https://doi.org/10.70750/GEP.2024.2.6

ELEKTROMOS TRANZIENSEK IPARI LÉTESÍTMÉNYEKBEN

ELECTRICAL TRANSIENTS IN INDUSTRIAL FACILITIES

Kovács Attila, Somogyiné Molnár Judit**, Jármai Károly ****

ABSTRACT

One of the greatest challenges of the 21st century is to protect our control, regulation and data storage units used in automated, robotic manufacturing from the consequences of electrical power disturbances. However, for prevention, it is essential to accurately identify the causes of these often-stochastic failures. It is often difficult to detect the fault phenomenon itself since it frequently can't be explained by the classical approach. Most often, the cause of momentary, short-term outages is identified as a voltage failure in the internal electrical network of the power utility or industrial installation, which can be a wrong conclusion. One of the possible causes of intangible voltage sags may be the presence of harmful electrical grid harmonics. Potential sources of harmonic disturbances are electronic power controls, LED light sources, various speed controls for electric motors, and charging equipment for the increasingly popular electric vehicles. Problems caused by harmonics are generally: distortion of power supply waveforms, resonance risks in systems at high frequencies, failure of sensitive electronics, PLC and CNC devices, malfunctions in protection and control systems, overheating in electric motors and transformers.

1. BEVEZETÉS

A korszerű és hagyományos ipari termelő egységek belső villamos hálózatai tekintetében a megszakításmentes ellátás biztosításán kívül a villamosenergia minősége is kiemelt jelentőségű a gépek, berendezések folyamatos üzemkészségéhez egyaránt. Azokban a gyárakban, ahol a legújabb gyártósorokat üzemeltetik, ott elsősorban elektronikus hajtás szabályozásokat, LED csarnok világításokat, programozható logikai vezérlőket (Programmable Logic Controller - PLC) és mikrokontrolleres vezérlőket, robot és kobot cellákat, számítástechnikai eszközöket alkalmaznak. Ezért az esetlegesen még használatban lévő hagyományos villamos gépek, melyeknek a meddőenergia felvételük tisztán induktív, a csekély számú alkalmazásuk miatt már nem képesek kompenzálni a kapacitív meddő fogyasztást, így kapacitív jellegű lesz a létesítmény fogyasztása. Kapacitív meddőenergia fogyasztók közé tartoznak a kondenzátor telepek is. A megnövekedett kapacitív meddőnek van egy másik veszélye, megnöveli a transzformátorok szekunder, így a belső hálózat feszültségét is. Ezek a túlfeszültségek pedig veszélyt jelentenek, emellett a teljesítményelektronikai alapú eszközök nem lineáris jellegű fogyasztói terhelésként való megnövekedett használata miatt a belső villamos hálózatokban a kapacitív (fordított) meddőteljesítmény-áramlás és a harmonikus áramok injektációjának problémájával is szembesülünk. Közismert, hogy a felsorolt, úgynevezett nem lineáris működésű elektronikus berendezéseknek szinuszhullám módosító hatása van, az áramfelvételük nem szinuszos. Az eltorzult jelalakok hibákat eredményezhetnek, felharmonikusok jelennek meg, például a tápfeszültség hullámalak torzulása és magas frekvenciákon rezonancia kialakulása a rendszerekben. Továbbá az érzékeny elektronikai eszközök, PLC és CNC (Computer Numerical Control) vezérlések is tönkre mehetnek, informatikai eszközök esetében pedig adatvesztések, a védelmi és vezérlőrendszerek hibás megszólalása, a villanymotorok túlmelegedése, energia fogyasztásuk megnövekedése. A transzformátorokban normál körülmények között tiszta szinuszhullám van, mind áram, mind feszültség tekintetében, melyek a harmonikusokat tartalmazó rendszerekben torzulást szenvednek [1]. A hálózatanalízis egyértelműen megmutatja a villamos hálózatokban előforduló felharmonikus tartalmat, mind feszültség, mind áram esetében. A harmonikusok megjelenésével az induktív meddő kompenzálását végző kondenzátor telepeknek új veszélyforrásai jelentek meg, a kondenzátorok árammal való túlterhelése, valamint a kapacitások és a (villamos) környezetükben lévő induktivitások párhuzamos rezonanciája [2]. A fentiek miatt a gépek és berendezések védelme érdekében szükségessé vált az energia ellátásukat biztosító villamos hálózat harmonikus tartalmának, illetve az adott berendezések áram felharmonikus kibocsájtásának analízise [3]. A CE

** PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék*

*** PhD Egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Fizikai és Elektrotechnikai Intézet, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézeti Tanszék*

**** DSc Egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék*

minősítés megszerzéséhez szükséges a felharmonikus kibocsájtás mérése. A cikkben bemutatott mérési eredmények hozzájárulnak a káros harmonikusok kiszűrése érdekében a szükséges intézkedések meghozatalához.

