

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI KAR
EGÉSZSÉGTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezetője:

Prof. Dr. Bódis József

Programvezető:

Prof. Dr. Kovács L. Gábor

Témavezető:

Prof. Dr. Pytel József

Társ-témavezető:

Dr. Lujber László

A fül nemlineáris torzításának vizsgálata

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Bagdán Viktor



Pécs, 2021

Bevezetés - Zaj okozta halláskárosodás (NIHL)

Napjainkban egyre nagyobb probléma a magas hangnyomás szintek (Sound Pressure Level, SPL) okozta halláskárosodás. Extrém hangos zajok és hangok zajártalomhoz vezethetnek. A zaj nemkívánatos hang, és ez halláskárokat idézhet elő. Modern társadalmunkban több millió ember van kitéve a zaj káros hatásainak Európában. Bizonyos ágazatokban dolgozók, például az építőiparban, vagy a szolgáltató-szórakoztató ágazatokban fokozottabban ki vannak téve a munkavállalók a zajártalomnak, de az alacsonyabb hangnyomási szintek is problémát okozhatnak, ha hosszabb ideig fennálnak. A zaj nyugtalanító, stressz-fokozó hatása miatt munkahelyeken károsan befolyásolja a koncentráció-képességet, de a balesetek kockázatát is növeli.

„Zaj okozta halláskárosodás az a magas frekvenciák felé fokozódó percepció típusú halláscsökkenés, mely bizonyíthatóan a munkahelyi zajexpozíció (hangtrauma) hatására alakult ki, és a halláskárosodás kialakulásában egyéb sorsszerű megbetegedés nem játszott szerepet. Kialakulhat akutan vagy krónikusan.” (Egészségügyi Minisztérium szakmai protokollja).

A belső fülben elhelyezkedő érzékelő sejtek nagyon érzékenyek. Sajnos a szőrsejtek nem cserélhetők, ha egyszer megsérültek.

A zaj okozta halláskárosodás (*Noise-Induced Hearing Loss, NIHL*) lehet ideiglenes (*Temporary Threshold Shift, TTS*) vagy visszafordíthatatlan (*Permanent Threshold Shift, PTS*), és érintheti az egyik, vagy mindkét fület. Ilyen esetekben a beszéd érthetőség romlik zajos környezetben vagy telefonvonalon keresztül. A NIHL lehet azonnal észrevehető, vagy később bizonyítható. Definíció szerint, a hallásküszöb (*Absolute Threshold of Hearing, ATH*) az a tiszta hanghoz tartozó minimális hangnyomásszint, amelyet az átlagos emberi hallás éppen érzékelni tud, normál hallással, más hang jelenléte nélkül. Tehát a hallásküszöb ahhoz a hanghoz tartozó érték, amelyet először megkülönböztet és hall az organizmus (Durrant és Lovrinic, 1984). A hallásküszöb megemelkedése fiatalok körében statisztikailag igazolt (Doheny, 2010). A mögöttes okok nagyon sok esetben az eredetileg teremtett környezetünktől eltérő, túlzottan zajos életterünkben keresendő. A fiatalabb generációk körében egyre népszerűbbek azok a hordozható média-lejátszók, amelyek a legtöbb esetben hallójárat típusú fülhallgatókkal vannak felszerelve (Révész, Gerlinger, 2011). Ezekben az elektronikai eszközökben D-osztályú hangerősítő integrált áramköröket használnak, amelyek extrém magas hatásfokkal (>90%) működnek, emiatt az akkumulátort csekély mértékben veszik igénybe. Hosszú időn keresztül képesek nagy hangnyomási szintet produkálni, így nagy veszélyt hordoznak magukban a halláskárok szempontjából. A maradandó halláskárosodáshoz tartozó, 8 órára vetített

egyenértékű hangnyomás szint 85 decibel, 'ún. A-szűrővel' mérve (Widen et al., 2017; Lutman, 2000). Ezek a hatékonyan működő hordozható média-lejátszók képesek elérni ezt a szintet, sőt át is léphetik (Fligor és Clarke, 2005). Ez a veszély jelentkezik rendezvényeken, különféle hangosításokon is. A 85dB (A) szintnél magasabb értékeket is képes az emberi fül rövid ideig tolerálni, de nem 8 órán keresztül. Másik probléma a megnövekedett zajszint és zajszennyezettség az egyre zajosabb és zsúfoltabb környezetünk mellett. A megnövekedett zajszint nem csak önmagában probléma. A beszéd értehetőségéhez vagy a zene élvezhetőségéhez ugyanis szükséges egy bizonyos mértékű jel/zaj viszony (Meyer, Dentel, és Meunier, 2013). Emiatt ha a zaj szint megemelkedik, a jel szintjét is meg kell emelnünk, ami szintén zajártalomhoz vezethet. A *hallásfáradás* az a jelenség, amikor hosszabb zajkitettség hatására fül érzékenysége csökken. Ez az átmeneti hallásküszöb emelkedés (halláscsökkenés) audiológiai mérésekkel igazolható. Ezt az érintett ember is észlelheti, és bizonyos pihenőidő elteltével a hallásküszöb eléri a korábbi normális szintet. A pihenőidő függ a zaj expozíció mértékétől, órákba vagy akár napokba is telhet. Amennyiben a pihenőidő nem elégséges, és a fület ismételt zaj expozíciónak tesszük ki, metabolikus deficit, fáradás következik be, amely a belső fül szőrsejtjeinek a pusztulásához vezet (Kryter, 1994). Emiatt a hangnyomási szintet nem egy pillanatban, hanem integráltan egy hosszabb időtartamra kell mérni, és a 8 órára vetített egyenértékű hangnyomási szintet kell figyelembe venni a kitettség mértékének vizsgálatakor. A belső fül szőrsejtjeinek pusztulása maradandó hallásvesztésként jelentkezik. Ismételt zaj expozíció a tüneteket tovább súlyosbítja. A zajexpozíciótól függetlenül azonban beszélhetünk korral járó hallásromlásról (Bielefeld, 2012), ugyanakkor az öregedés nem feltétlenül okoz hallásvesztést. Az öregedéskor jelentkező hallásromlás elsősorban a magasabb frekvenciákat érinti, és itt a belső fülben lévő szőrsejtek érintettek. A középfül meszesedése viszont az alacsony frekvenciák erősítésének hiánya miatt okoz hallásromlást.

