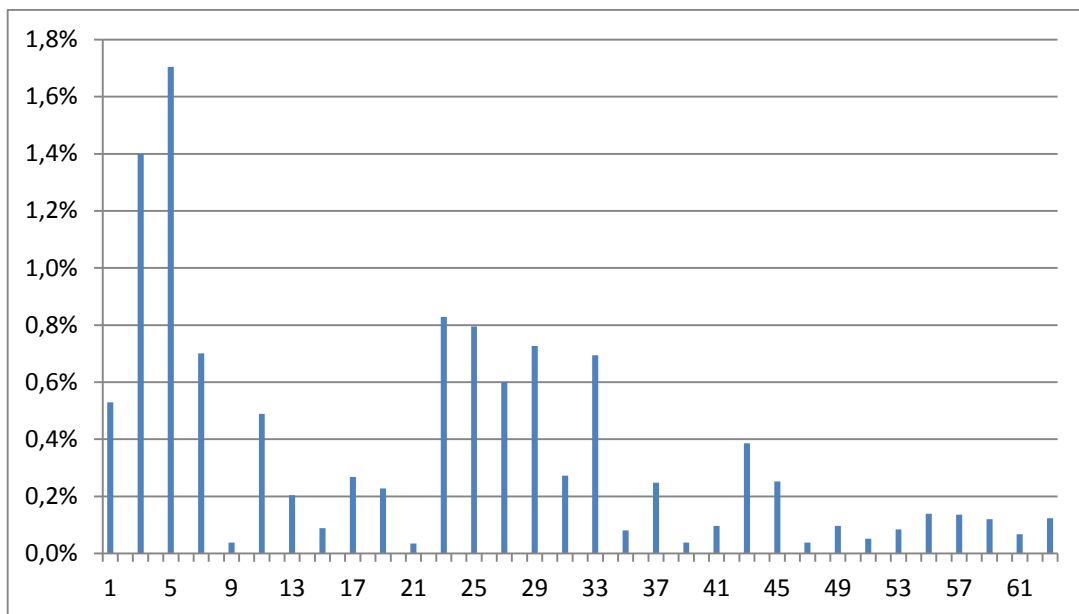
A mérés mente itt is megegyezik az előzőekben bemutatotthoz. Először mind a kilenc lámpatestet külön-külön rákapcsoltuk a 230 V-ra beállított változtatható feszültségforrásra és rögzítettük a harmonikusok spektrumát. Majd ezután a kilenc fényforrást egyszerre kapcsoltuk a változtatható

feszültségforrásra és mértük az eredő harmonikus spektrumot. Ezután a rendelkezésünkre álló kilenc darab lámpatest harmonikus spektrumából modelleztük az eredő harmonikus spektrumot és ezt hasonlítottuk össze a mért eredő harmonikus spektrummal.



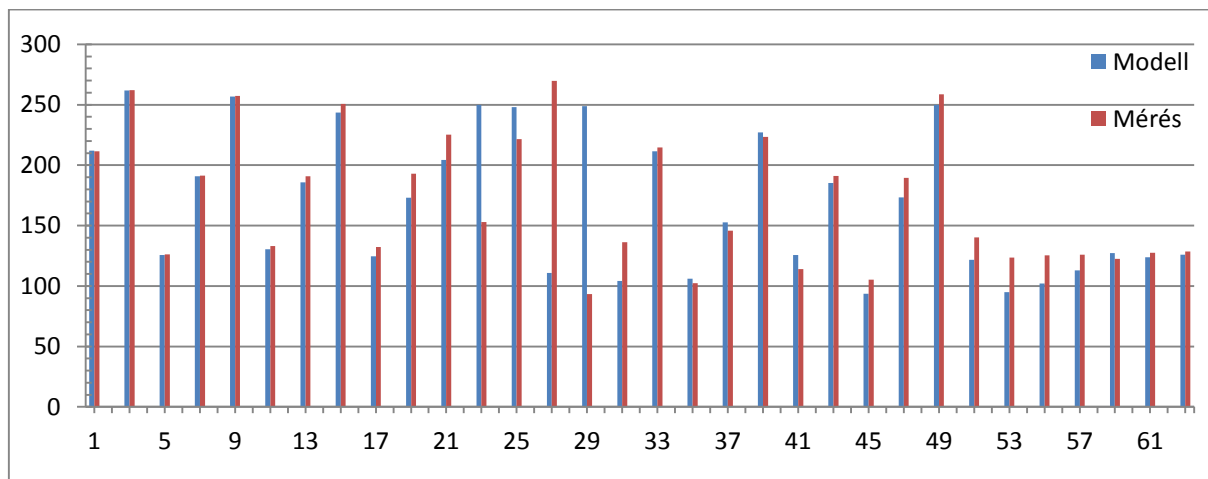
**20. ábra - A mért és a modellezett harmonikusok abszolútértékének összehasonlítása**

A 20. ábrán láthatjuk a mért és a modellezett harmonikusok abszolútértékének összehasonlítását, valamint a 21. ábra mutatja az adott modellezett harmonikus amplitúdó százalékos eltérést a mért alapharmonikus amplitúdójához képest. Ennél a mérésnél még jobban kijön az, amit az előzőleg bemutatott mérésnél már láttunk, miszerint a kisebb rendszámú harmonikusoknál az abszolút érték eltérés szinte elhanyagolható, ugyanis nem haladja meg a 2%-ot. A 20. ábrán látható, hogy a magasabb rendszámú harmonikusoknál nagyobb az eltérés a mért és a modellezett harmonikus amplitúdó között, de a 21. ábra alapján ezek százalékos viszonya az alapharmonikushoz képest még a 0,5 %-ot se éri el, ezért mondhatjuk, hogy a modell helyesen reprezentálja a valóságot, ami az amplitúdót illeti.



