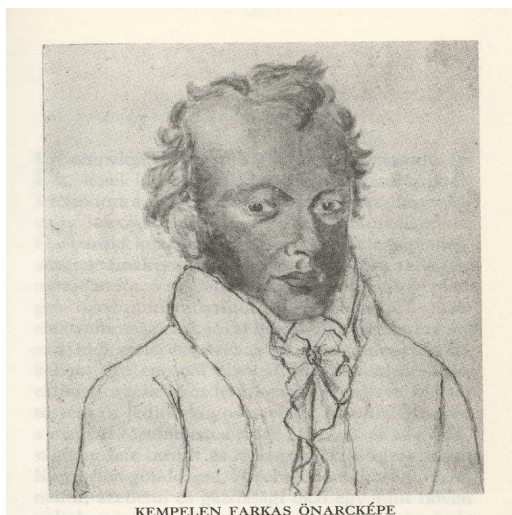


KEMPELEN FARKAS BESZÉLŐGÉPÉNEK REKONSTRUKCIÓJA

Nikléczy Péter – Olaszy Gábor

Bevezetés

Kempelen Farkas (1734-1804), a világ első „beszélőgépe” alkotója, a XVIII. század második felének híres tudósa, feltalálója volt (Tarnóczy 1946). A barokk kor mechanikai eszközeinek világában alkotott, és új gondolataival kiemelkedő teljesítményt mutatott fel, az akkori lehetőségek maximumát nyújtotta. A világ első kísérleti fonetikusának is nevezhető, mivel ő alkotta meg az első olyan mechanikus szerkezetet, amely az emberi hanghoz nagyon hasonló hangzású jeleket tudott kiadni.



1. ábra
Kempelen Farkas önarcképe

Beszélőgépét 22 éven át tökéletesítette, a végleges változatot az 1791-ben Bécsben megjelent könyvében írta le részletesen. A könyv címlapján ez olvasható: *Wolfgang von Kempelen, k.k. wirklichen Hofrats, Mechanismus der Menschlichen Sprache nebst Beschreibung seiner sprechenden Maschine. Mit XXVII Kupfertalen.*

A könyv magyar változatát (Mollay Károly fordításában) 1989-ben a Szépirodalmi Kiadó adta közre: „Az emberi beszéd mechanizmusa, valamint a szerző beszélőgépének leírása” (XXVII metszeti rajzzal) címmel. Kempelen a tudós alaposágával tanulmányozta az emberi hangképzést. Számos olyan megállapítást fogalmazott meg, amelyet később a tudomány is igazolt (Gósy 2000). Tanulmányozta az állatok hangadását, a nem beszéd jellegű emberi hangképzést (fütyülés, krákogás, horkolás, csók), sőt a beszédhibákat is, hogy minél jobban megértse az emberi hangképzés mechanizmusát. Eredményei alapján javaslatokat is tett a beszédhibák javítására.

Leírásai, könyvének rézmetszetei előremutatóan ismertették a beszédszerveket, azok működését és részvételüket az egyes beszédhangok képzésében, valamint az azoknak megfelelő „imitált” változatát a beszélőgép alapján.

A beszélőgép

Kempelen 1769-ben kezdte építeni első beszélőgépét és fáradhatatlanul dolgozott terve megvalósításán: „Leírhatatlan türelemmel folytattam kísérleteimet, és ma sem értem, hogyan tudtam hónapokon át művemem dolgozni anélkül, hogy egy lépéssel is előbbre jutottam volna. Az a bizonyosság azonban, hogy a beszédnek utánozhatónak kell lennie, megerősített kitartásomban....” (1791/1989, 295). Huszonkét évi kutató és fejlesztő munka után alakította ki a végleges változatot, amit könyvében ismertetett. Kezdeti kísérleteiben úgy gondolta, hogy a magánhangzók megszólaltatására az orgonasípkhoz hasonlóan külön-külön szerkezetet kell működésbe hozni. 1773-ban ilyen módszerrel már 4 magánhangzóhoz hasonló hangot tudott előállítani, de az [i] nem sikerült. Ekkor jött rá az „egy zöngéhang – egy szájüreg” elvre, vagyis arra, hogy ugyanazon alapmechanizmussal (zöngével és artikulációs csatornával) kell a különböző hangokat előállítani. A tudós gondolkodás nélkül hagyta veszni a négy év kutatási eredményeit, hogy új