Problémafelvetés, célkitűzések

A zaj okozta halláskárosodás megelőzése többféle úton lehetséges. A zajszint alacsony értéken tartása mellett nagyon fontos az információt hordozó, számunkra jelentőséggel bíró hang szintjének alacsony értéken tartása is. Ez a hang lehet elektronikusan hangosított beszéd, telekommunikációs eszközök által továbbított hanganyag, de akár zenei mű is. Az elektronikus hangerősítő berendezések, különféle hangeffekt modulok tehát különös jelentőséggel bírnak, hiszen majdnem minden esetben ezek segítségével történik a hangerő növelése. Kutatócsoportunk szubjektív véleménye alapján lehetségesnek tartottunk egy olyan hangerősítési mechanizmus létrehozását, amely a benne rejlő speciális nemlinearitás

következtében erősebb érzékelt hangerőt eredményez, mint egy pusztán lineáris karakterisztikával rendelkező, alacsony torzítással rendelkező hangerősítő berendezés. Erre a következtetésre azokból az előzetes megfigyelésekből jutottunk, miszerint különféle hangerősítő berendezések eltérő mértékű hangszínezetet, és hangerőérzetet produkálnak, az elektronikusan mérhető hangnyomásszint azonossága ellenére is. Ez a megfigyelés, tapasztalati úton a zenészek körében is szinte köztudott, hiszen bizonyos hangszereket (Hadi T. et al., 2015.) vagy elektronikus hangerősítő berendezéseket előnyben részesítenek más típusokkal szemben. Példa erre, az elektroncsöves hangerősítő berendezések reneszánsza. A teljes harmonikus torzítás + zaj (TDH+Noise) értékek magasabbak, az erősítő frekvenciamenete sokkal rosszabb, ennek ellenére a hang tónusa, és hangerőérzete jobb, mint a félvezetős erősítőké. Kutatásunkkal ezt a hatást szeretnénk volna modellezni, mérni, az elképzelést igazolni vagy cáfolni. Az általunk feltárt, halláskárok megelőzését célzó megoldások egyike sem működik azon az elven, amely a fent vázolt hangszerek, hangerősítő berendezések különbségéből adódik. A halláskárokat ugyan csökkentik, de a zenei anyag minőségébe beavatkoznak, annak dinamikartományát vagy frekvenciamenetét módosítják, rontják. Nem találtunk olyan megoldást, amely a felharmonikus tartomány célzott manipulálásával érne el érzékelt hangerő növekményt. Okabe és Nakatoh 2018-as vizsgálata szerint megelőzhető a fejhallgatós zenehallgatás okozta halláskár mértéke, ha a zenei struktúrát feltérképezve eltérő mértékben alkalmaznak hangerő-kontrollt a zenei anyag különböző fázisaiban (bevezető szakasz, refrén, kórus, szóló, befejező szakasz). Egy másik megoldás a nemlineáris erősítés alkalmazása, dinamika-kompresszióval. Ezt elterjedten használják hallásjavító készülékekben is. A dinamika-kompresszió előnyös lehet, ha bizonyos frekvencia-sávokban szeretnénk hangerőt növelni, például azért, mert bizonyos frekvenciasávokban halláskárosodás igazolható. Zou, Hao és Panahi 2018-ban megjelent tanulmánya rámutat ezen megoldások hiányosságára, hiszen a többcsatornás dinamika-kompresszió a rendszerben torzítást okoz, és digitális rendszerek esetén feldolgozási komplexitást növel. Ennek csökkentésére egy kompenzációs szűrőt terveztek, amely csökkenti a torzítást.

Tézisek ismertetése

- I. A nemlineáris erősítés hangosságérzet emelkedést okoz;
- II. Lehetséges olyan eljárást, eszközt létrehozni, amely képes az érzékelt hangerő-szintet magasabb értéken tartani, a mérhető hangnyomási szint megváltoztatása nélkül;

- III. Az érzékelt hangerő növelése megvalósítható az alapharmonikus megváltoztatása nélkül;
- IV. Az érzékelt hangerő növelése nem okoz hallható torzítást;
- V. Az érzékelt hangerő növelése nem dinamika-kompresszió elven működik;
- VI. A létrehozott új eljárás, eszköz implementálható digitális eszközökbe;
- VII. Az eljárás segítségével a zaj okozta halláskárosodás megelőzhető.

Előzetes kutatások

Torzított hangok hangerőérzetének vizsgálata

A felharmonikus tartományban és megfelelő torzításban rejlő, hangerőt befolyásoló hatások igazolására több kutatást végeztünk. Az első kutatásban azt igazoltuk, hogy a torzított hangok hangerőérzete magasabb a torzítás-mentes hangokhoz képest. Ennek ellenőrzésére elektromos gitáron eljátszottunk egy dallamot, amelyet digitálisan rögzítettünk. A normalizálás (0 dB szintre hozás) után elkészítettünk egy második felvételt, amelyben ugyanezen dallamot lejátszva egy speciális torzítást alkalmaztunk, egy kifejezetten elektromos gitárokhoz gyártott gitár-torzító berendezés segítségével. A torzított felvételt szintén normalizáltuk egy szoftver segítségével, tehát maximális amplitúdó tekintetében a torzított és a torzításmentes felvétel megegyezett. A két felvétel visszajátszásakor a torzított felvétel egyértelműen magasabb hangerőérzetet keltett (Bagdán, 2013, Science In Practice, Schweinfurt). A torzított hanganyag jelentős torzítás alkalmazásakor viszont egyértelmű információ veszteséget szenved, a dallam jellege ugyan megmarad, de a torzítás csökkenti a beszédérthetőséget vagy a hangszer jellegének felismerhetőségét.

Kísérletek speciális torzításokkal

A jelentős torzítás, és ezzel járó információ veszteség ellenére, nagyon sok esetben éppen a speciális hangképek kialakulása, egy új hangkép vagy hangszínezet létrejötte okozott népszerűséget, vagy az emberi hallás számára elfogadható, kellemes színezetet egy bizonyos típusú torzítás. Erre egy példa az 1960-ban Nashville, Tennessee államban nem várt események során létrejött hangfelvétel. Grady Martin gitárjátékának felvétele alatt, a 6-csatornás keverőpult hibásan működött, vélhetően a csatoló-transzformátor egyik primer tekercse szakadt meg (Thanki és DeGennaro, 2019). A felvétel ennek ellenére kiadásra került, és nagy népszerűsége tett szert (első a nemzeti Billboard listán, 1961-ben). Ezen speciális, fuzztoneknak elnevezett torzítást később szándékosan hozták létre, és a Gibson cég szabadalmaztatta is a három darab Germánium tranzisztorttal működő eljárást (US3213181A, 1965). A szabadalmi