**21. ábra - Az adott modellezett harmonikus amplitúdó százalékos eltérése a mért alapharmonikus amplitúdójához képest**

Mint az előző mérésnél is tettük, most is vizsgáljuk meg a fázisszög egyezést. A fázisszögeket mutatja a 22. ábra. Itt is megfigyelhető az alapharmonikus és a kisebb rendszámú harmonikusok szinte tökéletes fázisszög egyezése. Magasabb rendszámú harmonikusoknál itt is látható eltérés, de ezek mértéke százalékosan szintén nem jelent túl nagy értéket.



**22. ábra - A mért és a modellezett fázisszögek**

Az előzőekben bemutatott két mérésből leszűrhetjük, hogy a modell igen nagyon pontossággal képes a valóságot szimulálni. Természetesen mivel a méréseinkhez a közcélú kisfeszültségű hálózatot használtuk, amin már eleve is jelen van különböző harmonikus torzítások, ezért nem is vártunk 100%-os egyezést a modell által szolgáltatott eredmény és a valóságban mért eredmények között.

## 6 Fogyasztói scenáriók bemutatása a minta háztartáson

Ebben a fejezetben célunk, hogy bemutassuk a lámpatest trendek változásának hatását a villamos energia hálózaton. Vizsgáltunk során négy különböző scenáriót (múlt, jelen, jövő és távoli jövő) feltételeztünk. Az első, a múlt scenárió során csak hagyományos wolfram szálas lámpatestek használatát feltételeztük. A második scenárió a jelen scenárió. Ennél a hagyományos lámpatestek mellett már megjelennek a kompakt fénycsövek, valamint a halogén lámpatestek. A harmadik, a jövő scenárió. Ennél a scenáriónál a kompakt fénycsövek kizárólagos használatát feltételeztük. A negyedik scenárió a távoli jövő, amelyben kizárólag ledes világítást tételeztünk fel.

### 6.1 Minta háztartás bemutatása, megfeleltetés

Első feladatunk egy háztartás felvétele volt, aminek segítségével figyelembe tudjuk venni a lámpatest trend változásának hatását. Ez a lakás a valóságban is egy létező lakás, amely öt helységből áll, található benne egy előtér, egy konyha, egy fürdőszoba, valamint két lakó szoba. A lakásban lévő lámpatest típusokat és ezek műszaki adatait mutatja az 6. táblázat.

Helyiség	Típus	Gyártó	Teljesítmény / db	Darab	Lumen / db	$\Sigma$ lumen	$\Sigma$ Teljesítmény
Konyha	Kompakt	Osram	8 W	2	440 lm	880 lm	16 W
	Hagyományos	Kanlux	40 W	1	415 lm	415 lm	40 W
Előtér	Kompakt	Osram	8 W	3	440 lm	1320 lm	24 W
Fürdő	Hagyományos	Tungsram	40 W	1	415 lm	415 lm	40 W
	Halogén	Tungsram	42 W	1	630 lm	630 lm	42 W
Szoba 1	Hagyományos	Tungsram	40 W	3	415 lm	1245 lm	120 W
	Kompakt	MasTec	22 W	1	1550 lm	1550 lm	22 W
	Kompakt	MasTec	9 W	1	450 lm	450 lm	9 W
Szoba 2	Halogén	Halopin	40 W	8	460 lm	3680 lm	320 W
	Hagyományos	Tungsram	40 W	1	415 lm	415 lm	40 W
							$\Sigma$ 673 W

6. táblázat - Minta háztartás beépített lámpatestei

Ahhoz, hogy a négy különböző scenárió modellezhetővé váljon, kell egy megfeleltetést végezni a lakásban beépítve lévő lámpatestek és a laboratóriumban rendelkezésre álló lámpatestek között. Ennek a megfeleltetésnek az alapja a lámpatestek által kibocsájtott fényáram, azaz a lumen érték. A megfeleltetésnél a következő három szempontot vettük figyelembe:

1. ha megfeleltethető azonos típusú lámpatesttel, akkor helyettesítsük azzal
2. lumen érték lehető legközelebb legyen a helyettesítendő lámpatest értékéhez, de fontos az is, hogy a mérésekkel alá lehessen támasztani a modell működését, ezért olyan típusokat választunk, amelyekből van elég a laborban a mérés elvégzéséhez

---

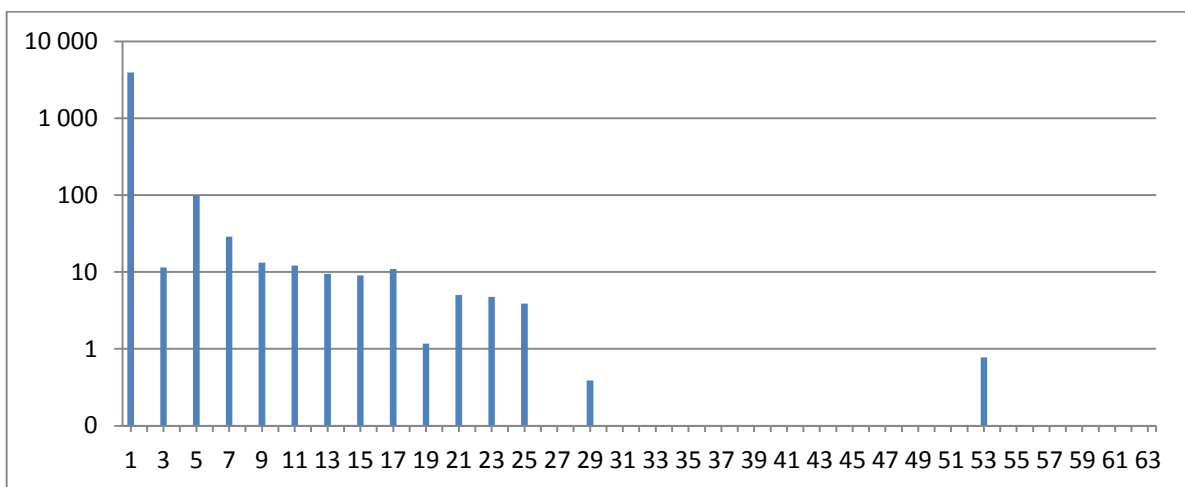
3. lednél elsősorban a meleg fehéreket alkalmazzuk

A fenti szempontok figyelembe vételével kaptuk meg a minta lakás négy scenáriónak megfelelő megfeleltetését. A részletes megfeleltetési táblázatok a F2. függelékben találhatóak meg.