megközelítésből próbálja meg a beszéd előállítását. Erről így írt könyvének 302. lapján:” ...mindent előlről kellett kezdeni, de nem bántam sem a fáradságot, sem a költségeket, mivel úgy véltem, hogy az a hat betű, amelyeket általuk megszereztem, és amelyek a következőkben megkezdett új, homályos utamat bevilágították, gazdagon megjutalmazott. De nem maradt annyiban; két kezem munkájával, fáradságosan nagyon sokat készítettem el és megint félredobtam. ... Ha minden kudarcot olyan részletesen írnék le, mint az előzőt, akkor a munkámat könnyen még egy kötettel szaporíthatnám... Elég, ha azt mondom, hogy én mindent összevéve annyi gépezetet dobtam el könnyűszerrel, amennyit egy erős lóval is alig lehetett elszállítani”.

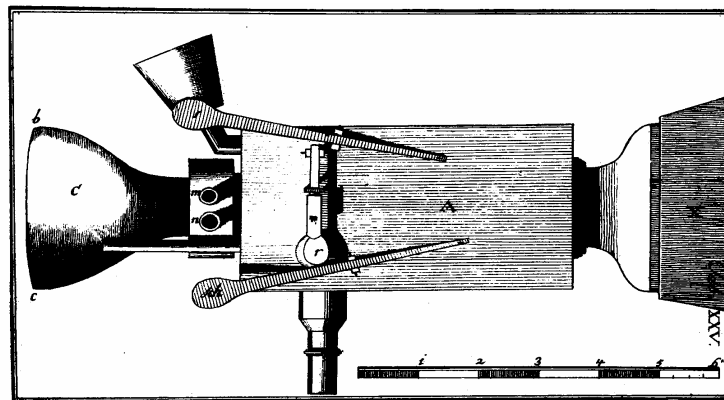
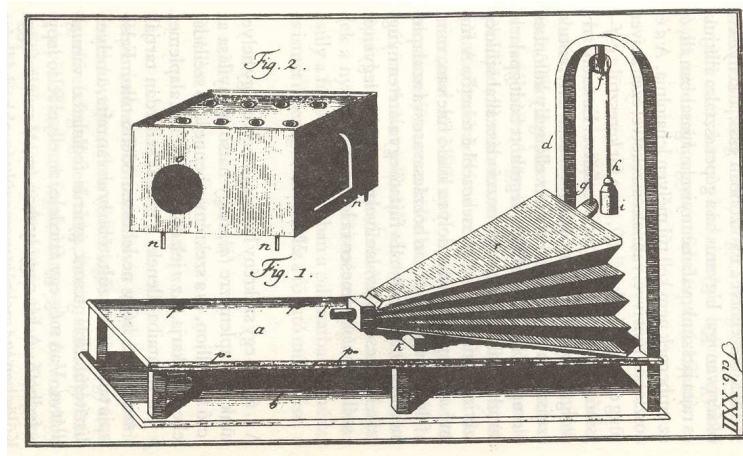
Sok év kutatása után alakult ki a fújtatóval ellátott (vö. 2. ábra, Kempelen eredeti metszetei alapján) soros működésű szerkezet gondolata (hasonló az emberi hangképzés rendszeréhez).

A fújtatóból a levegő a „szélláda” belsejébe, egy légmentesen lezárt fadobozba áramlott. A dobozban foglalt helyet a zöngképző rezgőnyelv, valamint két szelep, amelyeket a gép tetején elhelyezett bilentyűkkel lehetett nyitni (alaphelyzetben ezek zárva voltak). A zöngképző rezgőnyelvet a levegőnyomás megrezegtette (a szelepek ilyenkor zárva voltak). Ekkor keletkezett a zöngéhang. A rezgőnyelv folytatásában helyezte el Kempelen a garatnak megfelelő további csövet, amelyből két ornyílást nyitott felfelé (ezek kis cső formájában álltak ki). Ez a cső a szájüreget képviselő gumi tölcsérbe torkollott, ezen a ponton jött ki a zöngés hang a gépből. A gumitölcsér alakjának kézzel történő változtatásával lehetett a magánhangzókhoz közel álló hangzást elérni.