leírásból kiderül, hogy a torzítás célja többek között az is, hogy egy hangforrás más hangszer érzetét is imitálni tudja, speciális beállítások esetén. Húros hangszeres bemenet esetén például trombita, harsona vagy tuba hangjának érzetét keltheti, megfelelő potenciométer beállítások esetén a szabadalmi leírás alapján. Itt tehát jelentős mértékű torzításról, és a felharmonikus tartományba való jelentős beavatkozásról beszélhetünk. Az áramkör megépítése után lehetségessé vált annak tesztelése, valamint az általa létrehozott felharmonikus tartalom elemzése. A következő lépés az áramkör felharmonikus tartomány szerinti vizsgálata volt, amelyben egy áramkörszimulációs programot is segítségül hívtunk (TINA, Toolkit for Interactive Network Analysis). Első lépésként egy zenei „a” hangot adtuk bemenetként, amely 440 Hz-es alaphangfrekvenciának felel meg. Mivel a hang gitárból érkezett, az alaphangfrekvencián túl már a bemenő jel is tartalmazott felhangokat. A kimeneti, torzított jelben páros és páratlan rendszámú felharmonikusok szerepelnek, enyhe többlettel a páros rendszámú felharmonikusok felé, a mérőpontok alapján. Ezt követően összetettebb bemenet, egy hármashangzat hatásait vizsgáltuk. A bemeneti jel egy nagy hármashangzatos akkord volt (A-dúr akkord), amely az alaphangon túl nagy tercből, és tiszta kvintből áll. Az alaphang frekvenciája az előző kísérlethez hasonlóan 440 Hz, a nagy tercé 550 Hz, a tiszta kvinté 660 Hz. A tiszta kvint frekvenciája $3/2$ arányban áll az alaphanggal, a tiszta akusztikus nagy terc frekvenciája pedig $5/4$ arányú, vagyis a három hang frekvencia aránya: $4/5/6$. A kimeneti, torzított hangképben ismét felfedezhetők a páros és páratlan rendszámú felharmonikusok. A példa szerinti $4/5/6$ frekvencia arány kellemes az emberi fülnek, és ez az arány valószínűleg a felhangokra is igaz. A páros rendszámú felharmonikus dominancia az oktávjellege miatt kellemesebb, mint a páratlan rendszámú többlet. Ebben az esetben mindkét típus megjelenik, és a feltételezés szerint a megfelelő arányok érzékelhetők az emberi hallás számára elfogadhatónak, természetesnek. A megfelelő arány értékek becslése miatt szükségessé vált különböző típusú hangerősítő berendezések felharmonikus tartományának elemzése.

Hangerősítők felharmonikus tartományának elemzése

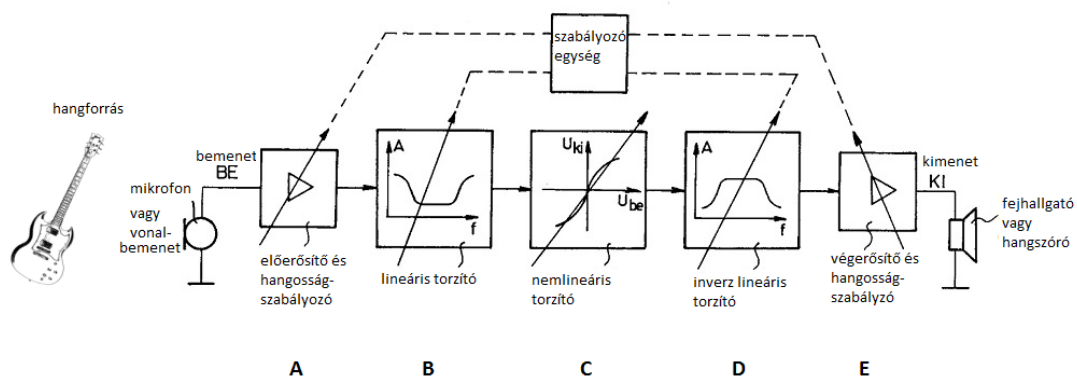
A mai világban különféle lehetőségek közül választhatunk, ha a hang erősítése a cél. Az elektronikus úton működő hangerősítők gyártásának kezdetén csak a vákuumcsöves, vagy más szóval elektroncsöves technológia állt rendelkezésre, jelenleg azonban választhatunk többféle félvezető technológiát is. A különféle elrendezéseknek vannak előnyös és hátrányos tulajdonságaik, és a környezettudatos gondolkodás miatt jelenleg elsősorban az alacsony fogyasztás és hatékony működés szempontjai kerülnek előtérbe. Az energiahatékony működés szempontja különösen előtérbe kerül, ha figyelembe vesszük, hogy gyakorlatilag minden

háztartásban megtalálhatóak a különféle hangerősítő berendezések, és szórakoztató elektronikai eszközök. A korábban említett D-osztályú erősítők megoldják ezt a problémát, azonban egyéb olyan nemkívánatos tulajdonságokkal rendelkeznek, ami miatt magas minőségű rendszerekben nem, vagy csak ritkán használják őket. A megfelelő torzítási jelleg feltérképezéséhez olyan hangerősítő berendezéseket választottam, amelyeket világszerte, több évtizede használnak és keresnek a zenészek. Ezen elismert berendezések kapcsolási rajzai, összeszerelési útmutatói rendelkezésre álltak, így lehetőség adódott a hiányzó erősítő berendezések megépítésére. A vizsgálat célja az volt, hogy ezen hangerősítő berendezések működési elv szerinti csoportosítása után fény derüljön a torzítási jellegük eltéréseire, ezzel lehetséges iránymutatásul szolgálva arra, hogy az emberi hallás számára elfogadott, vagy kifejezetten kellemes torzítási jelleg behatárolható legyen. Végül célunk viszont egy olyan berendezés megalkotása, amely magasabb érzékelt hangosságot hoz létre, a mérhető hangnyomási szint alacsony értéken tartása mellett. Emiatt a felhasznált energia is alacsonyabb, hiszen az elektronikus úton mérhető teljesítmény is alacsonyabb szinten marad. A vizsgálathoz a hangerősítő berendezéseken túl szükség volt speciális kalibrált mikrofonra, valós idejű Fourier-transzformációt végrehajtani képes mérőműszerre, jelgenerátorra, és egy kalibrált helysége, ahol ezek a vizsgálatok elvégezhetők. Kilenc különböző elven működő hangerősítő berendezést vontam vizsgálat alá. Ebből öt félvezetős technológiával, és négy elektroncsöves technológiával működik. A méréseket speciális mérőkabinban végeztük, ahol a hangerősítők és a mérőmikrofon egy kalibrált mérőszobában, a vizsgálatot végző személy pedig ettől akusztikusan elválasztva foglalt helyet. Az elválasztást az is indokolta, hogy minden erősítőnél a teljesítményhatárig kellett mérni, amely túlzott mértékű hangnyomási szintet eredményezett volna, ezzel kockáztatva a vizsgálatot végző személy hallását. Az akusztikailag elválasztott helységben egy kábellel összekötött, kalibrált kézi mérőműszert használtunk, amely képes többek között valós idejű Fourier-transzformáció végzésére. A műszerre kábellel kapcsolódott a kalibrált kondenzátor mérőmikrofon. A bemeneti jel minden esetben három különböző frekvenciájú szinuszos hullámforma volt. Egy mély, egy közép, és egy magasabb frekvencia. A hangerősítők bemenetére kábellel csatlakozott egy jelgenerátor, amely a bemenő jelet szolgáltatva minden esetben. A kimeneti jel a kalibrált mikrofonból érkezett. A kondenzátor mikrofon egy méter távolságban volt a hangszórótól, és egy mikrofonállványon foglalt helyet. A kimeneti mikrofon jel speciális kalibrált kábelen a kézi FFT műszerbe csatlakozott, de ezzel párhuzamosan az erősítő hangszóró jele elektronikus úton kapcsolva volt egy oszcilloszkópra, a kimeneti jel feszültségének csúcstól-csúcsig történő méréséhez. A méréseket 10 mW teljesítményen kezdtük el, és mindenhol az adott erősítő adatlapján szereplő teljesítmény