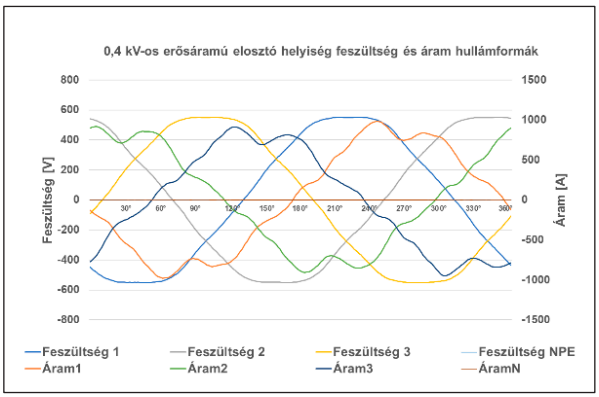
2. VILLAMOS ENERGIA ANALÍZISE

Az analízis képes kimutatni a villamosenergia-ellátás minőségét, zavarait (teljes harmonikus torzítás, feszültségletörések, flicker, aszimmetriák stb.), a villamos gép és a kapcsolt elektromechanikai részek tranziens jellegű terheléseit, harmonikus injektálását és bármilyen típusú, kivitelű, teljesítményű és üzemmódú gép, berendezés és eszköz esetén könnyen elvégezhető. Az elvégzendő hálózatanalízis nem zavarja a termelési folyamatokat, amely fontos egy ipari termelőegység esetében. A villamos elosztó helyiségekben, vagy a gépen lévő villamos vezérlő szekrényekben, illetve a berendezés villamos betáplálási pontján egyszerűen elvégezhető, nincs szükség fizikai hozzáférésre sem a villamos géphez, sem a kapcsolt géprendszerhez. Fontos, hogy az áramváltók és feszültségmérő csipeszek felhelyezésénél be kell tartani a munkabiztonsági előírásokat. Adott villamos elosztó helyiség analízise esetén ugyan nem tudjuk mely csatlakoztatott gép termelheti a harmonikus zavarokat, de lehetőségünk van az elosztó helyiség közül kiválasztani a leginkább szennyezettet és azon belül mérni a berendezéseket. Ebben a konkrét esetben több gyártócsarnok van és csarnokonként több villamos elosztó helyiség is található. A mérést HT PQA824 típusú hálózat analizátorral végeztük el [4]. Az analizátor főbb jellemzői: regisztrálás MIN/MAX/AVG, feszültség anomáliák észlelése, felharmonikus analízis, patch elemzés, villogás analízis, nagysebességű feszültség tranziensek rögzítése 5,5 µs-tól, bekapcsolási áramok rögzítése. A műszer paraméterezése a magyarországi forgalmazó által készített használati útmutató [5] alapján, míg a rögzített adatok kiolvasás a HT Italia Topview 2.2.2.3 verziójú szoftverével történt [6]. A mérés mintavételezéssel történt, mintát vettünk a berendezések adott pillanatban mérhető feszültség és áram értékeiből, ezek az értékek MDB (Microsoft Access Database) fájlként kerülnek lementésre. Az analizátor mérésadatgyűjtő szoftverének grafikus megjelenítése ezeket az adatokat dolgozza fel. Sajnos igen gyenge felbontású és minőségűek a grafikonok, ezért csak tájékoztató jelleggel használhatóak fel a mérési eredmények, mert az adatok pontos elemzése lehetetlen ezzel a metódussal. A mérési eredmények jobb átláthatósága érdekében a mért értékeket tartalmazó MDB fájlokat Microsoft Access adatbázis kezelő segítségével Excel táblázatba ki lehetett exportálni. A feszültség és áram hullámformák egyszerű grafikus megjelenítéssel lettek ábrázolva. Viszont az áram-hullámformák esetén a harmonikus áram-amplitúdó összetevők, vagyis a jelek spektrumának meghatározása már FFT transzformációval valósult meg. Így az értékek tetszésszerinti harmonikus rendig megjeleníthetőek. A transzformáció segítségével előállított alapharmonikusra vonatkoztatott értékek a táblázatból nyolc tizedesjegy-pontosságig olvashatóak le. Az exportált adatokból ki lett számolva a fázisonkénti maximum és négyzetes középérték (Root Mean Square - RMS) áram értéke, illetve az adott fázis áramára vonatkoztatott teljes harmonikus torzítás (Total Harmonic Distortion - THD). A mérés során más-más időpillanatban több mintavételezés is történt, a mérések pontosan katalogizálásra kerültek a hely, a mérés pontos időpontja és a mérési körülmények megadásával. Elmondható, hogy szinte sosem kaptuk ugyanazt az eredményt, ami azzal magyarázható, hogy egy villamos hálózaton a hálózatra kapcsolt fogyasztók hatással vannak egymásra, villamos jelformáló hatásuk van, ezért a lezáró impedanciák értéke folyamatosan változik. Sajnos ez reprodukálhatóság szempontjából hátrányos, hiszen olyan sok változó szerepel a rendszerben, hogy azokat lehetetlen többször ugyanúgy beállítani. Ráadásul a fogyasztók villamos paraméterei a mechanikai állapotuktól is függenek, amely az elhasználódás mértékétől függően megváltozik. A mérések során szétválasztottuk a terhelési állapotokat, azaz a berendezések terhelés nélküli és terhelt állapotai szerint csoportosítottuk a méréseket.