A fadoboz belsejében elhelyezett két szelep nyitott állapotban a doboz jobb, illetve bal oldala felé engedte áramolni a levegőt. Kempelen a fadoboz bal oldalára egy furulyából átalakított rezonátort épített és úgy hangolta, hogy abból az [Σ] hanghoz hasonló réshang keletkezzen.

A fadoboz jobb oldalára olyan rezonátort épített, amelyik az [f] hanghoz hasonló kis intenzitású zörejt állított elő a rajta átáramló levegő hatására. Az [r] hang előállítására különleges megoldást kísérelte ki. A pergő hang létrehozására kihasználta a zöngé képzésére ki-

alakított rezgőnyelv mozgását. Egy igen vékony függőleges irányú fémcsapot szerelt közvetlenül (1 mm) a rezgőnyelv fölé. A doboz fel-



2. ábra

A beszélőgép rajza (felső kép), valamint a szelláda és a rajta lévő kezelőkarok (alsó kép)

ső felületére (ahol a két szelep nyitóbilleentyűi is voltak) készített egy harmadik billeentyűt, ez szolgált az [r] hang előállítására. A billeentyű megnyomásával a fémcsapot közvetlenül a rezgő nyelvre engedte, így az függőleges irányba elkezdett mozogni és ütögetni kezdte a billeentyűre helyezett kis fadarabot. Így jött létre egy olyan pergő hang, amely hasonlított az uvuláris [R] hanghoz.

A gépet két kézzel lehetett működtetni. A jobb kéz könyökével a fűjtatót kellett lenyomni, a kéz ujjai pedig az ornyílás két lyukának befogását vagy felnyitását illetve a gép billeentyűinek kezelését kellett egyidejűleg elvégezni. Az öt ujjnak a következő funkciói voltak: a hüvelykujj – az [r] hang billeentyűje; a mutatóujj – az [Σ] hangé; a középső és a gyűrűs ujj a két orrlyuk nyílásának lezárása; a kisujj az [f] hang billeentyűje. A bal kéz szolgált a gumitölcsér alakjának a változtatására, illetve a teljes befogására (például, amikor az [m] hangot vagy zöngétlen réshangot kellett előállítani). Kempelen részletesen, minden hangra kiterjedően leírja, hogy milyen mozdulatokat, finom mozgásokat kellett megvalósítani az adott hang megszólaltatására.

A leírtakból érzékelhető, hogy csak bonyolult mozdulatsorok begyakorlásával lehetett értelmes szótagokat, szavakat előállítani a szerkezettel. Ebből következik, hogy csak hosszú gyakorlás után lehetett ujjainkat, kezünket és könyökünket összehangolva használni. Erről Kempelen így írt: „Három hét leforgása alatt bámulatos készséget szerezhethünk a játékban....” (i. m. 338). Kempelen gépe gyermekhangon szólt, több nyelven lehetett vele szavakat előállítani: „Én minden egyes francia vagy olasz szót, amelyet előre mondanak nekem, rögtön utána mondatom, ezzel szemben egy kissé hosszú német szó mindig sok fáradságomba kerül, és csak ritkán sikerül egészen érthetőre.” (i. m. 339)

A rekonstrukció

A rekonstrukció Kempelen Farkas 1791-ben kiadott könyvének magyar nyelvű változata alapján, valamint a müncheni Deutsches Museum-ban és a bécsi Hochschule für angewandte Kunst-ban végzett tanulmányok felhasználásával készült. (Kempelen kísérletei során több gépet is épített. Egy ilyen korábban készített eredeti példányt a müncheni Deutsches Museum őriz.)