határig növeltük lépésenként. Minden mérési pont lejegyzésre került, és ezek eredményeképp egy karakterisztika vált rajzolhatóvá, melynek horizontális tengelyén a kimeneti teljesítmény, vertikális tengelyén pedig decibelszintek láthatók. A megjelenített görbesereg a második, harmadik, negyedik és ötödik felharmonikusai az adott bemeneti jelnek, különböző színekkel feltüntetve. Mind a kilenc hangerősítő esetében elkészítettük a három különböző bemeneti frekvencián (40 Hz, 1 kHz és 4 kHz) mért adatokból a karakterisztika együtteseket. Tehát 27 darab karakterisztika jött létre. A triódás (elektroncsöves) erősítők a második harmonikust jobban erősítik a mérések alapján, mint a harmadikat. Az elektroncsöves erősítők eredményeinél a második harmonikus közel egyenes (az X tengely logaritmikusan) és a harmadik harmonikus vonala felett foglal helyet, egészen a teljesítményhatárig, ahol hirtelen növekszik a torzítás. Az elektroncsöves csoportnál tehát a k2 vonal közel egyenes a teljes spektrumban a legkisebb mért teljesítménytől a teljesítményhatárig, de a k3 rendelkezik egy törésponttal, és amikor az erősítő teljesítménye eléri ezt, a k3 torzítás nőni kezd. Félvezetős, bipoláris tranzistoros erősítők esetében viszont ez a k3 töréspont hiányzik. Az összes feldolgozott adatból érdekes érték a k2/k3 aránya, amely információként szolgálhat az adott berendezés minőségét, megfelelő torzítási karakterisztikáját illetően. Tapasztalatok alapján, zenészek és a minőségi zenehallgatás iránt érdeklők körében népszerűek az alacsony torzítással és kiegyenlített hangképpel rendelkező elektroncsöves hangerősítők. Ezen erősítők harmonikus torzítási karaktere a mérések alapján eltér a félvezetős berendezésektől.

Szabadalom: Emberi fül torzítását modellező eszköz, valamint eljárás hangjel feldolgozására - Saját hangjel feldolgozó eljárásunk

A kutatócsoportunk által fejlesztett eszköz, és eljárás szabadalmi oltalmat kapott (Bagdán, Czimerman, Máthé, Pytel, 2014). A következő ábrán az eljárás működési blokkvázlata látható.



1. ábra: A szabadalmaztatott eljárás blokkvázlata.

A szabadalmaztatott módszerrel jól utánozható a fül torzítása, nemlineáris viselkedése. Bármely nemlineáris torzító hangosságérzet növekedést okoz, de az így módosított hang akkor válik élethűvé, ha minél jobban közelítjük fülünk torzítását. Az emberi hang vagy ének frekvenciaspektrumának a közepén a legalacsonyabb a hallásküszöb, és a torzításokra is itt a legérzékenyebb az emberi fül. Ezt a tartományt modellezzük a „B” lineáris torzító modullal. A „C” nemlineáris torzító modullal dúsítjuk a hangot a megfelelő arányú páros és páratlan rendszámú felharmonikusokkal. Végül a „D” inverz lineáris torzító modullal visszaállítjuk az eredeti hangszintet. Az „A” és „E” modulok segítségével az optimális jelszintet állíthatjuk be.

Emberi fül torzítását modellező eszköz prototípusa

A prototípus a szabadalomban szereplő elvek alapján épült. A kutatásunkhoz használt eszköz olyan berendezés, amely a bejövő hang 20Hz és 50kHz közötti frekvenciaspektrumát változatlanul hagyja, azonban a felhangokat módosítja. A találmány egy olyan eszköz a hangjel feldolgozására, amely alacsonyabb hangnyomás szintek mellett is élethű hangélményt biztosít (Bagdán, 2014). Vizsgálataink során arra a következtetésre jutottunk, hogy az emberi fül torzításához hasonló felharmonikus tartomány beállításával, illetve „leutánzásával” a teljes hallható frekvenciaspektrumon hangosságérzet növelés érhető el a hangminőség romlása nélkül. Amennyiben egy hangjel feldolgozására szolgáló eszköz a benne alkalmazott különféle elektronikai egységek együtteseként képes lenne ilyen felharmonikus tartomány mesterséges létrehozására, úgy hangosító berendezésekben történő használata elkerülhetővé tenné a feleslegesen nagy és káros hangnyomás szintek használatát. Az eljárásunk működését ellenőrző prototípust (Proof Of Concept Prototype) úgy készítettük el, hogy szubjektív összehasonlító hangosságérzet tesztet lehessen vele végezni. A prototípus egy hibrid áramkör, amely elektroncsöveket és műveleti erősítőket is tartalmaz. Egy kapcsoló segítségével választhatunk, hogy a felharmonikusokban módosított vagy a változatlan hangot szeretnénk-e hallgatni. A módosított ágon a bemenet és a kimenet amplitúdója megegyezik, a változatlan ágon pedig az erősítés egy potenciométerrel változtatható. Ezzel elérhető, hogy fejhallgatós teszt közben a kapcsolót átváltva be tudjuk állítani a potenciométerrel azt a szintet, amely a szubjektív vizsgálat során érzékelt hangerőnek felel meg. A teszt elvégzése után a potenciométer állásából vissza lehet következtetni a hangosságérzet növekedésére és ez kifejezhető decibelben.