## 6.2 Az egyes scenáriók hálózati visszahatásának modellezése

Miután a megfeleltetés megtörtént, nincs más dolgunk, mint a korábban bemutatott modell segítségével a négy scenárióra a modellezést elvégezni és megvizsgálni a különböző scenáriókra kapott eredményeket.

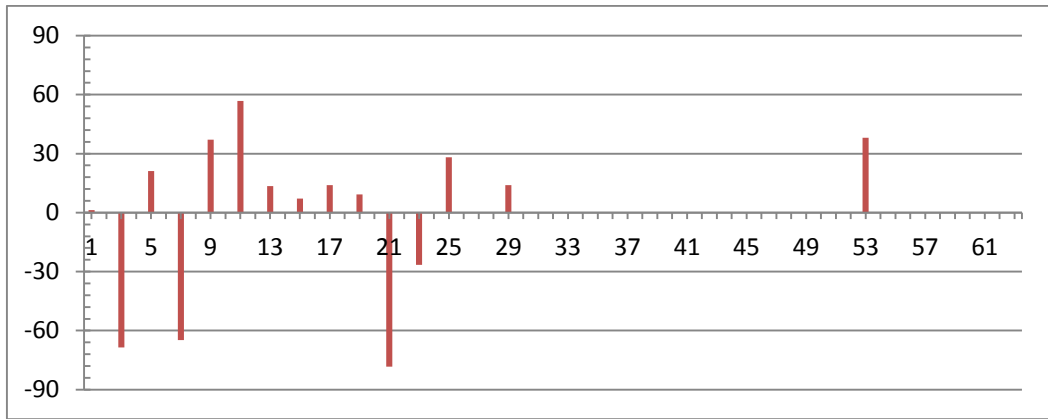
### 6.2.1 Múlt scenárió



**23. ábra - A múlt scenárió modellezett harmonikusainak abszolút értéke**

A 23. ábrán látható a csak hagyományos wolframszálas lámpatesteket tartalmazó scenárió eredő hálózati visszahatása. Mint azt már korábban bemutattuk, ezek a lámpatestek lineáris fogyasztók, azaz szinuszos feszültség hatására szinuszos áramot vesznek fel, nem termelnek felharmonikusokat. A méréseink során nem egy tökéletes szinuszos feszültséget biztosító feszültségforrást használtunk, hanem a hálózati feszültséget, ezért láthatók felharmonikus tartalom a 23. ábrán. Ugyanezzel az okkal magyarázható a 24. ábrán látható nem nulla fázisszögek.

