

# Humán és elektronikus érzékszervek integrációja élelmiszeripari kutatásokban

KÓKAI Zoltán<sup>a,\*</sup>, KOVÁCS Zoltán<sup>b</sup>, DALMADI István<sup>c</sup>, SIPOS László<sup>a</sup> HESZBERGER JÁNOS<sup>d</sup> és KOLLÁRNÉ HUNEK Klára<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Érzékszervi Laboratórium, Villányi út 29-35. 1118. Budapest, Magyarország

<sup>b</sup>Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Fizika-Automatika Tanszék, Somlói út 14-16. 1118. Budapest, Magyarország

<sup>c</sup>Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Hűtő- és Állatitermék Technológia Tanszék, Ménesi út 45. 1118. Budapest, Magyarország

<sup>d</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszék, Kémiai Informatika Csoport, Szent Gellért tér 4. 1111 Budapest, Magyarország

## 1. Bevezetés

Az érzékszervi vizsgálatok a kémiai tudományok egy sajátos oldalágát képezik. A hazai felsőfokú képzésben és kutatásban általában az élelmiszertudomány területéhez kapcsolódik, s jellemzően inkább alkalmazott kutatásokban van hangsúlyos szerepe. A nemzetközi szakirodalomban, az utóbbi évtizedekben érzékszervi tudományként (sensory science) jelenik meg, s megköveteli művelőitől az analitikus szemléletet a kísérletek tervezése, megvalósítása és értékelése során. A szakterületen irányadónak számító ISO szabványok a következő definíciót adják: "Egy termék vagy vizsgálati minta érzékszervekkel észlelhető jellemzőinek vizsgálatával foglalkozó tudomány."<sup>1</sup> A szakterület fejlődését jelzi, hogy számos nemzetközi konferencia (pl. Pangborn Symposium, Sensometrics Conference) és közel 40 ISO szabvány foglalkozik az érzékszervi vizsgálatokkal. A tudomány és technika előrehaladása természetesen itt is megmutatkozik, a korszerű érzékszervi laboratórium speciális célszoftverrel van felszerelve, mely többek között képes arra, hogy a vizsgálati eredményeket az alapvető statisztikai értékelésen túl matematikai modellekkel is elemezze.<sup>2</sup> Egy másik jelentős fejlődési irány a mesterséges érzékszervek megjelenése, mely leginkább a kémiai érzékelés (a szaglás és ízlelés) területéhez kapcsolódik. Az elektronikus érzékszervek sikeres integrálásához azonban szükséges az, hogy a humán érzékszervi vizsgálatokat megfelelő módon értelmezzük és valósítsuk meg.

## 2. Analitikai megközelítés az érzékszervi vizsgálatokban

Mint a természettudományokra általában jellemző, az érzékszervi vizsgálatok is megkövetelik művelőjüktől az analitikai szemléletet. Ennek alapja az, hogy bár a műszereket ez esetben az emberi érzékszervek helyettesítik, az elsődleges feladat mégis a mérhető (érzékelhető) ingerek küszöbértékének, különbözőségének vagy intenzitásának megállapítása. A cél tehát elsősorban nem az, hogy megállapítsuk egy adott mintáról annak jóságát vagy rosszását (kivéve a fogyasztói teszteket). Ahogyan Bertrand Russell rámutatott „annak a kérdésnek az

eldöntése, hogy valamely dolog önmagában jó vagy rossz-e ... kívül esik a tudomány hatáskörén.”<sup>3</sup>

Amennyiben egy érzékszervi kutató magévá teszi ezt az elemző típusú szemléletet, azt fogja tapasztalni hogy kísérleti eredményei alkalmasak lesznek párhuzamosan elvégzett műszeres analízisek adataival való közös elemzésre, így az érzékszervi tudomány előrehaladását fogják szolgálni.<sup>4</sup>

## 3. Érzékszervi bírálók képzése és validálása

Minden mérés vagy kutatás sikerét alapvetően befolyásolja az alkalmazott mérőeszközök pontossága és megbízhatósága. A kémiai tudományokhoz viszonyítva ez az a pont ahol talán a legnagyobb a különbség. Sok esetben az emberi érzékszervek felveszik a versenyt a műszerek érzékenységével, azonban azok reprodukálhatóságát nem, vagy csak részben képes megközelíteni egy érzékszervi bíráló. A nemzetközi gyakorlat alapján három típusú bírálót különítünk el: laikus, kiválasztott és szakértő. A kutatási gyakorlatban mindegyik típus alkalmazásának helye van a kísérlet céljának figyelembe vétele alapján. A helyes megközelítés ez esetben is az, hogy ezek a bíráló típusok nem jobbak vagy rosszabbak egymásnál, hanem különbözőek. Az általuk szolgáltatott adatok olyan módon egészítik ki egymást, mint a műszeres mérések esetében három eltérő alapelvű módszer adatai.