A koncepció ellenőrzése - Szubjektív összehasonlító hangosságérzet-teszt

A teszthez nagyfelbontású, kompresszió- és tömörítés-mentes, alacsony torzítással rendelkező zenei anyagot alkalmaztunk. A vizsgálatot csendes kamrában végeztük, amelyben a tesztet

irányító kutató és az önkéntes jelentkező ülte, valamint a kamrában kapott helyet a prototípus is. A tesztet fejhallgatóval végeztük, de az akusztikus hangnyomásszint ellenőrzése miatt a fejhallgató jelét párhuzamosan aktív hangfalakra is rávezettük a hangnyomásszint ellenőrzése miatt. A hangnyomásszint mérése a kamrán kívül történt harmadik személy által. A mérőmikrofon az aktív hangfalak által keltett hangnyomás szintet mérte. Az egyenértékű hangnyomásszintet mérve (logaritmikusan átlagolt szint) biztosítottuk, hogy a módosítás nélküli és a módosított hangok hangnyomásszintjei megegyezzenek. A módszer segítségével a prototípus előlapján lévő potenciométer minden állása skálázhatóvá vált decibel szintekben kifejezve. Az érzékelt hangerő növekményhez tartozó decibel szint növekmény az ezzel egyenlő hangosságúnak érzékelt torzítás-mentes csatorna decibel szintjével vált meghatározhatóvá. A torzítás-mentes csatorna erősítéséhez tartozó minden egyes potenciométer állás decibelszintje ellenőrizve lett egy hitelesített hangnyomásszint-mérő műszer segítségével. Az adatokat egyéneenként kérdőív segítségével gyűjtöttük, és a válaszokból számtani átlagot számolva, az eredményt decibel értékben adtuk meg. A kérdések arra is irányultak, hogy van-e diagnosztizált halláskárosodása a résztvevőnek, illetve volt-e zajos környezetben a teszt megkezdése előtti időszakban. A készüléket 66 érdeklődő és egyetemista próbálta ki és mind sikeresen kitöltötte a kérdőívet. A teszt és a kérdőív az objektív audiometria szempontjainak figyelembevételével került kialakításra (Pytel, Audiológia, 1996). A tesztet elvégzők átlag életkora: 33,1 év, szórás: 12,1, medián: 32 év, minimum: 14 év, maximum: 68 év. A kitöltők 36%-a nő, 64%-a férfi. A vizsgálatban való részvétel önkéntes volt és feltételként a hallás szempontjából panaszmentességet szabtuk.

Eredmények és következtetések

Átlagosan 2,73 dB növekmény mérhető elektronikusan mérve (szórás: 2,19, minimum: -1,5dB, maximum: 6,5dB, median: 2,5dB), a 66 kitöltött kérdőív alapján, amelyet a triódás prototípussal használtunk. (Bagdán, 2020.) Ez teljesítményváltozásban kifejezve 87,5%-os növekményt jelent. A teljesítmény növekmény az alábbiak szerint számolható. Ha a bemeneti teljesítményt 1 W értékűnek vesszük, akkor:

$$P_0 = 1 \text{ W}, \dots\dots\dots(1)$$

$$L_p = 2,73 \text{ dB}, \dots\dots\dots(2)$$

$$P_1 = P_0 * 10^{\frac{L_p}{10}} \text{ W} = 1 \text{ W} * 10^{0,273} = 1,875 \text{ W}, \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \frac{1,875 \text{ W}}{1 \text{ W}} = 1,875. \dots\dots\dots(4)$$

Ez 87,5%-os teljesítmény növekményt jelent. (A 3dB-es növekmény definíció szerint pont 100%-os teljesítmény növekményt, azaz dupla teljesítményt jelent.) Ez azt jelenti, hogy a felhangokat megfelelően módosítva átlagosan ennyivel magasabb az érzékelt hangerő a módosítás nélkülihez képest, a mérhető hangnyomásszint változása nélkül. A mért 2,73 decibeles növekmény felette van az éppen érzékelhető amplitúdó különbségnek (JND, just noticeable difference). Jesteadt és munkatársai 1977-ben az amplitúdó szelektivitást, azaz az éppen érzékelhető különbséget 0,5 decibeles értékben határozták meg, 80 decibeles hangnyomásszint mellett mérve. Ezt alapul véve a méréseink igazolták a szabadalmaztatott eljárásunk működőképességét.

Újabb megközelítés: harmonikus dúsítás szorzó áramkörrel

Egy újabb megközelítés szerint, a kívánt felhangokat speciális szorzó áramkörök segítségével, direkt módon is létrehozhatjuk. Ez azt jelenti, hogy a harmonikusok erősségét szabályozhatjuk egyenként, illetve együttesen is. A korábbi elektroncsöves erősítőkkel végzett tesztek alapján, főleg a második, harmadik és negyedik harmonikusoknak van számottevő hatása a kialakult hangkép szempontjából, a magasabb rendű felharmonikusoknak kevésbé. A következő egyenletek a felharmonikusok matematikai előállítását mutatják be (Gardánfalvi, 2016):

$$f(t) = \sin(\omega t), \dots \dots \dots (5)$$

$$f^2(t) = \frac{1}{2} - \frac{\cos(2\omega t)}{2}, \dots \dots \dots (6)$$

$$f^3(t) = \frac{3 \sin(\omega t)}{4} - \frac{\sin(3\omega t)}{4}, \dots \dots \dots (7)$$

$$f^4(t) = -\frac{\cos(2\omega t)}{2} + \frac{\cos(4\omega t)}{8} + \frac{3}{8}, \dots \dots \dots (8)$$

$$f^5(t) = \frac{10 \sin(\omega t)}{16} - \frac{5 \sin(3\omega t)}{16} + \frac{\sin(5\omega t)}{16}, \dots \dots \dots (9)$$

$$f^6(t) = -\frac{15 \cos(2\omega t)}{32} + \frac{6 \cos(4\omega t)}{32} - \frac{\cos(6\omega t)}{32} + \frac{10}{32}, \dots \dots \dots (10)$$

A szorzó funkció megvalósítása az Analog Devices AD633 típusú integrált áramkörével, míg az erősítés a Texas Instruments NE5534 típusú műveleti erősítőjével történt. A harmonikus dúsító elrendezéssel tehát művi úton avatkozhatunk be a felharmonikus tartományba, és ezzel lehetőség adódik a kívánt hangosságérzet kialakítására. Az áramkör még további tesztelés alatt áll.

Az ultrahang tartományú zaj, és ennek egészségügyi vonatkozásai

Az eddigi vizsgálataink nagy része a felharmonikus tartományra vonatkozott. Ezen hangok frekvenciája sok esetben az alacsonyabb ultrahang tartományba esik és magasabb 20 kHz-nél.