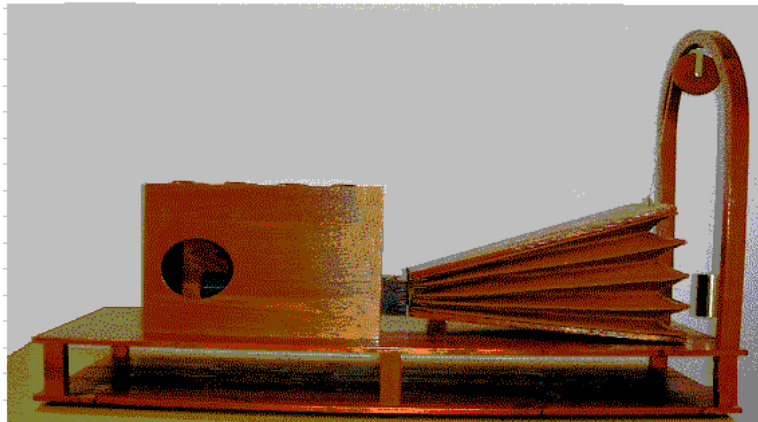
A rekonstrukciót a Millenáris Kht. támogatta, a rekonstruált szerkezet Budapesten az „Álmok álmodói, világraszóló magyarok” című kiállításon látható.

A beszélőgép megépítésének tervezői és kivitelezői a jelen tanulmány szerzői. A gép rekonstruálásával Kempelen utolsó, véglegesnek szánt szerkezetét akartuk megépíteni, azt, amelyiket a könyvében részletességgel leírt. Az volt a célkitűzésünk, hogy ne csak kiállítási tárgyat, hanem működő szerkezetet készítsünk (3. ábra). Ez több szempontból volt fontos. Ha működik a szerkezet, akkor előállíthatunk hangokat (esetleg hangsorokat). Ki lehet próbálni azokat a hangelőállítási formákat, amiket Kempelen leírt, amelyeknek könyvében oly sok oldalt szentelt. Ezzel visszaléphetünk az időben 210 évet, és a barokk kor egyik legértékesebb szerkezetét, annak működését tanulmányozhatjuk. A gép hangjának akusztikai összetevőit megvizsgálhatjuk a mai korszerű jelfeldolgozási eljárásokkal, és a mérések adataival igazolhatjuk vagy cáfolhatjuk Kempelen állításait. Fontos szempont az is, hogy olyan eszközt adunk a beszéd- és Kempelen-kutatók kezébe, amely eddig nem állt a rendelkezésükre. Fontos tudománytörténeti feladatnak tekintettük, hogy képet alkossunk a fonetikai kutatások kezdeteiről. Ezen kívül maradandó emléket állíthatunk Kempelen Farkasnak és fonetikai munkásságának.

A gépet eredeti méretében rekonstruáltuk (100 cm x 40 cm x 40 cm). Az újraépítés folyamán mi is hasonló zsákutcákat jártunk végig, amilyeneket Kempelen Farkas. Ez abból fakadt, hogy egy olyan 210 évvel ezelőtti mechanikus szerkezetet kellett létrehoznunk, amelyiknek csak az alapvető tulajdonságait ismerhettük meg a korabeli leírásból, az előállítás bizonyos részletei azonban hiányoztak. Néhányat felsorolunk. A fűjtató légmentes csatlakoztatását és szelepkonstrukcióját Kempelen nem írta le. Szintén nem szerepel a leírásban, hogy milyen fát használt a szelláda elkészítéséhez. A szelepeket vezérlő felső karok és a szelepfedél közötti összeköttetést úgy kellett megoldani, hogy a szelláda légmentességét a lehető legkevésbé veszélyeztessük. A szelláda légmentes lezárása azért fontos, hogy a fűjtatóból befűjt levegő nyomásnövekedést okozzon, ami vagy a rezgőnyelvet rezegteti meg, vagy az oldalsó szelepek felé áramlik ki nagy erővel (ha felnyitjuk azokat). Ha elszökik a levegő, akkor a gép nem megfelelő