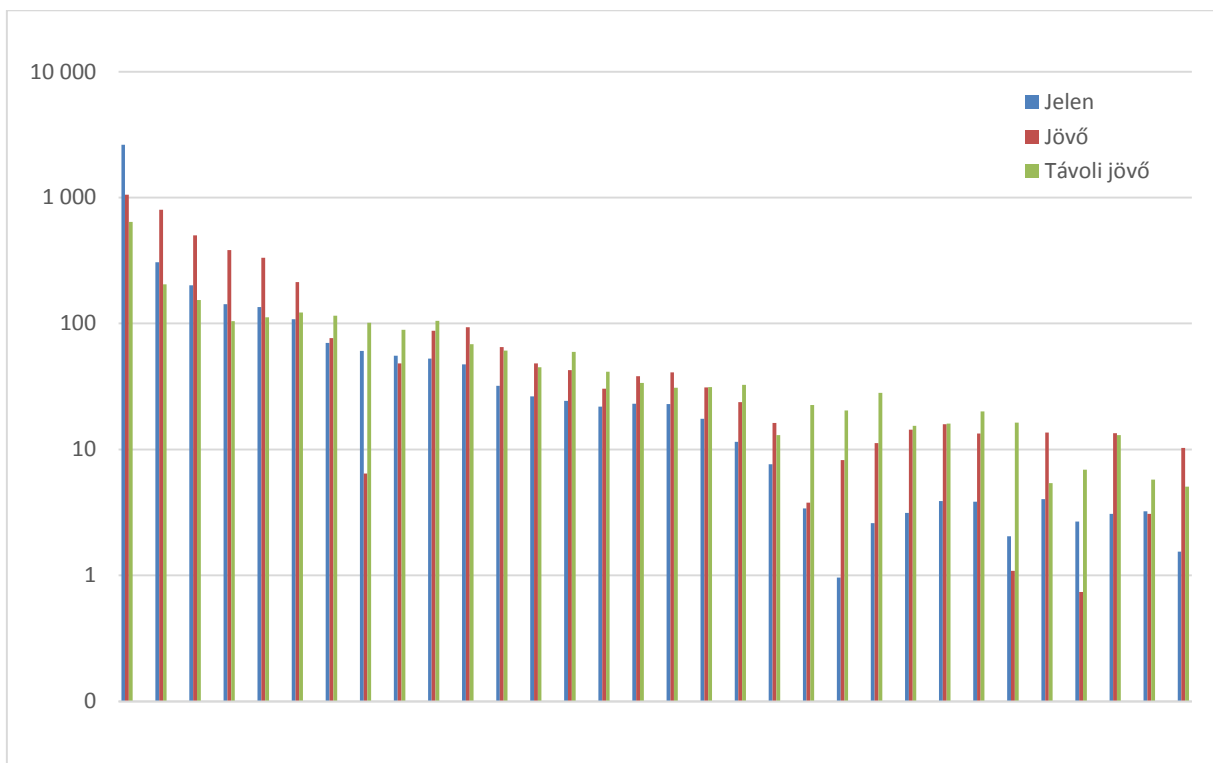




24. ábra - A múlt scenárió modellezett harmonikusok fázisszöge

### 6.2.2 Jelen, jövő és távoli jövő scenárió

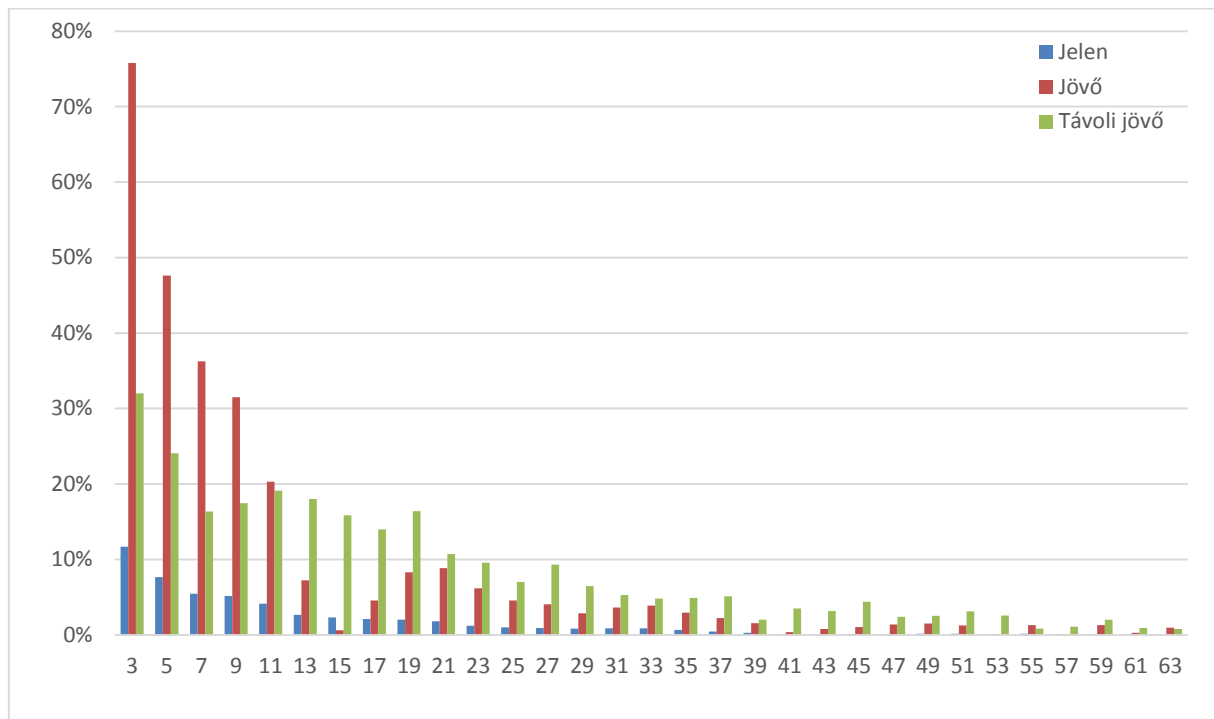
Rápillantva a 25. ábrán látható grafikonra egyértelműen látható, hogy míg a múlt scenárióban elvétve voltak magasabb rendszámú harmonikusok, addig itt megjelennek, illetve megfigyelhető az is, hogy ezek nagysága az alapharmonikus mellett már nem elhanyagolhatók.



25. ábra – Jelen, jövő és távoli jövő scenárió harmonikusainak abszolút értéke

Az egyes felharmonikusok amplitúdójának az alapharmonikus amplitúdójához való viszonyát mutatja a 26. ábra. Itt látható a különbség a jelen, jövő és távoli jövő között. Míg a jelen scenárióban a felharmonikusok amplitúdója a 3. harmonikust leszámítva nem haladja meg az alapharmonikus 10 %-át, addig például a jövő scenárió esetén a 3. harmonikus amplitúdója összemérhető nagyságú az alapharmonikus nagyságával. Ebből a grafikonból látható, hogy a jövő scenárió ígérkezik a villamos

hálózat szempontjából a legrosszabb esetnek, ugyanis itt a legnagyobb a 3., 5., 7. és 9. felharmonikus amplitúdója az alapharmonikus amplitúdójához képest. Ezek azok a felharmonikusok, amelyek leginkább veszélyeztetik a villamos hálózaton lévő védelmi készülékeket, illetve ezek okozzák a transzformátorok túlterhelődését. Ezért ezek ellen mindenképp védekezni kell harmonikus szűréssel.



**26. ábra – Felharmonikusok amplitúdójának %-os eltérése az alapharmonikus amplitúdójához képest**

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy az igen magas harmonikus tartalom miatt veszélyes a villamos hálózat szempontjából a kompakt fénycső és a ledes világítótestek. Amiben biztosak lehetünk, hogy a fogyasztói magatartás a jövőben a kevesebb villamosenergiát fogyasztó lámpatestek felé fog eltolódni. Abban az esetben, ha a gyártók nem képesek ezen magas felharmonikus tartalom ellen újításokkal a piacra lépni, a villamos hálózat igen komoly gondban lehet. Szükségessé válhat komoly felharmonikus szűrés kiépítése, valamint egyre nagyobb számban leválasztó transzformátorok alkalmazása a villamos hálózaton [2].

---

## 7 Összegzés, jövőbeli fejlesztési lehetőségek

---

Dolgozatunkban, a mai világban igen lényeges témával, mégpedig a kisfeszültségű fogyasztók, ezen belül is a világítótestek hálózati visszahatásával foglalkoztunk. Mint láthattuk, egy saját fejlesztésű modell segítségével próbáltuk meg ezen fogyasztók villamos hálózatra gyakorolt hatását modellezni. Megállapítható, hogy az általunk felállított feltételek betartásával a modell igen jó közelítést ad a valósághoz képest. Távlati céljaink közé tartozik, ezen közelítések enyhítése, hogy a valósághoz közelebb álló modellt kaphassunk.

Ennek érdekében a jövőben érdemes lehet a modellt megvizsgálni abban az esetben, ha a fényforrások táplálásaként nem a közcélú kisfeszültségű villamos hálózatot használjuk, hanem egy tökéletes, torzításmentes tápforrást biztosítunk. Hasonlóan érdekes vizsgálatokat végezhetünk különböző, előre beállított torzítottságú feszültség alkalmazásával is, így vizsgálni tudjuk azt, hogy a fogyasztók felharmonikus áramterhelése mennyire függ (vagy éppen független) a mögöttes hálózat feszültségtorzításától.