Beszélhetünk hasznos, információt is hordozó ultrahang tartományba eső hangokról, illetve zajokról, amelyek negatív egészségügyi hatásai mára bizonyítást nyertek. Wegel 1932-es kutatásai alapján a hallható frekvenciatartomány 16 Hz és 24 kHz között van. Rosen és Stuart 2011-es eredményei alapján viszont az általánosan is elfogadott 20 Hz és 20 kHz közötti tartományról beszélhetünk. A zajméréseknél általánosan használt, A-súlyozó görbe azonban folyamatosan csökkenő súlyozással veszi figyelembe a magasabb frekvenciájú hangokat, zajokat, valamelyest követve ezzel az emberi fül nemlinearitását a frekvencia skálán. Dieroff és Ertel tanulmányunkban a 120 kHz-es szinuszos hang észlelését is leírták. Kétféle elterjedt teória is van az ultrahang tartományú hangok észlelésével kapcsolatban. Az első szerint a cochlea alaphártyáján lévő belső szőrsejtek érzékelik a hangokat (Nishimura, 2003.), a második szerint viszont az agyat hozza rezgésbe ez a magas frekvenciájú hang, és ezt modulálja le hallható frekvencia spektrumra, amelyet aztán a cochlea érzékelt tud (Lenhardt, 2003.) Tsutomu Oohashi és munkatársai 2000-ben publikált vitatott tanulmányukban elnevezték az ultrahang tartományú hallást „hypersonic effect” néven. Vizsgálatukban 22 kHz alatti (LFC) és feletti (HFC) részre bontották a magas frekvenciás komponensekben dús zenei anyagot. A HFC önmagában nem volt érzékelhető, de amikor LFC és HFC együtt jelen volt, az Alfa-elektroencefalográfia (alpha-EEG) jelek statisztikai növekedését tapasztalták, összehasonlítva a pusztán csak LFC műsoranyag mérési eredményeivel. Positron emission tomography (PET) méréseik az agyműködésről kimutatták, hogyha LFC és HFC is együtt jelen van, agyi aktiváció és vér átáramlás (regional cerebral blood flow, rCBF) mutatható ki a bal talamuszban. Deatherage és munkatársai már 1954-ben kimutatták, hogy a beszéd hangot ultrahang vivőfrekvenciával modulálva, érthető beszéd mutatható ki, nagyfokú pontossággal, különösen zajos háttér esetén. Lenhardt és kutatócsoportja 1991-ben a Science-ben publikált eredményei szerint a 108 kHz frekvenciájú jel még érzékelhető volt. Jelenleg több országban is korlátozzák jogszabályi úton az ultrahang tartományú zajok megengedhető szintjét. Mivel a műszaki fejlődéssel több területen is megjelent az ultrahang szennyezettség, néhány országban korlátozásokat léptettek életbe. Ultrahangot használnak a víz alatti helymeghatározásban, az iparban (20 kHz-től), vagy az orvosi diagnosztika területén (10 MHz-ig). Ide tartoznak a különféle otthoni eszközök is, amelyek a teljesség igénye nélkül lehetnek különféle betörésjelzők, kutya-sípok, madár- és rágcsáló riasztók, párasítók, inhalátorok, vagy gépjárműre szerelhető vadriasztók. Már az 1940-1950 –es évektől jelezték az ultrahang káros hatását az ipari területen, melyek tünetei lehetnek halláskárok, termikus hatás, szubjektív tünetek és funkcionális kiesések. (Davis, 1948.) Grzesik és Pluta 1986-ban NIHL-t mutattak ki 13–17 kHz-en olyan munkásokon, akik ultrahangos mosónál, vagy hegesztőnél dolgoztak

évekig. Smagowska és kutatócsoportja 2013-ban publikált tanulmánya több olyan negatív egészségügyi hatást is ismertet, amelyek felhívják a figyelmet az ultrahang tartományú zajok káros hatásaira és a jogszabályi értékek felülvizsgálatára. Ilyen hatások lehetnek a fogorvosi fúrók (25 - 42 kHz) által keltett zajok, melyek enyhe hallásromlást okoztak 3kHz-en, vagy egyéb ultrahang források által okozott kellemetlen hatások, mint túlzott fáradtság, émelygés, felteltség, fejfájás, diszkomfort, irritáció, idegi ingerlékenység, memóriaproblémák valamint a koncentráció és a tanulás nehézségei. Nagyobb hangnyomási szinten komolyabb hatásokat detektáltak, 21 kHz-en, 110 decibeles hangnyomásszinten, napi 3 óra kitettség következtében, 10-15 napon át, funkcionális változásokat okozott a kardiovaszkuláris és a központi idegrendszerben (Il'nitskaia, 1973). Napjainkban előszeretettel használják, főleg hordozható eszközökben a különféle DC-DC konvertereket, amelyek nagyfrekvenciás kapcsolójelekkel működnek, igen nagy hatékonysággal. A PTE-MIK Karán lévő GTEM cellával, és a hozzá kapcsolt nagyfrekvenciás spektrum analizátorral igazoltuk is ezen zavarjelek meglétét (Kvasznicza, 2021). A fenti tanulmányok tehát felhívják a figyelmet arra, hogy az ultrahang tartományban lévő zajok, vagy felharmonikusok is számottevő mértékben hatnak az az emberi kognitív funkciókra, így ezek negatív (vagy pozitív) hatást is okozhatnak.

Megbeszélés

Kutatásunk során egy olyan módszer létrehozásán dolgoztunk, amely segítségével potenciálisan csökkenthető a zaj okozta halláskárosodás. Kutatócsoportunk minden tagja érdeklődik a zene iránt és minden olyan elektronikai berendezés iránt is, amely a hangforrást megfelelő módon erősíti. A közös érdeklődés formálta kutatócsoporttá a tagokat, és ennek eredményeként egy közös szabadalmunk is született a témában. A különféle elektronikus berendezések, elektroncsövek, félvezetős berendezések eltérő karakterisztikái, valamint a több évtizedes szakmai tapasztalat alapján olyan hipotéziseket tudunk felállítani, amelyek többnyire igazolhatók is voltak a különféle mérésekkel, kutatásokkal. Célunk volt az is, hogy a jelenleg még nem tisztázott változókat azonosítsuk, amelyek felelősek az emberi hallásnál a hangosságérzet kialakulásakor. Fontos volt számunkra, hogy ne a szokásos úton induljunk el, ne egy újabb olyan eszközt hozzunk létre, amely dinamika kompressziót alkalmaz, vagy „beszól” a műsoranyag, illetve a beszéd frekvenciamenetébe. Előzetes kutatásaink során ellenőriztük, hogy a torzított hangok hangosságérzete magasabb-e, mint a módosításmentes hangoké, illetve egy hosszú vizsgálat során megállapítottuk, hogy a különféle erősítési elv szerint működő hangerősítő berendezések eltérő torzítási karakterisztikával rendelkeznek. Ezen adatok bemenetként is szolgáltak a szabadalmunkhoz. A szabadalommal is védett eljárásunk

bemutat egy olyan eszközt, illetve hangmódosítási eljárást, amellyel növelhető a hangosság érzete anélkül, hogy beavatkoznánk a jel alapharmonikusába, illetve módosulna a hangnyomásszint. Méréseink során bizonyítást nyert az eljárás működőképessége és több lehetséges megvalósítási módszert is ismertettünk. Az ultrahang tartományú zajok területén végzett irodalmi kutatásaink alapján megállapítható, hogy a felharmonikusok és zajok még akkor is jelentőséggel bírnak, ha azok frekvenciája jóval nagyobb, mint az általánosan is elfogadott legmagasabb érzékelhető frekvencia (20 kHz). További kutatások szükségesek, hogy az eljárást digitalizálni lehessen, és illeszthető legyen digitális hordozható médialejátszókhöz, illetve hallásjavító berendezésekhez. Mivel a hordozható média-lejátszók elterjedt használata nagy veszélyt jelent a fiatalabb generációra, az ezekkel való kompatibilitás kiemelt fontosságú.