hangot ad ki. További problémát okozott a zöngétlen zárhangok zár-felpattanásának erősítésére szolgáló alsó, kiegészítő-fújató méretének és a hozzá kialakított visszacsapó-rugó nyomóerejének meghatározása. Nem megfelelő méret és rugónyomás esetén ugyanis a szerkezet nem telítődik levegővel, és zár-felpattanás létrehozása esetén nem ad megfelelő segédnyomást. Az újraépített szelládát a 4. ábra mutatja. Hasonlóan nehéz probléma volt megtalálni a megfelelő szerkezeti megoldást a zöngéhangot szolgáltató rezgőnyelv kialakítására. Itt is követtük Kempelen részletes leírását és rajzait, de felhasználtuk a mai technikát is (zöngkép kirajzoltatása, frekvenciakomponensek meghatározása stb.). Több rezgőnyelvet készítettünk és próbáltunk ki. (Mindig be kellett építeni a gépbe, ami

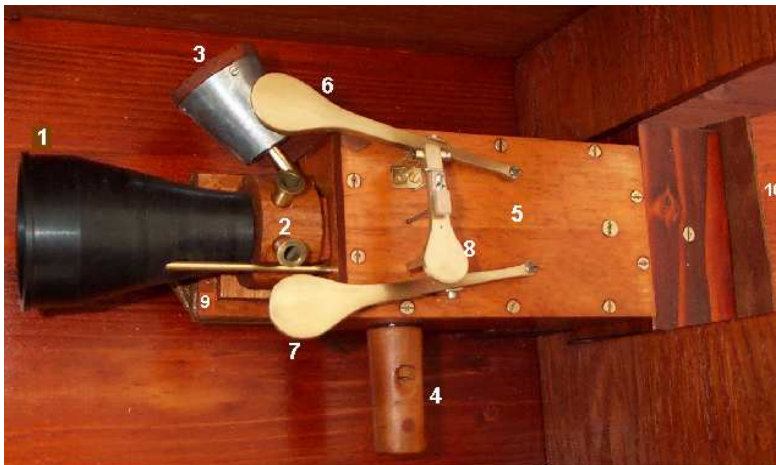
3. ábra



A 2001-ben rekonstruált, működő beszélőgép

önmagában sem volt egyszerű feladat, hiszen a rezgőnyelv a gép legbelsejében volt). A rezgőnyelv mérete, vastagsága, rögzítése mind befolyásolja a kiadott hang minőségét. Kempelennek saját bevallása szerint is gondot okozott a megfelelő rezgéseket előállító síp létrehozása. Csak sejtette, hogy a beszédhangok létrehozásához olyan alaprezgésekre van szükség, ami hasonlít a hangszalagok által létrehozott le-

vegőrezgésre. Ma úgy fogalmazunk, hogy a rezgésnek intenzív felhangszerkezettel kell rendelkeznie. Bár nem állt rendelkezésre olyan berendezés, amivel ezt vizsgálni tudta volna, ennek ellenére jó érzékel alkalmazta a közönséges kocsmai duda rezgő nyelvét a hangszalagok helyettesítésére. Azt nem tudhatjuk, hogy a végső változatban hogyan sikerült megfelelő felhangtartalommal rendelkező rezgést létrehozó sípot kialakítania, de a könyvben leírt nehézségeket megérthetjük, ha az 5. ábrát elemezzük. Az ábrán a 2001-ben rekonstruált beszélőgép (bal oldali ablak) és a Münchenben található korábbi, eredeti változat (jobb oldali ablak) hangjáról készített spektrogram látható.