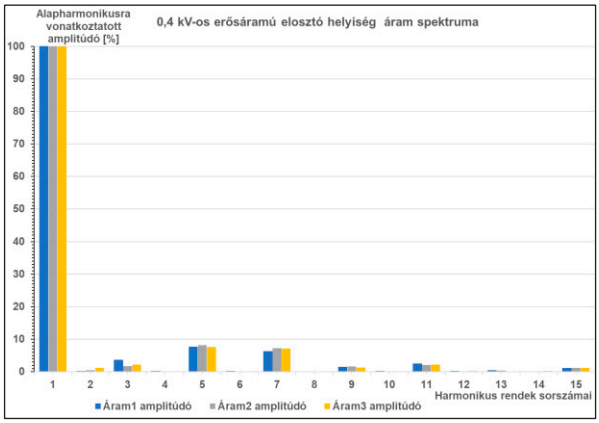
2.1. A belső villamos elosztóhálózat vizsgálata

A belső villamos hálózatanalízisére a szabványban rögzített értéket meghaladó harmonikus torzítást okozó termelő berendezések és világító testek kiszűrése miatt van szükség. A belső hálózatot több csatlakozási ponton is meg kell mérni, hogy beazonosíthassuk azokat a gépcsoportokat, melyek szennyezhetik a hálózatunkat. Ezeket a méréseket a fő- és alelosztó-hálózat terhelt és terheletlen állapotában is el kell végezni, mert így kaphatunk pontos képet az adott berendezés csoportoknak a villamos energia minőségére gyakorolt konkrét hatásáról. A mérési eredmények összehasonlítása érdekében a méréseket egy modern és egy hagyományos gyárban is elvégeztük. Elsőként egy hagyományos gyár erősáramú villamos elosztó helyiségét vizsgáltuk, törekedtünk a méréseket egy maximális terhelés közeli állapotban elvégezni. A mérési eredményeket az *1. ábrán* láthatjuk. Megállapíthatjuk, hogy az áram és feszültség szinuszhullámainak torzulása nem tekinthető jelentősnek, de az áram jelalakja jelzi a harmonikusoknak a jelenlétét. Ha megvizsgáljuk a *2. ábrán* lévő áramok spektrumát, akkor észrevehető, hogy az ötödik és hetedik felharmonikusok értéke közel 10%, ami jelentősnek mondható. A teljes harmonikus torzítás (Total Harmonics Distortion - THD) érték közel 13,78 %,

ami magas az IEEE 519-2022 [7] szabvány szerinti javasolt 5%-hoz képest. Az MSZ EN 61000-3-12, vagy IEC 61000-3-12 szabványt itt nem használhatjuk, mert azt egy termék laboratóriumi körülmények közötti vizsgálatára kell alkalmazni, míg az IEEE 519 szabvány a berendezések telepítésekor ajánl maximális megengedett feszültség és áramtorzítási értékeket. A méréseket azon a közös csatolási ponton (Point of Common Coupling – PCC) kell elvégezni, amire a berendezést csatlakoztattuk. Az IEEE 519-2022 szabvány az áram teljes harmonikus torzításának megengedett maximális értékét a teljes áram-igény szerinti harmonikus torzítás (Total Current Demand Distortion - TDD) értékével adja meg, amely a közös villamos hálózati csatlakozási pont (Point of Common Coupling – PCC) zárlati áramának (I_{SC}) és az adott eszköz terhelő áramának (I_L) arányától függ. Ez az arány most 2200 A/571 A=3,85, ami <20, ezért a megengedett torzítás csupán 5%. A páratlan harmonikusok szabvány által megengedett torzítása a 11. rendig, frekvencia értékenként 4%, de esetünkben az 5. és 7. felharmonikusnál 7,63% illetve 6,29% adódott. Ahogy korábban már említettük, ez a torzítás komoly meghibásodásokat okozhat a berendezések elektronikai egységeiben. A mérések alapján az is megállapításra került, hogy a közös elosztó pontra csatlakoztatott villamos fogyasztók között jelentős áram-hullámforma torzítást okozó gépek berendezések lehetnek, melyeket azok célzott analízisével lehet kiszűrni. A következőkben terjedelmi okokból, ezeknek a célzott vizsgálatoknak csak egy szignifikáns része kerül bemutatásra.