A kiválasztott és szakértő bírálókra jellemző, hogy ismerjük érzékszerveik pontosságát az által, hogy bizonyos ingeranyagok segítségével megmérjük azokat. Különösen a kiválasztott bírálók esetében igaz, hogy nem egyedül, hanem bíráló csoport (panel) tagjaként dolgozik. Egy bírálócsoport eredményességét a mindennapos munkájuk során többféle módon lehet mérni és elemezni. Ezek közül néhány jellemző módszer:

- A bírálók eredményeinek normalitásvizsgálata. Célunk annak vizsgálata, hogy a panel átlaga megfelelően jellemzi-e a panel tagjai által adott értékeket?

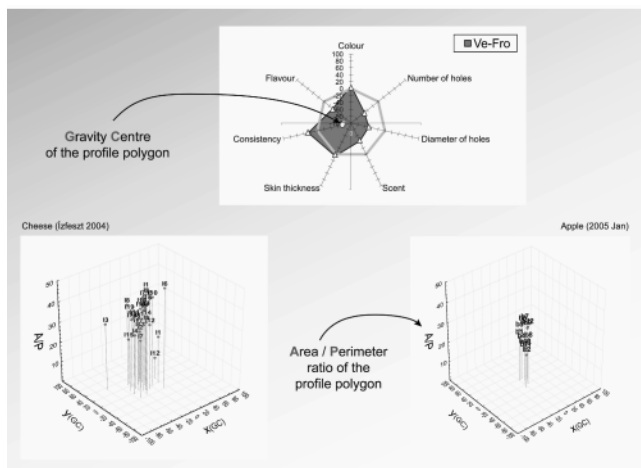
\*Főszerző. Tel.: +36-1-482-6351 ; fax: +36-1-482-6326 ; e-mail: zoltan.kokai@uni-corvinus.hu

- A bírálói panel ismétlődőképessége: Ugyanazon bírálók ugyanazon mintát ugyanúgy értékelik-e két egymást követő bírálat során?
- Homogenitás vizsgálat: A csoportot alkotó bírálók a mintákat ugyanolyan módon értékelik-e?
- A vizsgált tulajdonságok megfelelő mértékben diszkriminálják-e a vizsgálati mintákat? (Newman-Keuls próba)

#### 4. Bírálók és bírálói panel teljesítményének vizsgálata

Az érzékszervi bírálók által szolgáltatott adatok megbízhatósága bár mindig fontos vonatkozása volt az ilyen jellegű kutatásoknak, azonban az ezzel kapcsolatos célszoftverek csak az utóbbi évtizedben jelentek meg. Az egyik leggyakrabban hivatkozott program a norvég fejlesztésű, ingyenesen letölthető PanelCheck,<sup>5</sup> amely az egyéni bírálói adatokat ún. eshell diagramokon ábrázolja.

A BME és a BCE kutatócsoportja egy eltérő megközelítést alkalmazó módszert dolgozott ki, s bár ez is grafikus módon jeleníti meg az egyes bírálók teljesítményét, alapelveiben eltérő a fent említett rendszertől. A kutatócsoportunk által fejlesztett vizsgálati módszerrel a profilanalízisből származó bírálói eredményeket tudjuk vizsgálni. A profilanalízis a leíró vizsgálatok közé tartozik. A 'leíró' megnevezés itt nem arra utal, hogy a bírálók a mintákat csupán szöveges módon jellemzik. Azért kapta az eljárás ezt a megnevezést mivel olyan részletes adatmátrixot szolgáltat a vizsgálati mintákról, amelyek mintegy leírják, részletesen jellemzik azokat. A profilanalízis egyik fontos eredménye a profildíagram. Ez tekinthető a vizsgált termék érzékszervi fényképének. Ennek a profil poligonnak a geometriai tulajdonságainak vizsgálatán alapul az új eljárás: annak terület/kerület arányát és geometriai súlypontját vizsgálja. Innen is származik elnevezése: az angol Gravity Centre és Area/Perimeter szavak kezdőbetűiből kapta elnevezését.<sup>6</sup> A módszer logikai felépítését az 1. ábra mutatja be.