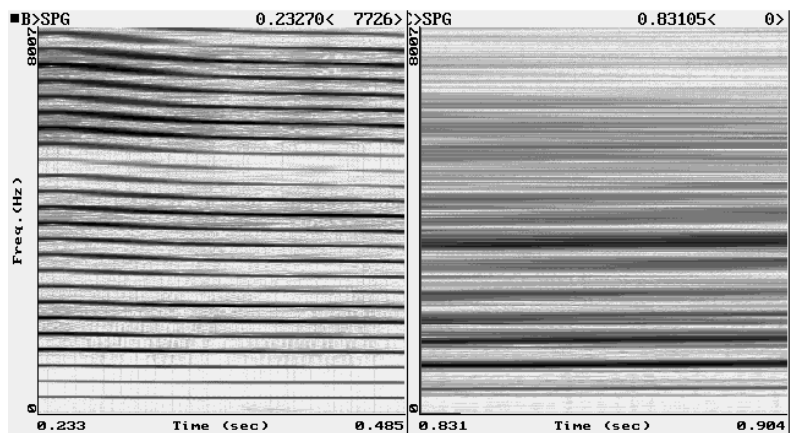


4. ábra

A rekonstruált beszélőgép belseje a kezelőszervekkel. 1- a szájnyílás; 2- az orrnyílások; 3,6- az [f] hang és billentyűje; 4,7- az [Σ] hang és billentyűje; 5- a szélláda; 8- az [r] hang billentyűje; 9- a kiegészítő fűjtató a zárhangok előállításához; 10- a fűjtató becsatlakozása a szélláda

A bal oldalon a felhangstruktúra jól elkülönülő, sok felharmonikust tartalmaz, a jobb oldali kép azonban meglehetősen elmosódott, hiá-

nyos felhangtartalmú jelet mutat. Kempelen egyik köztes beszélőgépének rezgőnyelve tehát nem produkált ideális hullámalakot, így a gép artikulációs csatornájával nehezebb lehetett tiszta beszédhangokat előállítani, mint a rekonstruált változattal.



5. ábra

A rezgőnyelvek által létrehozott felhangszerkezetek.

Bal oldal: a 2001-ben rekonstruált változat, jobb oldal: Kempelen által készített kísérleti változat (Deutsches Museum)

A műszeres mérési lehetőségek is segítettek munkánkat a hangok, hangsorok előállításánál. Sokat jelentett az a tény, hogy ma már sokkal többet tudunk a beszédhangok előállítási mechanizmusáról (miben különbözik az egyes magánhangzók akusztikai szerkezete). A magánhangzók előállításánál például a formánsstruktúra figyelembevételével határoztuk meg a szájat képező gumiharang méretváltoztatásának módját, illetve a megfelelő hang kialakításához szükséges kézmozdulatot. Ez megkönnyítette munkánkat, hiszen Kempelen utasításai a magánhangzók előállítására csak nagyvonalú tájékoztatást adnak:

„Az összes magánhangzót csak bal kezünkkel képezzük, azaz kezünk nagyobb vagy kisebb távolsága a tölcsér peremétől határozza meg őket. Pontosán nem adhatom meg ugyan, hogy kezünknek mennyire kell mindegyiknél visszahúzódnia, mivel sok múlik azon, hogy a rugalmas tölcsérnek mennyivel nagyobb vagy kisebb az átmérője, viszont azok a távolságok, amelyeket kezünknek be kell tartania, gyakorlás révén és hallásunk útmutatása alapján könnyen megtalálhatók. Csupán annyit akarok megadni, körülbelül mely tájakon kell egy-egy magánhangzót keresnünk és ezek milyen sorrendben következnek egymás után az egyre szűkülő nyílások révén.

Az A magánhangzónál, amelyet a beszéd alaphangjának tekintek, kezünk a szájníylástól egészen távol van, hogy a zöngé szabadon jöhessen ki.

Erre következik az E. Ennél kezünket kissé begörbítjük és a száj alsó peremére tesszük, felső peremétől azonban körülbelül egy hüvelyknyire áll.