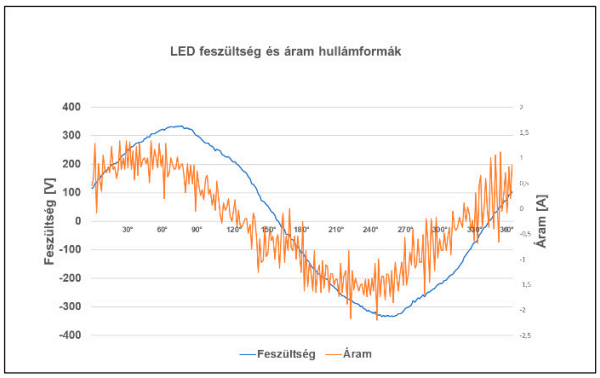
1. ábra Elosztó helyiség torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján



2. ábra Elosztó helyiség áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

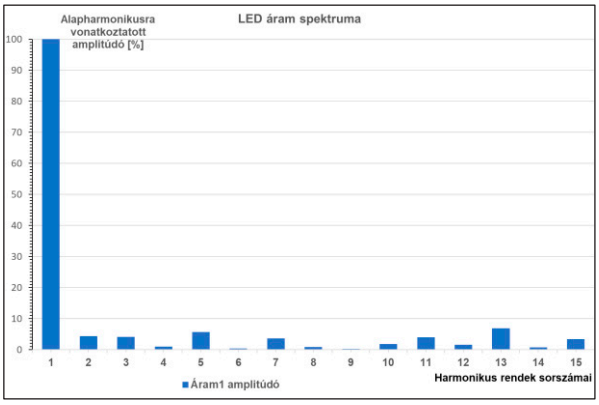
2.2. Csarnokvilágítás vizsgálata

Manapság szinte minden ipari létesítményben, csarnokokban és irodákban egyaránt, de már a munkatér megvilágítások esetén is LED-es megvilágítást alkalmazunk. Prognosztizálható, hogy ezek a villamos fogyasztók is komoly hatással lehetnek a villamos hálózatunk villamos energia minőségére [8] [9]. Hogy milyen mértékben, azt ebben az esetben is hálózatanalízissel vizsgáltuk meg, egyetlen LED lámpatest és egy teljes csarnok világítás betáplálási ponton való mérésével. Elsőként 1 darab 230 V 140 W villamos teljesítményű LED lámpatestet vizsgáltunk meg. A 3. ábra alapján elmondható, hogy a feszültség jelalakja szinte tiszta szinuszos, de az áram torzulása jelentős mértékű.



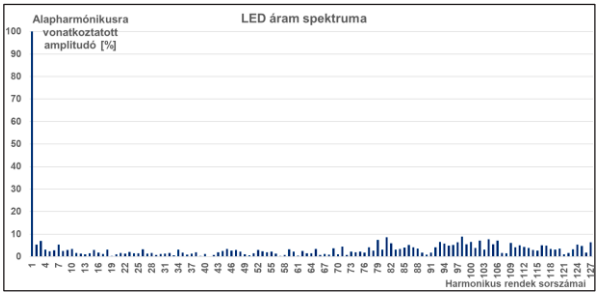
3. ábra LED lámpatest torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján

A 4. ábra mutatja az áram spektrumát. A teljes harmonikus torzítás (Total Harmonics Distortion - THD) érték 16,14 % a megengedett 5 % helyett. Az 5. és 13. felharmonikusok értéke a szabványban megengedett 4% helyett 5,61 % és 6,79 %.



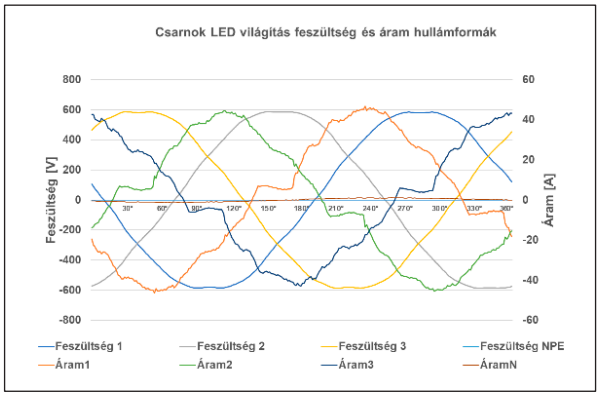
4. ábra LED lámpatest áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

Mivel az áram jelalakja ebben az esetben is jelzi, hogy magasabb frekvenciákon is vannak kibocsájtások, ezért megvizsgáltuk a szupraharmoniikus tartományban (2 kHz - 150 kHz) is az áram spektrumát, mely az 5. ábrán látható. A 79. rendtől (3,95 kHz) a 127. (6,35 kHz) megközelíti, sőt sok esetben meg is haladja a 7 %-os alapharmonikusra vonatkoztatott amplitúdónak a nagyságát. Ez a 7 % a 3 - 15 rendek amplitúdóitól is magasabb, ez azért lényeges mert a gyakorlatban 15. felharmonikus rend felett már nem vizsgálják a berendezések harmonikus szennyezését. A mérési eredményekből a grafikonok alapján valószínűsíthetjük, hogy vagy nincs benne, vagy nem hatékony a harmonikus szűrő. A mérést egy és két LED lámpatest esetén is elvégeztük, a jelalakokban különbségek nem voltak.