1. Ábra. Profilanalízis eredményét bemutató poligon elemzése a GCAP módszerrel.

A GCAP módszer egyik előnye az, hogy az eredményeket egy könnyen értelmezhető háromdimenziós ábrán mutatja be. A statisztika területén kevésbé járatos érzékszervi bírálóknak is érthető és informatív módon mutatja meg az egyének és a csoport teljesítményét. Fontos figyelembe

venni azt is, hogy az egyes bírálók érzékszervi teljesítménye és érzékenysége egyéni adottság, amely bizonyos határok között gyakorlással fejleszthető. Akár az egyén, akár a csoport teljesítményének vizsgálata a cél, semmiképpen sem a hibákat vagy az alkalmatlanságokat keressük, hanem a meglévő képességüket mérjük fel, vagy az esetleges gyengeségeket korrigáljuk.

Alkalmazható a bírálócsoport tagjainak minősítésére a klaszter-analízis is, ez esetben a választott algoritmus jellegétől függően kisebb-nagyobb mértékben eltérő eredményeket kaphatunk. Ez a vizsgálat a bírálócsoport tagjainak eredményei között keresi a hasonlóságokat és a különbözőségeket, s természetesen a grafikus megjelenítés itt is megoldható (például a dendrogram bemutatásával). Kutatócsoportunk egy további, a bírálói teljesítmény mérésére is alkalmazható módszer tesztelését is elkezdte.<sup>7</sup>

#### 5. Elektronikus érzékszervek

A technológia fejlődésével mindig együtt járt az a jelenség, hogy a kutatók folyamatosan keresték és fejlesztették az emberi érzékszervek leképezésén alapuló olyan műszeres módszereket, amelyekkel az érzékszervi vizsgálatok kiválthatóak, vagy legalább párhuzamba hozhatóak. Az emberi érzékszervek kiváltását nem csupán az érzékelés folyamatának összetett rendszere nehezítette meg, hanem az arra alapuló észlelés folyamata, amely nem vagy csak részben váltható ki a matematikai és statisztikai adatfeldolgozással. Ezen nehézségek ellenére az elektronikus érzékszervek a kémiai tudományok egyik dinamikusan fejlődő területe, s bár alkalmazási köre ma még korlátozott, a jövőben egyre nagyobb területen találkozhatunk majd felhasználásukkal.