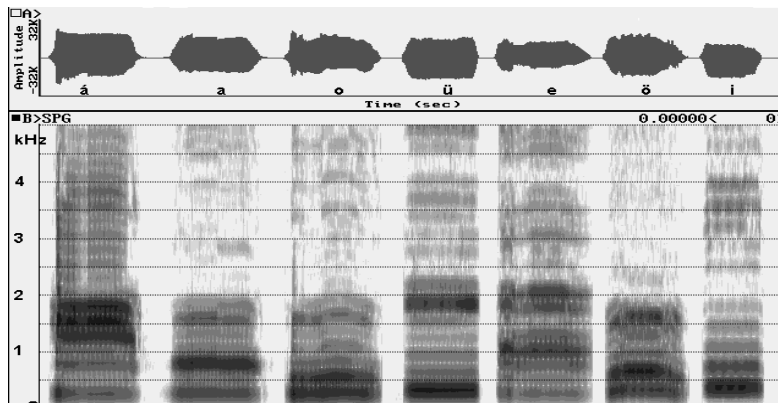
Az O-nál markunknak több mint a felét közelítjük a száj felső pereméhez.

Az U-nál tenyerünket egészen közel tartjuk a száj egész nyílása elé, de mégis úgy, hogy a nyílást ne egészen fedje el, tehát a zöngé még mindig hangozhat.

Az I-nél tenyerünket erősen nyomjuk a száj teljes peremére, és csak a mutatóujjunktartásuk olyan távol, hogy alsó percénél egy kis nyílás keletkezzék, amelynél a zöngét – valamivel több erővel, mint a többi magánhangzónál – kell kinyomni.” (i. m. 328).

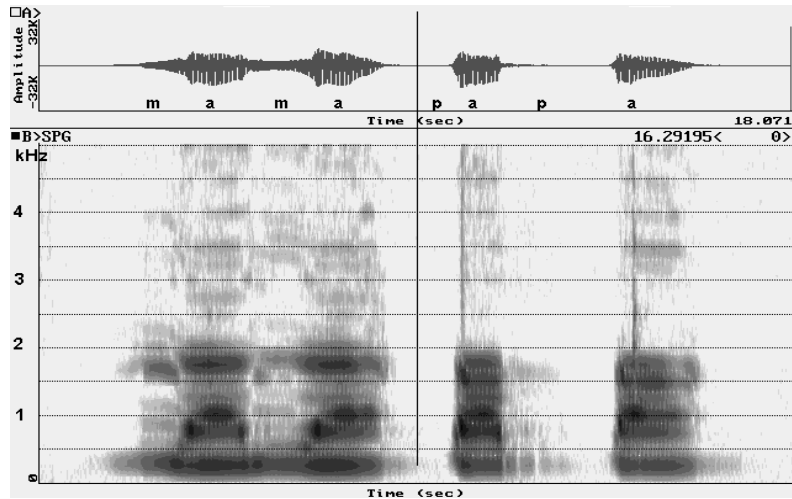
Az általunk előállított magánhangzókat s azok formánsszerkezetét a 6. ábra mutatja. A géppel – megfelelő gyakorlás után – rövid hangsorokat hoztunk létre magyar (*mama, papa, sás* stb.), német (*Es war*), francia (*Je t'aime*), angol (*I go*) nyelven. A magyar *mama* és *papa* szavak rezgésképét és hangspektrogramját a 7. ábrán mutatjuk be.

Eredményeink megerősítették, hogy Kempelen a könyvében írt útmutatások alapján a géppel hangokat, hangsorokat állított elő. Az általunk előállított „beszéd” szaggatott, lassú, hiszen a másodperc tört része alatt kell a hangképzéshez a két kézzel a megfelelő mozdulatokat



6. ábra
A rekonstruált géppel előállított magánhangzók rezgése és
spektrogramja

megtenni (a mai átlagos beszédsebesség 13-16 hang másodpercenként). Erről a fizikai korlátról Kempelen is tett említést. A gép ezért csak rövid hangsorok megszólaltatására alkalmas. A hangminőséget az is erősen befolyásolja, hogy milyen hangok vannak az adott hangsorban. A zárhangok közül a legmegfelelőbb utánzatot a [b], [p] hangoknál lehet elérni. A réshangoknál az [Σ] és [f] hangok hangzását a legkönnyebb előállítani, hiszen erre külön billentyű szolgál. A két hang magánhangzókhoz viszonyított intenzitása azonban a gép szerkezetéből kifolyólag elmarad a kívánt értéktől, ami hangsor előállításánál erősen zavaró. Ezért a réshangokat tartalmazó hangsorok réshang részében az intenzitás lényegesen kisebb, mint amennyi kívánatos lenne. A [v] hang megfelelően gyors kézmozdulattal a magánhangzókhoz hasonló minőségben készíthető el. A zár-rés hangok előállítása nehéz, mivel azokban a hangfázisokat olyan rövid idő alatt kell változtatni, amit csak hosszú gyakorlással lehet megszerezni. Az [l] hang szintén előállítható, azonban hangsorokban a kéz helyzetének gyors változtatására van szükség. Az [r]-hangnak csak az uvuláris változata állítható elő (ez kifejezetten előnyös német szavaknál), mivel