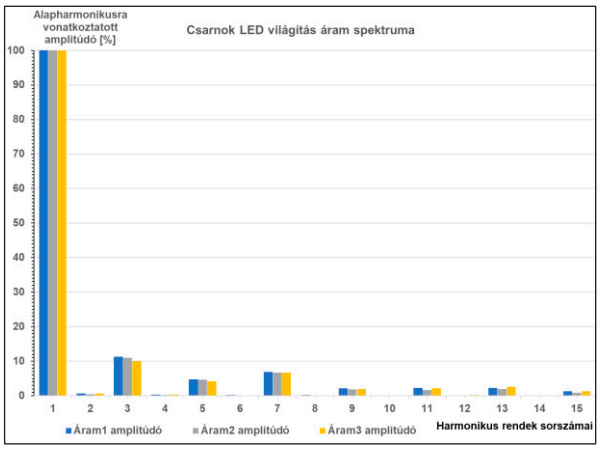


5. ábra LED lámpatest áram-hullámformájának szupraharmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján.

Teljes gyártóterület megvilágítása esetén a *6. ábrán* egy olyan csarnok mérési eredményét láthatjuk, ahol 400 darab 140 Wattos villamos teljesítményű lámpatest lett felszerelve, összesen 56 kW maximális hatásos villamosteljesítmény felvétellel. Az ábra alapján elmondható, hogy a feszültség jelalak szinte tiszta szinuszos és az áram torzulása sem jelentős viszont, ha megvizsgáljuk a *7. ábrán* látható áram spektrumot, a 3. és 7. felharmonikusok értéke a 11. harmonikusig a szabványban megengedett 4% helyett 11,24% és 6,86%.



6. ábra Csarnok LED világítás torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján



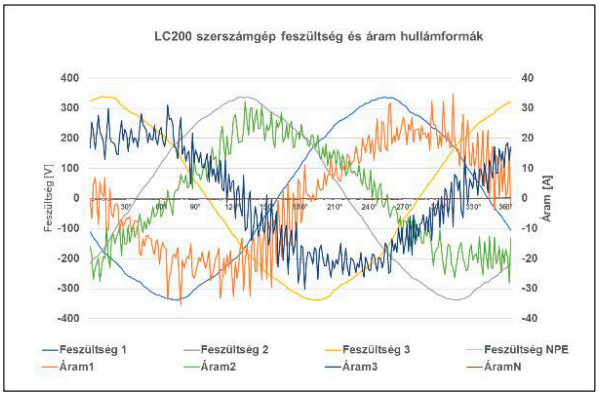
7. ábra Csarnok LED világítás áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

Ha összehasonlítjuk az egyedi és a csoportos LED csarnokvilágításokat, akkor láthatjuk a szembeötlő különbségeket, 400 darab LED lámpatest esetén nem jelentkeznek azok a harmonikus torzítások, amik egy darab esetén. Erre az lehet a magyarázat, hogy az 1,6 MVA teljesítményű, I_{SC} 2300 A zárlati áramú közös csatolási ponton (PCC) mértünk és mivel még nem voltak berendezések telepítve abba a gyártó csarnokba, így erre a pontra az 56 kW, 80 A LED világítás villamos terhelésnek csekély szinuszhullám torzító hatása volt. Többek között ezért is rendelkezik úgy az IEEE 519-2022 szabvány ajánlás, hogy az áram teljes harmonikus torzításának megengedett maximális értékét a teljes áram-igény szerinti harmonikus torzítás (TDD) értékével adja meg, amely a közös villamos hálózati csatlakozási pont (PCC) zárlati áramának (I_{SC}) és az adott eszköz terhelő áramának (I_L) arányától függ, ebben az esetben ez az arány csupán 3,47 % volt.

2.3. Szerszámgépek vizsgálata

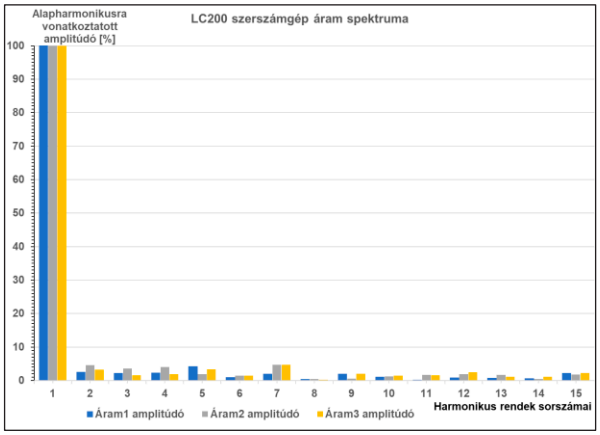
Ugyan a szerszámgépek operációs, vezérlő és szabályozó rendszereinek a reakció és programfutási