Tézisek értékelése

- I. *A nemlineáris erősítés hangosságérzet emelkedést okoz;*
Az első tézist sikerült igazolni, a különféle torzításokkal végzett kísérletek eredménye rámutatott arra, hogy a nemlineáris erősítés, torzítás, érzékelt hangerő növekedést eredményez.
- II. *Lehetséges olyan eljárást, eszközt létrehozni, amely képes az érzékelt hangerő-szintet magasabb értéken tartani, a mérhető hangnyomási szint megváltoztatása nélkül;*
Kutatócsoportunk létrehozott egy olyan új, szabadalommal védett eljárást és eszközt, amely képes az érzékelt hangerő-szintet emelni a mérhető hangnyomási szint emelése nélkül.
- III. *Az érzékelt hangerő növelése megvalósítható az alapharmonikus megváltoztatása nélkül;*
A kutatócsoportunk által létrehozott új eljárás változatlan formában jeleníti meg az alapharmonikust a kimeneten.
- IV. *Az érzékelt hangerő növelése nem okoz hallható torzítást;*
Az általunk kifejlesztett új eszköz a tesztek alapján nem okozott hallható torzítást.
- V. *Az érzékelt hangerő növelése nem dinamika-kompresszió elven működik;*
A dolgozatban több olyan eljárás is ismertetésre került, amely dinamika kompresszióval, vagy a zenei anyag felosztásának megfelelő eltérő erősítéssel manipulálja az eredeti hanganyagot, ezáltal módosítja annak információ-tartalmát, zenei élvezhetőségét, illetve némely esetben információ-vesztést is okoz. Az általunk kifejlesztett eljárás újdonságtartalma éppen abban áll, hogy nem a már hosszú ideje

ismert, és elterjedten alkalmazott módszereket használtuk, hanem a felharmonikus-tartományba avatkoztunk be. A tézist sikerült igazolni.

VI. *A létrehozott új eljárás, eszköz implementálható digitális eszközökbe;*

Ezen tézis igazolása a dolgozatban nem történt meg, hiszen az elért eredmények szerint az eljárás működőképes analóg formában, azonban a digitalizálás még nem történt meg. A digitalizálás során alkalmazott mintavételezés és kvantálás jelentősen csökkenti a felhangok jelenlétét, így az eljárás hatékonyságát is. További tesztek és fejlesztések szükségesek ahhoz, hogy ezen tézist igazolni lehessen.

VII. *Az eljárás segítségével a zaj okozta halláskárosodás megelőzhető.*

További tesztek szükségesek ahhoz, hogy ezen tézist igazolni tudjuk. Az elért eredmények alapján a növekmény jelentős, azonban a manapság elterjedt digitális eszközök okozzák a fiatalok körében a legnagyobb számban a zaj okozta halláskárokat. A digitális változat nagyszámú tesztelése szükséges ezen tézis igazolásához.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Prof. Dr. Pytel Józsefnek, és Dr. Lujber Lászlónak, akik kitartóan ösztönztek a tudományos munkám során, és tanácsokkal láttak el a szakmai cikkeim publikálásakor és a mérések kivitelezésekor. Köszönettel tartozom továbbá kutatótársaimnak, Máthé Kálmánnak és Czimerman Lászlónak, akik nélkül nem jöhetett volna létre ez a kutatás. Szabadalmunk ötletgazdája és a prototípus megalkotója Máthé Kálmán volt. Nélküle nem valósulhatott volna meg ez a kutatás. Köszönettel tartozom továbbá a Pécsi Tudományegyetem Egészségtudományi Kar Doktori Iskolájának, Prof. Dr. Bódis Józsefnek, Prof. Dr. Sulyok Endrének a kutatásaim támogatásában, és a tudományos munkám elindításában. Köszönettel tartozom továbbá Prémusz Viktóriának és Szabó Petrának, akik a hosszú évek alatt nagyon sok hasznos tanáccsal láttak el, mindig segítőkészek voltak egy adott probléma megoldásánál. Köszönettel tartozom továbbá a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karának, ahol oktatóként és kutatóként is továbbvihettem a kutatásaimat. Köszönöm a tudományos közleményünk megjelenésében nyújtott támogatást is. Köszönettel tartozom továbbá Prof. Dr. Ásványi Józsefnek, aki nélkül nem jelenhetett volna meg a legutolsó közleményünk. Köszönöm a biztatást, segítséget és türelmet feleségemnek, Juhász Ágnesnek, és két kisfiamnak, Bagdán Mihálynak és Mártonnak, akik átérték velem ezeket az éveket.

Első sorban azonban köszönöm Uramnak és Istenemnek, aki megtartott mindezidáig, és akarata szerint eljuttatott a Ph.D fokozatszerzés lehetőségéig.

MTMT Statisztika, MTMT azonosító: 10031947

IF érték:	6.718
Folyóiratcikk	6
Könyvrészlet	2
Könyv	1
Egyéb konferenciaközlemény	11
Oltalmi formák	1
Egyéb	5
Összesen	26

Az értekezés alapjául szolgáló közlemények

[Z. Kvasznicza](#) ; [I. Gyurcsék](#) ; [Gy. Elmer](#) ; [V. Bagdán](#) ; [I. Horváth](#), *Mathability of EMC Emission Testing for Mission Crucial Devices in GTEM Waveguide*, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA , 15 p. (2021), **IF: 1,219**

[Bagdán, V.](#) ✉ ; [Máthé, K.](#) ; Czimerman, L. ; [Pytel, J.](#), *Non-linear distortion against hearing loss*, TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE 27 : 1 pp. 53-57. , 5 p. (2020), <https://doi.org/10.17559/TV-20180412145630>, **IF: 0,67**

[Bagdán, Viktor](#), *Halljuk-e az elektromágneses zavarjeleket?* (2020), Pollack Expo 2020.02.27-28, Villamosipari és informatikai szakmai előadások