Ezen felül, mivel a modell jól szimulálja a világító testek által keltett áram torzítást, elméleti akadály nincs annak, hogy ne csak világító berendezések modellezésére használjuk, hanem akármilyen kisfeszültségű fogyasztóra, elsősorban egy háztartásban megtalálhatókra összpontosítva. Ezért távolabbi céljaink közé tartozik a modell ilyen irányú bővítése.

Egy érdekes vizsgálat lehet a fogyasztókra jellemző napi terhelési görbék vizsgálata és felhasználása a modellben. Ezáltal nem csak egy általunk modellezni kívánt esetet vizsgálhatnánk, hanem egy általános háztartás hálózati visszahatását vizsgálhatnánk 24 óra időtartamra.

---

## Irodalomjegyzék

---

[1] Harmonic emission before and after changing to LED and CFL – Part I: laboratory measurements for a domestic customer (S. K Rönnerberg, Student Member, IEEE, M.H.J. Bollen, Fellow, IEEE and M. Wahlberg)

[2] Dr. Dán András – Villamosenergia-minőség növelt rézkeresztmetszettel (Magyar Rézpiaci Központ kiadványa)

[3] Magyar Rézpiaci Központ – Villamosenergia-minőség – Alkalmazási segédlet (2001. március)

[4] Dán András, Hartmann Bálin, Kiss Péter – Hálózati áramellátás és feszültségminőség egyetemi jegyzet (2012)

[5] Transanal – Harmonikus spektrum, flicker és tranziens analizátor műszerkönyv (1997)

[6] A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői című MSZ EN 50160:2008-as szabvány

[7] Kuzmina Jekatyerina, Dr. Tamás Péter, Tóth Bertalan – Programozzunk Visual Basic rendszerben! (2006)

## F1 A modell használata

Ennek a függeléknek a célja, hogy az érdeklődők számára részletesen bemutassa az általunk fejlesztett modell működését.

### F1.1 Harmonikus spektrum tárolása

Az általunk készített modell alkalmas különböző kifestültségű lámpatestek együttes hálózati visszahatásának szimulációjára. A helyes működés alapja egy egységes adatbázis, ahol a szimulálni kívánt fogyasztók harmonikus spektruma egy előre jól definiált rend szerint van tárolva. Ezért a fejlesztés során az első feladatunk ennek a jól definiált rendnek a megalkotása volt. Ezt az adatbázist az excel fájlban belüli külön munkalap reprezentálja, amelynek a neve „Harmonikusok”. Annak érdekében, hogy a felhasználó feladatát a lehető legnagyobb mértékben megkönnyítsük egy makróval készítettünk, ami egy gomb megnyomásával futtatható le, és ami létrehozza ezt az előre definiált rendet, amelyben tárolni kell a különböző fogyasztók harmonikus spektrumát. Tehát ha a felhasználó egy új fogyasztóval szeretne szimulációkat végezni, akkor az első dolga, hogy ezen a „Harmonikusok” munkalapon belül rákattint az „Új alaptípus létrehozása” gombra, ami legenerálja neki az F1-1. ábrán látható sablont.

	Mért harmonikus abszolút értéke I[mA]	Mért fázisszög radiánban	Harmonikus fázisszöge a feszültséghez képest radiánban	Harmonikus komplex alakban	Harmonikus abszolút értéke	Harmonikus fázisszöge
Egyen			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9.			0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

F1-1. ábra - Harmonikus spektrum tárolására szolgáló sablon

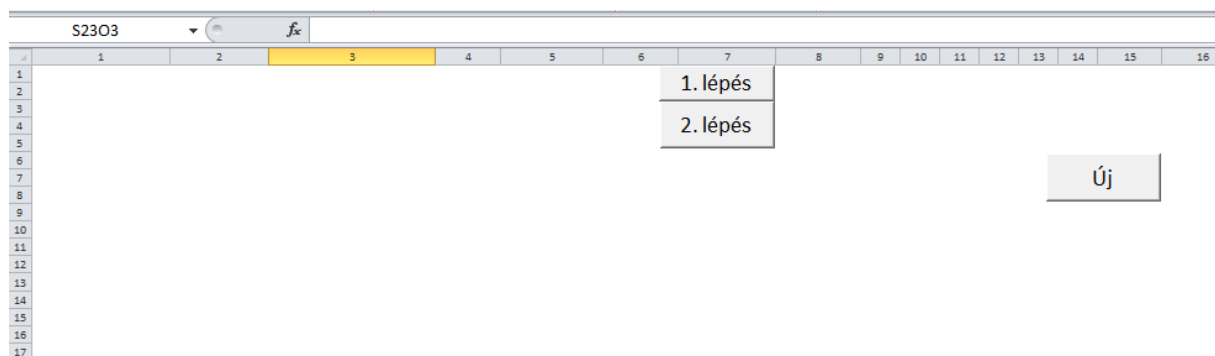
A sablon létrejötte után a felhasználónak semmi egyéb dolga nincs, mint a zöld háttérrel megjelölt cellákat kitölteni. Azaz a „Mért harmonikus abszolútértéke” oszlopot, valamint a „Mért fázisszög radiánban” oszlopot kitölteni az egyen komponenstől egészen a 63. harmonikusig. Bár az oszlopok elnevezésénél ügyeltünk az egyértelműsége, meg kell jegyezni, hogy a fázisszöget radiánban kell

---

megadni, míg az abszolút értéket milliampereben. Nagyon fontos, hogy minden fogyasztóra e mértékekben adjuk meg az értékeket, mert ha nem így teszünk, akkor a modell rossz eredménnyel fog visszatérni. Valamint szintén lényeges, hogy az adott adathalmaznak a felhasználó adjon egy hivatkozási nevet azzal, hogy a táblázat fölött található zöld sávot kitölti. Ennek a névnek a szimuláció futtatásakor szerepe lesz, ugyanis a program ennek a névnek a megtalálásával tud a fogyasztóra jellemző harmonikus spektrummal számolni. Ha ezen mezőket kitöltötte a felhasználó, akkor más dolga nincs, sikeresen bővített a szimulációra használható fogyasztók halmazát. Meg kell jegyeznünk, hogy azon cellák az adatbázisban, amelyeknek a háttere nem zöld, a felhasználók számára nem szerkeszthető, ezek tartalmát az excel önműködően szerkeszti és a szimuláció során használja tartalmukat.