##### 5.1. Elektronikus orr

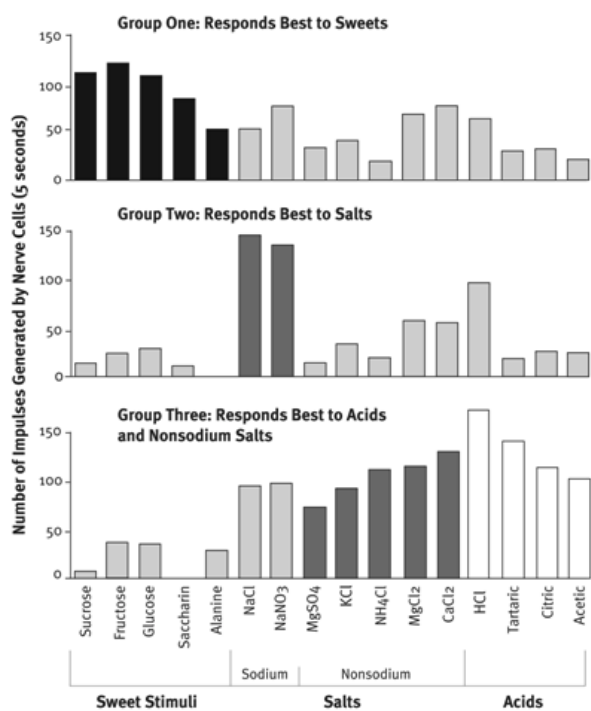
Az elektronikus orr technológiát a szakirodalom szenzoros érzékelésnek is nevezi (sensor array measurement). Alapelveit tekintve az emberi szaglás struktúráját követi. Ahogyan az emberi orrban eltérő érzékenyséű és szelektivitású receptorsejtek találhatók, úgy az elektronikus orrban alkalmazott érzékelősorok tagjain is más-más vegyületsoporra vannak hangolva. Az alkalmazott technológia szerint megkülönböztethetünk kvarckristály alapú, fémoxid félvezetőkön alapuló és katalitikus fémérzékelőkből álló rendszereket. Mindegyik esetben az emberi szagérzékeléshez hasonló jellegű adatot kapunk. Ahogyan egy képzetlen bíráló csupán arra képes, hogy az érzékelt illatot saját szavaival jellemezze és leírja az elektronikus orr önmagában csupán a szenzorjeleket regisztrálja. Ahhoz hogy a mért jelek mátrixát, az illat 'ujjlenyomatát' értelmezni tudjuk szükséges az elektronikus orr tréningezése. Ez a folyamat általában abból áll, hogy ún. referencia mintákat vizsgálunk a berendezéssel. Egy kávépörköltő üzemi esetében például a megfelelő módon megpörkölt kávé illata képviseli a célértéket. Emellett a különböző mértékben alulpörkölt illetve túlpörkölt minták mérése alapján a műszer már képes lesz arra, hogy egy adott vizsgálati minta pörköltiségi fokát megállapítsa, s így akár folyamatirányítási döntések is automatizálhatóak az elektronikus orr alkalmazásával. A technológia egyik kritikus pontja a magas víztartalmú termékek vizsgálata, mivel irodalmi adatok alapján ez a tényező nehezíti a minták

közötti különbségtételt vagy azonosítást. Szintén egyéni módszerfejlesztést tesz szükségessé annak meghatározása, hogy a zárt mintatartó edényeket milyen hőfokon és mennyi ideig temperáljuk a gőztérből történő mintavétel előtt. Az elektronikus orr élelmiszeripari alkalmazásai között a legismertebb a visszaváltható palackok illatának minőségvizsgálata, amely alapján eldönthető, hogy egy palack milyen mértékben szennyezett és hogy a szennyeződés eltávolítható-e. Vegyipari területen robbanásveszélyes gázok monitorozására is alkalmazható a technológia, de hatékonyan alkalmazható tűzvédelmi szenzorként is.

## 5.2. Elektronikus nyelv

Az elektronikus érzékszervek közül a másodikként kifejlesztett mérőműszer. Az emberi nyelv felületén található ízlelőbimbókat a különböző érzékenyséű és felépítésű szenzorok reprezentálják.

### Measuring the Preferences of Taste Neurons



2. Ábra. Ízérzékelő sejtek szelektív érzékenységi mintázata (Smith, Margolskee, 2001).

Érdeemes megemlíteni, hogy a humán ízérzékeléssel kapcsolatban gyakran említett alapíz érzékelési régiók nem azon alapulnak hogy a nyelv egyes területein kizárólag egy ízre érzékeny receptorsejtek találhatóak. Többek között Smith és Margolskee<sup>8</sup> utal arra, hogy a nyelv egyes területein található ízérzékelő sejtek szinte minden esetben több alapízre érzékenyek. Az azonban megfigyelhető, hogy valamelyik ízre a többinél magasabb érzékenységet mutatnak.

Az elektronikus nyelv működésében is hasonló alapelveket fedezhetünk fel. Az egyes szenzorok érzékenysége részben átfedik egymást, s az ezekről kapott jelválasz egy ujjlenyomat jellegű mintázatot ad a vizsgált mintákról. Az

e-nyelv kutatási vagy ipari alkalmazása is főként abban az esetben lesz hatékony, ha a kérdéses tartományban preparált mintákkal tréningezzük a készüléket. Tea minták vizsgálata esetében például a különböző termőhelyről származó alapanyagok arányát változtatva megállapítható egy adott tételről, hogy az valóban a feltüntetett ültetvényről származik-e.