ideje lecsökkent és megnövekedett a számítási kapacitásuk, de a fizika törvényeit, melyek a mechanikai komponensekre is vonatkoznak nem lehet felülírni. Így a mechanikai válaszidők ugyanazon konstrukciók esetében változatlanok. Például egy biztonsági, rugóerő tárolós tokmány visszahúzó, áramszünet esetén ugyanolyan tehetetlen bármilyen gyors is a processzor, a tokmány szétrobban mert a munkadarab áramszünet után még nem áll le azonnal és a tokmány által megfogott kés a munkadarabban marad. Minél modernebb a számítástechnikai komponens a szerszámgépben, annál érzékenyebb lesz a legkisebb feszültség csökkenésekre is és egyszerűen lefagy, vagy a programfutása megszakításba megy át egy művelet végrehajtása közben, ami a gyakorlatban legtöbb esetben szerszámtöréssel jár, a fejezet elején említett okok miatt. Ezért nagyon fontos a mechanikai tervezés során az ilyen típusú lehetséges problémákat is figyelembe venni, illetve törekednünk kell a villamos hálózati zavarok feltérképezésén kívül az adott berendezések által létrehozott hálózati zavarok pontos beazonosítására és megszűntetésére. Megfelelő szűrők alkalmazásával megszűntehetőek a felharmonikusok. Ebben a fejezetben egy ilyen analízist mutatunk be. A vizsgálat során egy Liebherr LC200 szerszámgép [10] villamos hálózat csatlakozási pontja lett analizálva harmonikus hálózati injektálás szempontjából. A *8. ábrán* láthatjuk, hogy a feszültség szinuszhullám torzulások nem tekinthetőek jelentősnek, de az áramok jelformái szinte a felismerhetetlenségig megváltoztak, az áram jelalakja azt jelzi, hogy magasabb frekvenciákon is vannak zavarkibocsátások. Ezek a torzítások a közös betáplálási ponton összeadódnak a többi gép áram-szinusz hullámaival és a harmonikus torzítás szempontjából még megfelelő villamos elosztó hálózat áramszinuszait is eltorzíthatják. Az is megfigyelhető a 8. *ábrán*, hogy az áramszinuszoknak többszörös nullátmenetei vannak, ezek nullpont vezérelt kapcsolóüzemű tápegységek használata esetén az elektronikus egységek üzembiztonsága tekintetében kritikusnak tekinthetőek.



8. ábra Szerszámgép torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján

A *9. ábrán* lévő áramok spektrumán megfigyelhető, hogy kissé kiemelkedik az ötödik 250 Hz felharmonikus. Az ötödik felharmonikusok értéke a legmagasabb, 4,2 %, ami a szabványban előírt 4% maximálisan megengedett THD érték közelében van.

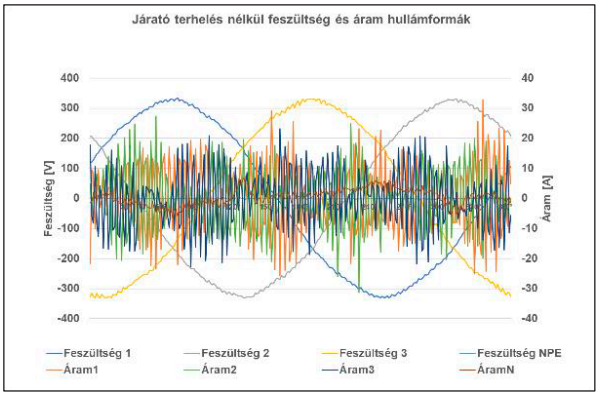


9. ábra Szerszámgép áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

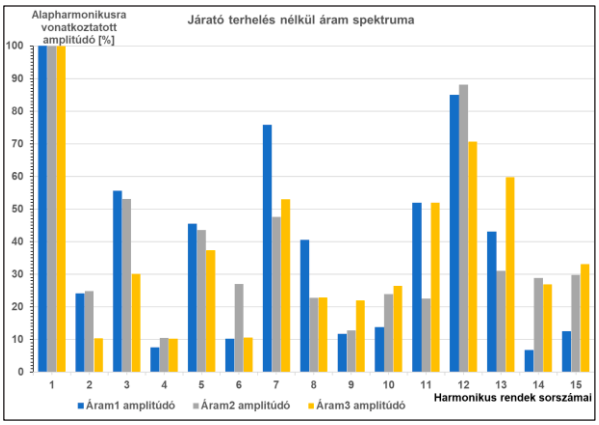
2.4. Inverteres hajtások vizsgálata

A következőkben egy modern gyárban történt mérések eredményei kerülnek bemutatásra. Előzetesen elmondható, hogy szinte alig van különbség a régi és az új üzemek mérési eredményei között, hiszen az energiatakarékosság és az energetikai törvényi előírások miatt a termelő cégek szinte már mindenhol ugyanazt a technológiát kötelesek alkalmazni. Sőt a modern automatizált gyárakban inkább rosszabb a helyzet, ugyanis ott már nem találhatóak tisztán induktív fogyasztók, melyeknek a modern gyárakra jellemző kapacitív jellegű meddő fogyasztások kompenzálásában volna szerepük. Egy nagy teljesítményű frekvenciaváltóval ellátott tesztpadot vizsgáltunk meg. A hajtás vezérlés aktív harmonikus szűrővel van ellátva, mely teljes terhelés alatt a szabványban meghatározott határon belül tartja a THD-t. Ezért nem is ez az állapot került elemzésre, hanem a használata közben inkább jellemzőbb kis terheléses, vagy üresjárati állapot. A *10. ábrán* egy terhelés nélküli állapot feszültség és áram hullámformái láthatóak. A feszültség szinusz itt is szinte torzulás mentes, de az áram szinuszt nem lehet felismerni. Így az áram THD(I) értékének 139,21% értéke sem meglepő. Ahogyan már korábban is írtuk, a szabvány az áram teljes harmonikus torzításának a javasolt megengedett maximális értékét a teljes áram-igény szerinti harmonikus torzítás (TDD) értékével adja meg, amely a közös villamos hálózati csatlakozási pont zárlati áramának és az adott eszköz terhelő áramának az arányától függ. Ez az arány most 630 A/11,7 A=53,84, ami 50<100, ezért a megengedett torzítás csupán 12% lehetne. Ha megnézzük a *11. ábrán* látható áram spektrumot, akkor láthatjuk, hogy nincs olyan harmonikus rend, melynek alapharmonikusra vonatkoztatott értéke nem haladja meg a szabványban rögzített 11. harmonikusig maximálisan lehetséges 4%