## F1.2. Modellezés folyamata

Miután a felhasználó rögzítette a szimulációhoz szükséges fogyasztók harmonikus spektrumát, kezdődhet maga a szimuláció. Ehhez térjünk át az "Adatok" munkalapra. Itt a F1-2. ábrán látható kép fogad minket.

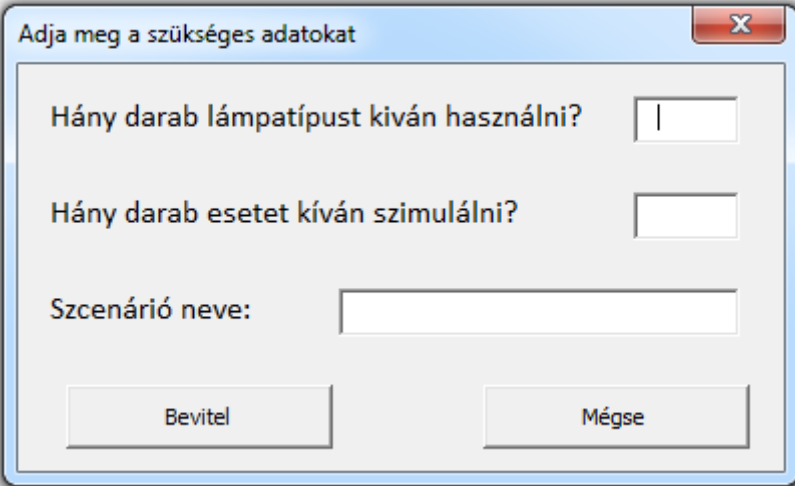


**F1-2. ábra – Adatok munkalap a modellezés kezdetekor**

A szimuláció kezdéséhez a felhasználónak nincs más dolga, mint az „1. lépés” gombra kattintania. Ekkor felugrik egy ablak, ahol a szükséges adatok adhatók meg (F1-2. ábra). Ebben az ablakban adhatjuk meg, hogy a modellezés során hány darab különböző lámpatípust kívánunk használni, hány darab esetet kívánunk szimulálni, illetve elnevezhetjük az adott scenáriónkat. Fontos megjegyezni, hogy az alap lámpatípusok számát és az esetszámot arab számok formájában kell megadni. Ha a felhasználó nem megfelelő formátumba adná meg az adatokat, akkor a program figyelmezteti erre, ami után a felhasználó megpróbálhatja még egyszer megadni az adatokat. A scenárió neve tartalmazhat arab számot, valamint a magyar ABC kis és nagybetűit.

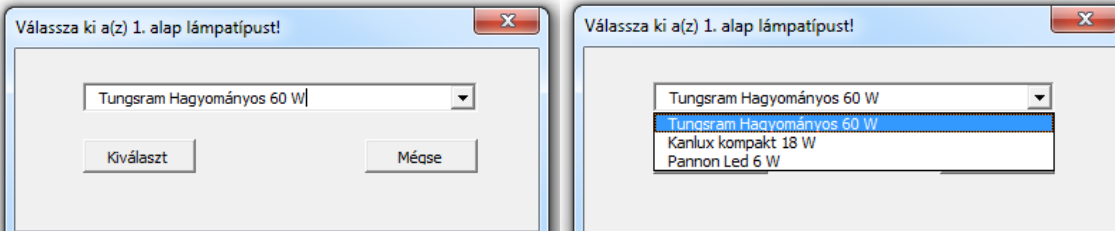
Mielőtt továbblépnénk a modell további ismertetésében, fontosnak tartjuk, hogy kitérjünk a különböző esetek magyarázatára. Jelen modell keretében egy általunk választott minta háztartáson

végezhetünk szimulációkat. Ez annyit jelent, hogy meg van határozva hét darab világító test csoport a lakáson belül (pl.: konyha, nappali csillár, hálószoba, stb.) és ezen világító test csoportnak állíthatjuk be az általunk használni kívánt lámpatestét és darabszámát. Az egyes esetekkel meg az próbáltuk reprezentálni, hogy az adott világító test csoport (pl.: előtér vagy fürdőszoba) éppen fel van e kapcsolva vagy épp nincs használatban, azaz le van kapcsolva. Tehát amikor megadjuk, hogy hány darab esetet kívánunk szimulálni, akkor azt adjuk meg, hogy a lakásban található lámpatest csoportok be- illetve kikapcsolt állapotának hány különböző variációját kívánjuk szimulálni.



**F1-3. ábra - Modellezés kiinduló adatainak megadására szolgáló ablak**

Rövid kitérő után térjünk vissza a modellezés folyamatára. Ha megadtuk a F1-3. ábrán látható adatokat, akkor továbbléphetünk azzal, hogy a „Bevitel” gombra kattintunk. Ennek a gombnak a megnyomása után egy újabb felugró ablak fogad minket (F1-4. ábra). Ebben az ablakban a „Harmonikusok” munkalapon megadott fogyasztó nevek alapján választhatunk ki annyi alap lámpatípust, amennyit az előzőekben megadtunk.



**F1-4. ábra – Alap lámpatípus kiválasztására szolgáló ablak**

Nincs más dolga a felhasználónak, mint a lenyitható ablakban kiválasztani a használni kívánt lámpatípust, majd a „Kiválaszt” gombra kattintani. Valamint ezt az eljárást annyiszor megismételni,

ahány különböző alap lámpatípust kíván használni. Ha ezzel végzet a felhasználó, az F1-5. ábrán látható táblázat generálódik számára.