[Kopcsányi, Gábor](#) ; [Vincze, Olga](#) ; [Bagdán, Viktor](#) ; [Pytel, József](#), *Retrospective analysis of tympanoplasty in children with cleft palate: A 24-year experience. II. Cholesteatomatous cases*, INTERNATIONAL JOURNAL OF PEDIATRIC OTORHINOLARYNGOLOGY 79 : 5 pp. 698-706. , 9 p. (2015), doi:10.1016/j.ijporl.2015.02.020, **IF: 1,125**

[Bagdán, V.](#) ; [Máthé, K.](#) ; Czimerman, L. ; [Pytel, J.](#), *Pszicho-akusztikai eljárás halláskárosodás megelőzésére / Psycho-acoustic method for preventing hearing-loss*, In: Kósa, Balázs; Springó, Zsolt (szerk.) *III. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia 2014 : Abstract*

[Bagdán, Viktor](#), *Harmonic Distortion Character of Amplifier Types*
In: *32nd International Conference Science in Practice (SiP 2014)*, Eszék, Horvátország (2014) Paper: Section 8/1.

[Bagdán, Viktor](#) ; [Máthé, Kálmán](#) ; Czimerman, László ; [Pytel, József dr.](#), *Pszicho-akusztikai eljárás halláskárosodás megelőzésére*, FÜL-ORR-GÉGEGYÓGYÁSZAT 2014 : 60 (2) pp. 44-46. , 3 p. (2014)

[Bagdán, Viktor](#) ; [Máthé, Kálmán](#) ; Czimerman, László ; [Pytel, József dr.](#), *Pszichoakusztikai eljárás halláskárosodás megelőzésére*, In: *A Magyar Fül-, Orr-, Gége és Fej-, Nyaksebész Orvosok Egyesülete Audiológiai Szekciójának 51. Vándorgyűlése*

[Bagdán, Viktor](#), *Halláskárosodást megelőző elektronikai eszköz: TV interjú* (2014), Kutatói portré, Pécsi Tudományegyetem, Tudománykommunikáció a "Z generációnak", <http://www.zgeneracio.hu/>

[Máthé, Kálmán](#) ; [Prof., Dr. Pytel József](#) ; Czimerman, László ; [Bagdán, Viktor](#), *Emberi fül torzítását modellező eszköz, valamint eljárás hangjel feldolgozására*, 110798-13773E/SZT , Benyújtás éve (szabadalom): 2012 , Benyújtás száma: 110798-13773E/SZT

[Bagdán, V.](#) ; [Máthé, K.](#) ; Czimerman, L. ; [Pytel, J.](#), *Elektronikus eszköz halláskárosodás megelőzésére: Electronic Device for Preventing Hearing-Loss*, In: *II. Interdisciplinary Doctoral Conference*, Pécs, Magyarország (2013) pp. 138-141. , 4 p.

[Bagdán, Viktor](#) ; [Máthé, Kálmán](#) ; Czimerman, László ; [Pytel, József](#), *Egy zajos kísérlet – Megelőzhetjük-e a halláskárosodást?*, EGÉSZSÉG-AKADÉMIA 4 : 3 pp. 195-198. , 4 p. (2013)

Bagdán, Viktor ; Máthé, Kálmán ; Czimerman, László, [Innovációs díjat kapott a Természetes Hangtorzítás elnevezésű Pollackos fejlesztésű találmány.: TV interjú](#) (2013), Pécsi Tudományegyetem, Universitas Televízió (UnivTv), Megjelenés: 2013. október 30., <http://www.univtv.pte.hu/hirek/692>,

Bagdán, Viktor ; Máthé, Kálmán ; Czimerman, László ; Pytel, József, [A Noisy Experiment: Can we prevent hearing-loss?](#), In: [PTE ETK Egészségtudományi Doktori Iskola III. Tudományos Fóruma](#) (2013) Paper: 15:45-15:55

Bagdán, Viktor ; Máthé, Kálmán ; Czimerman, László ; Pytel, József, [Természetes Hang Torzítás: Natural Sound Distortion \(NaSDi\)](#)
In: [„Középpontban az INNOVÁCIÓ”](#), (2013) Paper: 2. 9:00-9:15

Bagdán, Viktor, [Megelőzhetjük-e a halláskárosodást?: Előadás nem csak fesztivál-függőknek](#),
In: [Kutatók Éjszakája 2013](#) (2013) Paper: E78, 20:00-21:00

Máthé, Kálmán ; Czimerman, László ; **Bagdán, Viktor** ; Pytel, József, [NaSDi: Natural Sound Distortion, Természetes Hang Torzítás](#) (2013)
Rádió interjú a Kossuth Rádióban, Adás: 2013. június 25. 16:00-16:30,

Viktor, Bagdán ; Kálmán, Máthé ; László, Czimerman ; József, Pytel, [A Noisy Experiment: Can we prevent hearing-loss?](#), In: [SIP 2013 : 31st International Conference Science in Practice](#), (2013) Paper: sip_2a2

Viktor, Bagdán ; Kálmán, Máthé ; László, Czimerman ; József, Pytel, [Electronic Device for Preventing Hearing-Loss: Poster and Prototype stand showing / prototípus és poszter stand](#)
In: Dobay, Kata (szerk.) [PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM INNOVÁCIÓS NAP 2013](#) (2013) pp. 9:00-15:00.

Viktor, Bagdán, [Electronic Device for Preventing Hearing-Loss: Innovation Forum, University of Debrecen](#), In: Dr. Bene, Tamás (szerk.) [A Debreceni Egyetem Napja : Innovációs Fórum](#), (2013) Paper: 1.

Viktor, Bagdán ; Kálmán, Máthé ; László, Czimerman ; József, Pytel, [Electronic Device for Preventing Hearing-Loss](#), In: Zoltán, Kvasznicza PhD (szerk.) [Science in Practice 2012 : Scientific Electrotechnical Conference](#), Pécs, Magyarország : Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar, (2012) Paper: A202-O2

Viktor, Bagdán ; Kálmán, Máthé ; László, Czimerman ; József, Pytel MD., [Electronic Device for Preventing Hearing-Loss](#), In: János, Szentágothai Scholastic Honorary Society (szerk.) [Abstracts of the János Szentágothai Memorial Conference and Student Competition](#)
Pécs, Magyarország : János Szentágothai Scholastic Honorary Society, Faculty of Sciences, University of Pécs, (2012) pp. 25-25. , 1 p.

Viktor, Bagdán ; Kálmán, Máthé ; László, Czimerman ; József, Pytel, [Electronic device for preventing hearing-loss](#), In: Szabó, István (szerk.) [1st International Doctoral Workshop on Natural Sciences, University of Pécs](#), Pécs, Magyarország : University of Pécs, (2012) pp. 15-16. Paper: O-02 , 2 p.