értéket, az áram-amplitúdó értékek 10% és 85% között változnak. A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy a beépített gyári Siemens aktív szűrő kis, vagy terheletlen állapotban nem hatásos és komoly jelalak torzításokat okoz a hálózaton. A szűrés hatékonyságát célszerű minél előbb megnövelni, ugyanis komoly problémákat okozhat a különféle adatrögzítő és vezérlő egységekben.



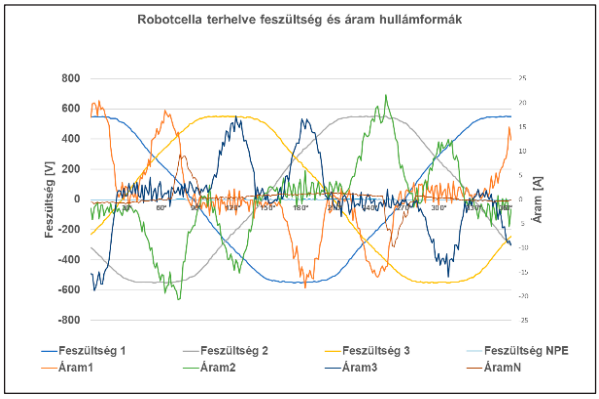
10. ábra Járatópad torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján



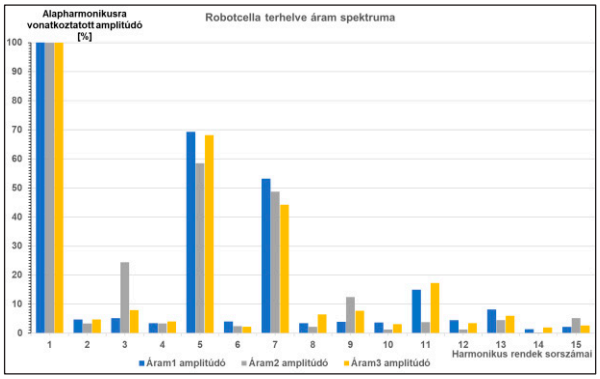
11. ábra Járatópad áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

2.4. Robotok vizsgálata

Napjainkban szinte nincs olyan ipari létesítmény, ahol ne használnának a különféle technológiákhoz robotokat, robot cellákat és kobotokat. Ezek igen jelentős villamos energia fogyasztóknak számítanak különösen, ha figyelembe vesszük a hozzájuk közvetlenül csatlakoztatott automatizált berendezéseket is, mint például a robot cella, vagy egy megmunkáló központ. Mivel elmondható, hogy ezek a berendezések igen magas szinten automatizáltak, ezért a vezérlő és szabályozó elektronikáik is fokozottan érzékenyek lehetnek a villamos hálózati zavarokra, esetleges feszültség letörésekre. Ebben a fejezetben egy ilyen ipari robot vizsgálata kerül bemutatásra. A mérés elvégzése során törekedtünk arra, hogy a lehető legjobban kiterhelt állapotban végezzük az analízist, hiszen minél több robot tengely működik egy időben, annál nagyobb az azokat működtető hajtáskártyák egyidejű villamos teljesítmény felvétele. Így ekkor lesz a legnagyobb az esélye annak is, hogy a legnagyobb villamos jelalak módosítást és egyúttal a hálózat felé a harmonikusok injektálását, valamint a hálózati szinusz jelalak legnagyobb megváltozását mérhetjük. A mért feszültség és áramhullámformákat a *12. ábra* szemlélteti. Itt is elmondható, hogy a feszültség szinusz csekély, de az áram szinusz már jelentős mértékben torzult, illetve az áram szinuszhullámainak alakjából jól látszik a nem lineáris áramfelvétel a hálózatról, hiszen egy periódus időn belül egy helyett négyszer változik az áram iránya. Ha megnézzük a jelentős számú nullátmeneteket egy periódusidőn belül, akkor egyértelmű, hogy ezt figyelembe kell venni nem csak a robot, hanem a robot cella berendezéseinél is a kapcsolóüzemű tápegységek tervezésekor. A *13. ábra* az áram spektrumát szemlélti, itt is jellemzően az 5. és a 7. harmonikusok amplitúdója a legnagyobb, de még a 11. és a 13 is jelentős. A THD(I) 90%, ami az IEEE 519-2022 szabvány által javasolt megengedett teljes áram-igény szerinti harmonikus torzítás (TDD) 8%-os értékének több, mint tizenegyszerese. Egyértelmű, hogy a felharmonikusok szűrését ebben az esetben is meg kell oldani.