7. ábra

Az előállított *mama* és a *papa* hangsorok szerkezete
(oszcillogram és spektrogram)

a rezgő nyelvre ráhelyezkedő fémrúd, miközben átveszi a nyelv rezgését súlyánál fogva, bizonyos mértékig akadályozza is annak mozgását.

Összefoglalás

Kempelen Farkas beszélőgépeinek rekonstrukciója elsősorban a fonetika tudománya szempontjából nagy jelentőségű. A gép üzemképes, ezért lehetőség nyílik arra, hogy korhű technológiával állítsunk elő beszédhangokat, hangsorokat, ahogyan Kempelen állíthatta elő azokat annak idején. A géppel való gyakorlás rávilágított azokra a nehézségekre, amikkel Kempelen is szembe került. Igazolódott, hogy Kempelen csak hangokat, szótagokat, szavakat, esetleg rövid mondatokat tudott előállítani gépével. A beszélőgéppel Kempelen – tudtán kívül – új korszakot nyitott meg: az ember-gép kapcsolat beszéddel megvalósított korát, ami most kezd kiteljesedni a 21. század elején. Ő

alkotta meg a világ első több nyelvű artikulációs beszédkeltő szerkezetét. Meg kell jegyezni, hogy az utóbbi évtizedek intenzív kutatásai ellenére sem sikerült mind a mai napig kifejleszteni olyan artikulációs beszéd szintetizátort, amelyikkel folyamatos beszédet lehet előállítani. Kempelen élete legnagyobb alkotásának tartotta a beszélőgépet, de korában messze nem ismerték fel annak jelentőségét. Később sokan lemásolták, továbbfejlesztették ezt a gondolatot, többek között az angol fizikus Wheatstone 1837-ben, a bécsi matematikus Faber 1846-ban (Tarnóczy 1984).

Kempelen gondolata, a mechanikus beszédkeltés a 21. században újra feléledni látszik. Japánban végeznek olyan kísérleteket, amelyekben kisméretű (az emberéhez hasonló nagyságú) mechanikus szerkezettel, szándékoznak beszédet előállítani robotokban való alkalmazásra. A szerkezet az artikulációs csatornát megfelelő átmérőjű csővel utánozza, a hangadáshoz szükséges levegőt kis méretű, nagy teljesítményű pumpa szolgáltatja, az artikulációs csatorna keresztmetszetének változtatását pedig léptetőmotorokkal oldják meg. A vezérlést mikroprocesszor végzi. Az első kísérleti eredmények arról számolnak be, hogy a magánhangzókat megfelelő minőségben már elő tudták állítani.

Irodalom

- Dudley, H. – Riesz, R. – Watkins, S.A.(1939): A synthetic Speaker. J. Franklin Inst. 227. 739-764.
- Dudley, H. – Tarnóczy, T. (1950): The speaking machine of Wolfgang von Kempelen. JASA 22. 151-166.
- Flanagan, J. (1972): Voices of men and Machines. JASA 51. 1375-1387.
- Gósy, M. (2000): On the early history of Hungarian speech research. International Journal of Speech Technology 3/3-4., 154-164.
- Kempelen Farkas (1791 alapján 1989): Az emberi beszéd mechanizmusa, valamint a szerző beszélőgépeinek leírása. Szépirodalmi Könyvkiadó. Budapest.
- Tarnóczy Tamás (1946): Kempelen Farkas beszélőgépe. Természettudomány I., 52-56.