Alap lámpatípusok száma	2	Név	
Scenario neve	TDK		
Esetszám	2		
Alap			
	Kanlux kompakt 18 W	18	
	Tungsram Hagyományos 60 W	60	
1	Konyha	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
2	Nappali csillár	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
3	Nappali olvasó	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
4	Előtér	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
5	Fürdőszoba	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
6	Hálószoba vill.	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	
7	Hálószoba olvasó	Kanlux kompakt 18 W	
		Tungsram Hagyományos 60 W	

1. lépés	1. eset	2. eset
Konyha		
Nappali csillár		
Nappali olvasó		
Előtér		
Fürdőszoba		
Hálószoba vill.		
Hálószoba		

Új	
----	--

**F1-5. ábra – Kiinduló adatok megadása után generálódó táblázat**

Mint az eddigiekben is, ebben a táblázatban is zöld háttérrel láthatjuk azokat a mezőket, amelyeket a felhasználó szerkeszthet. A bal felső sarokban (F1-5. ábra) látható két táblázat informatív jellegű a felhasználónak, itt láthatja az előzőekben megadott adatokat. Ezek alatt található táblázatban (F1-5. ábra) adhatja meg a felhasználó, hogy az egyes világító test csoportokban az alap lámpatestekből hány darab található. Ebben a táblázatban is az arab számok halmazát kell használnia a felhasználónak. Természetesen dönthet úgy is a felhasználó, hogy egy adott csoporton belül nem kíván egy vagy több alap lámpatípust használni, ebben az esetben vagy egy 0-t ír be a felhasználó, vagy elegendő, ha az adott cellát üresen hagyja. Miután kitöltésre került ez a táblázat, térjünk át a jobb oldalon látható táblázatra (F1-5. ábra). Ez a táblázat szolgál az előbbieken ismertetett esetek megadására. A felhasználónak annyi dolga van, hogy egy adott esetre, amelyik világító test csoportot be kívánja kapcsolni, oda beír egy arab egyest, amelyiket ki kívánja kapcsolni, oda beír egy arab nullát. Azzal, hogy a felhasználó „bekapcsolja” az adott lámpatest csoportot, a program szimulálni fogja ennek hatását. Ha „kikapcsolja”, abban az esetben figyelmem kívül hagyja a program ezt a csoportot.

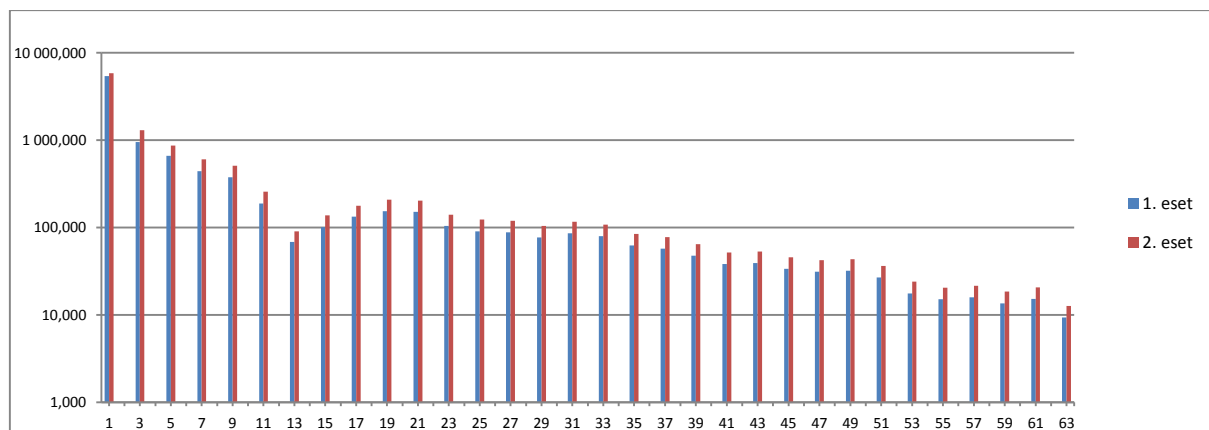
Miután a felhasználó kitöltötte mind két táblázat megfelelő celláit, nincs más dolga, mint a „2. lépés” gombra kattintani. Ezt megnyomva lefut egy makró, ami elvégzi a számításokat és generál egy új munkalapot, amelynek neve megegyezik a modellezés legelején megadott szcenárió nevével. Ezen a munkalapon egyrészt látható a felhasználó által kitöltött, 20. ábrán látható táblázatok, valamint látható az egyes esetekre az egyen komponenstől egészen a 63. harmonikusig az eredő harmonikus spektrum (F1-6. ábra). Ebben a táblázatban a harmonikus abszolút értéke milliampereben, a fázisszöge fokban értendő. A táblázaton felül a makró szerkeszt egy grafikont is (F1-7. ábra), ami sokkal szemléletesebben mutatja a különböző rendszámú harmonikusok abszolút értékének viszonyát.