12. ábra Robotcella torzított feszültség és áramhullámformái saját mérés alapján



13. ábra Robotcella áram-hullámformájának harmonikus áram-amplitúdó összetevői saját mérés alapján

3. EREDMÉNYEK

A mérések alapján kijelenthetjük, hogy a villamos elosztóhelyiségben mért harmonikus torzítás szignifikáns okozóit megtaláltuk. A vizsgált villamos fogyasztók és berendezések mindegyike, kisebb, vagy nagyobb mértékben harmonikusokat injektál a hálózatba és sajnos ezeknek a szűrését a legmodernebb berendezések esetében sem tekinthetjük megoldottnak. Mindenhol jelen vannak a felharmonikusok és hozzá kell tennünk, hogy mindenhol a IEEE 519-2022 szabvány által javasolt megengedett teljes áram-igény szerinti harmonikus torzítás (TDD) értéknél magasabb az alapharmonikusra (50 Hz) vonatkoztatott amplitúdójuk nagysága. Ezért kiemelkedő fontosságú, hogy a lehetőségekhez mérten törekedjünk azok csökkentésére. Például célszerű olyan frekvenciaváltókat, villamos motorhajtásokat beszerezni, melyek már gyárilag tartalmaznak hatásos harmonikus szűrőket. Természetesen előzetesen egy mintadarab analízisével meg kell győződnünk arról, hogy a berendezések valóban hatásos harmonikus szűrőket tartalmaznak-e, mert a gyakorlat azt mutatja, hogy nem minden esetben bizonyulnak annak.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott mérések célja az volt, hogy különböző berendezések és eszközök villamos hálózatra csatlakoztatása esetén is megvizsgáljuk a csatlakozási pontokon a villamos energia minőségét és meghatározzuk a harmonikus zavarok nagyságát, valamint minőség szempontjából a kritikus berendezéseket. A bemutatott mérési eredmények bekerültek egy adatbázisba és a későbbiek során felhasználásra kerülnek új szűrési metódusok kidolgozásához [11], illetve azok validálásához. A további kutatási célok között szerepel az ipari létesítményben minden kritikus erősáramú villamos hálózati szekcióban hálózatanalízist végezni és dokumentálni a mérési eredményeket. Jelenleg ezek a mérések már folyamatban vannak, a mért adtok kiértékelésével együtt. Az eredmények alapján keressük majd a megoldást a kibocsájtott, nagy áram-szinuszhullám torzítást okozó felharmonikusok utólagos szűrési lehetőségeire, a szűrési metódus meghatározására. Vagyis, hogy az adott gépnél történjen a szűrés lokálisan, vagy globálisan a villamos hálózati betáplálási és elosztó pontokon. Természetesen ez nem csak műszaki, hanem költségelemzést is igényel majd.

6. IRODALOM

[1] AKTIF: *Problems Caused By Harmonics In Electrical Plants,* 2021 https://aktif.net/en/problems-caused-by-harmonics-in-electrical-plants/ (2024.02.09.)

[2] CHAPMAN D.: *Villamosenergia-minőség - Harmonikusok források és hatások*, 2001 Alkalmazási segédlet, European Copper Institute https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/harmonikusok.pdf (2024.02.09.)

[3] TARNIK I.: Villamos hálózati zavarok, Jegyzet, 2008 https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tarmikcikk.pdf (2024.02.09.)

[4] RAPAS Kft.: Hálózat analizátorok PQA400-PQA823-824, 2023 https://rapas.hu/analizator/analizator-pdfs/pqa823-824.pdf (2024.02.09.)

[5] RAPAS Kft.: Használati útmutató PQA400-PQA823-824, 2007

[6] HT ITALIA: Management software Topview, 2012 https://www.htinstruments.com/en/accessories/topview/ (2024.02.09.)

[7] https://comsys.se/our-adf-technology/power-quality-ieee-519-2022/ (2024.02.09.)

[8] VLED.hu: *Mit jelent a THD a LED tápegységeken?* 2019 https://www.vled.hu/blog/mit-jelent-a-thd-a-led-tapegysegeken (2024.02.09.)

[9] UDDIN, S., SHAREEF H., MOHAMAED A.: *Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps*, 2013, Measurement, 46(10), 3783–3795. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.07.022 (2024.02.09.)

[10] https://en.industryarena.com/liebherr-verzahntechnik/products/cylindrical-gear-hobbing-machines--215/lc-200--16317 (2024.02.09.)

[11] KISS, J.: *Aktív felharmonikus szűrők alkalmazásának lehetőségei*, 2020 https://www.muszaki-magazin.hu/2020/01/29/aktiv-felharmonikus-szurok-alkalmazasanak-lehetosegei/ (2024.02.09.)