	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	1. eset					2. eset				
Sorszám	Valós rész	Képzetes rész	Abszolút érték	Fázisszög	Sorszám	Valós rész	Képzetes rész	Abszolút érték	Fázisszög	
1	5 353,323	626,221	5 389,825	6,672	1	5 768,236	828,341	5 827,409	8,172	
2	0,000	0,000	0,000	0,000	2	0,000	0,000	0,000	0,000	
3	212,674	928,503	952,548	77,099	3	288,629	1 260,112	1 292,744	77,099	
4	0,000	0,000	0,000	0,000	4	0,000	0,000	0,000	0,000	
5	-592,397	289,112	659,181	-26,014	5	-764,444	403,337	864,323	-27,817	
6	0,000	0,000	0,000	0,000	6	0,000	0,000	0,000	0,000	
7	-308,718	-316,826	442,363	45,743	7	-413,060	-440,261	603,696	46,826	
8	0,000	0,000	0,000	0,000	8	0,000	0,000	0,000	0,000	
9	162,597	-339,100	376,067	-64,382	9	224,355	-457,723	509,751	-63,888	
10	0,000	0,000	0,000	0,000	10	0,000	0,000	0,000	0,000	
11	187,587	-7,733	187,747	-2,361	11	256,421	-6,994	256,516	-1,562	
12	0,000	0,000	0,000	0,000	12	0,000	0,000	0,000	0,000	
13	-51,028	45,964	68,677	-42,012	13	-65,795	62,359	90,651	-43,464	
14	0,000	0,000	0,000	0,000	14	0,000	0,000	0,000	0,000	
15	-31,143	-95,918	100,847	72,012	15	-45,718	-129,994	137,799	70,624	
16	0,000	0,000	0,000	0,000	16	0,000	0,000	0,000	0,000	
17	128,774	-36,051	133,725	-15,640	17	169,904	-49,823	177,058	-16,343	
18	0,000	0,000	0,000	0,000	18	0,000	0,000	0,000	0,000	
19	72,255	135,911	153,924	62,003	19	98,061	184,451	208,897	62,003	
20	0,000	0,000	0,000	0,000	20	0,000	0,000	0,000	0,000	
21	-96,261	115,943	150,695	-50,299	21	-130,652	154,883	202,629	-49,851	
22	0,000	0,000	0,000	0,000	22	0,000	0,000	0,000	0,000	
23	-90,085	-52,681	104,358	30,319	23	-120,109	-72,710	140,403	31,189	

F1-6. ábra – Eredő harmonikus spektrumot megadó táblázat

Ennek a munkalapnak a szerkesztése a felhasználó számára le van tiltva. Ezáltal, ha módosításokat szeretne végezni, akkor azt csak az „Adatok” munkalapon tudja elvégezni.



F1-7 ábra – A modellezett harmonikusok abszolút értékének összehasonlítása

Ezzel a szimuláció végére értünk. Ha a felhasználó az egy új, más paraméterekkel rendelkező szimulációt szeretne futtatni, akkor nincs más dolga, mint az „Adatok” munkalapon megnyomja az „Új” gombot és kezdi előlről a folyamatot az „1. lépés” gomb megnyomásával.

## F2 Szenárió megfeleltetések táblázatai

Ebben a függelékben található a 6.1. fejezetben részletezett szenárió megfeleltetések eredményei.

Helyiség	Eredeti lumen érték	Megfeleltetett lámpatest	Darab	$\Sigma$ lumen	$\Sigma$ Teljesítmény
Konyha	880 lm	Tungsram 40 W	2	830 lm	80 W
	415 lm	Tungsram 40 W	1	415 lm	40 W
Előtér	1320 lm	Tungsram 60 W	2	1420 lm	120 W
Fürdő	415 lm	Tungsram 40 W	1	415 lm	40 W
	630 lm	Tungsram 60 W	1	710 lm	60 W
Szoba 1	1245 lm	Tungsram 40 W	3	1245 lm	120 W
	1550 lm	Tungsram 60 W	1	1420 lm	60 W
	450 lm	Tungsram 40 W	1	415 lm	40 W
Szoba 2	3680 lm	Tungsram 60 W	5	3550 lm	300 W
	415 lm	Tungsram 40 W	1	415 lm	40 W
					$\Sigma$ 900 W

F2-1. táblázat - A múlt szenárió megfeleltetése (csak hagyományos)

Helyiség	Eredeti lumen érték	Megfeleltetett lámpatest	Darab	$\Sigma$ lumen	$\Sigma$ Teljesítmény
Konyha	880	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
	415	Tungsram 40 W hagyományos	1	415 lm	40 W
Előtér	1320	Osram 23 W kompakt	1	1500 lm	23 W
Fürdő	415	Tungsram 40 W hagyományos	1	415 lm	40 W
	630	CMI 35 W halogén	1	550 lm	35 W
Szoba 1	1245	Tungsram 40 W hagyományos	3	1245 lm	120 W
	1550	Osram 23 W kompakt	1	1500 lm	23 W
	450	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
Szoba 2	3680	CMI 35 W halogén	7	3850 lm	245 W
	415	Tungsram 40 W hagyományos	1	415 lm	40 W
					$\Sigma$ 602 W

F2-2. táblázat - A jelen szenárió megfeleltetése (hagyományos, halogén és kompakt)

Helyiség	Eredeti lumen érték	Megfeleltetett lámpatest	Darab	$\Sigma$ lumen	$\Sigma$ Teljesítmény
Konyha	880	Philips 23 W kompakt	1	1150 lm	23 W
	415	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
Előtér	1320	Osram 23 W kompakt	1	1500 lm	23 W
Fürdő	415	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
	630	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
Szoba 1	1245	Philips 23 W kompakt	1	1150 lm	23 W
	1550	Aura Light 26 W kompakt	1	1800 lm	26 W
	450	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
Szoba 2	3680	Aura Light 26 W kompakt	2	3600 lm	52 W
	415	Kanlux 18 W kompakt	1	1080 lm	18 W
					$\Sigma$ 237 W

F2-3. táblázat - A jövő szcenárió megfeleltetése (csak kompakt)

Helyiség	Eredeti lumen érték	Megfeleltetett lámpatest	Darab	$\Sigma$ lumen	$\Sigma$ Teljesítmény
Konyha	880	Conlight 6 W	2	740 lm	12 W
	415	Pannon led 4 W	1	380 lm	4 W
Előtér	1320	Pannon led 6 W	2	1300 lm	12 W
Fürdő	415	Pannon led 4,5 W	1	380 lm	4,5 W
	630	Conlight 4 W WW	3	630 lm	12 W
Szoba 1	1245	Pannon led 6 W	2	1300 lm	12 W
	1550	Conlight 6 W	4	1480 lm	24 W
	450	Pannon led 4,5 W	1	380 lm	4,5 W
Szoba 2	3680	Pannon led 6 W	6	3900 lm	36 W
	415	Pannon led 4,5 W	1	380 lm	4,5 W
					$\Sigma$ 125,5 W

F2-4. táblázat - A távoli jövő szcenárió megfeleltetés (csak led)