## 6. Elektronikus és humán érzékszervek integrálása

Az elektronikus érzékszervek fejlesztése rövidtávon semmiképpen sem célozza a humán bírálatok teljes kiváltását. Ez többek között azért sem lehetséges, mivel az emberi érzékelést az észlelés követi. Ennek struktúráját bizonyos mértékig képesek egyes statisztikai eljárások másolni (például a mesterséges ideghálózatok, Artificial Neural Network, ANN), azonban az észlelés összetett, multimodális, több érzékszervre kiterjedő jellege minőségben más adathalmazt közvetít, mint a sokszoros e-érzékszervek. Az emberi észlelés objektív leképezése pontosan e miatt az összetett jelleg miatt meglehetősen nehéz folyamat, s számos esetben csak azzal a paradoxonnal oldható fel, hogy a komplex benyomást komponensekre bontjuk fel (például a profilanalitikus vizsgálatok során) és azokat egymástól függetlenül elemezzük.

A humán és e-érzékszervek által szolgáltatott adatok közös elemzése ad igazi továbblépést mindkét terület művelői számára. Akár alapkutatásokban szeretnénk megérteni egy-egy ingeranyag pontos érzékelésének mechanizmusát, akár gyakorlati alkalmazásokat fejlesztünk egy íz- vagy illathiba nyomkövetésére e két típusú adat közös elemzése adhat támpontot. A megfelelően felépített modellek alkalmazásával előrejelezhető, becsülhető egy érzékszervi tulajdonság jelenléte vagy akár intenzitása is. Ehhez azonban az szükséges, hogy az érzékszervi tesztek eredményei hasonló természetűek legyenek, mint az e-szenzor jelek.

### 6.1. Profilanalitikus érzékszervi vizsgálatok

A profilanalitikus vizsgálatok ideálisan alkalmazhatóak az elektronikus érzékszervekkel közösen elvégzett elemzésekre. A módszer alapelve az, hogy olyan egydimenziós komponensekre (tulajdonságokra) bontja fel a vizsgált terméket, melyeket két szélsőérték között objektív módon értékelhetők. Mivel ugyanazon tulajdonsághoz eltérő bírálók eltérő értelmezést kapcsolhatnak, így szükséges hogy a minősítés során alkalmazott tulajdonságok összességét a bírálók csoportja közösen fogalmazza meg. Ennek megvalósításához az alábbi 3 fő lépést szükséges alkalmazni:

- A mintákat minden bíráló egyénileg vizsgálja és minden olyan tulajdonságot feljegyezi, melyet érzékel bennük. Minden olyan kifejezés használható, amelyet a bíráló az adott érzethez kapcsol. Cél minél több leíró kifejezés (deskriptor) összegyűjtése
- A bírálócsoport a minták és az előző lépésben készített tulajdonságlisták alapján közösen, nyílt vitában meghatározza azokat a tulajdonságokat, melyek a végleges minősítési rendszerbe kerülnek. Fontos, hogy csak olyan tulajdonságot szabad felvenni, melyet minden bíráló ért

és érzékel. Minden egyes tulajdonsághoz két szélsőértéket definiálunk (pl. Savas íz intenzitása, két szélsőérték 0: nem érzékelhető, 100: intenzív).

- Annak elkerülése céljából, hogy a szélsőértékeket a bírálók eltérő módon alkalmazzák (pl. mit jelent az intenzív savas íz) referencia mintákra vagy referencia anyagokra van szükség. A savas íz esetében például készíthetünk egy 0,1%-os vizes oldatot citromsavból, s az ez által keltett savas ízérzet intenzitását a skála egy adott pontjához társítjuk. E referencia anyagok alkalmazásával a bírálók egymással összehangolhatóak, a rendszer kalibrálható, az adatok belső szórása csökken.

A profilanalitikus minősítési eljárások a módszer fejlesztésének fázisában időigényes, közös munkát és konszenzust feltételező eljárás. Amikor azonban egy adott termékre vagy terméksoportra kialakítottunk egy bírálati rendszert, az már kisebb időráfordítással alkalmazható a további minősítések során.

Különösen akkor lesz hatékony egy érzékszervi laboratórium működése, ha olyan szoftvert alkalmazunk, mely a minősítés teljes folyamatát támogatja a bírálati lap kialakításától az adatok statisztikai értékeléséig. A nemzetközi gyakorlatban több ilyen rendszer ismert (pl. Compusense, FIZZ, Senstools). Kutatócsoportunk az érzékszervi tesztekhez a Budapesti Corvinus Egyetem és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem által közösen fejlesztett ProfiSens szoftvert alkalmazta.

Az elektronikus érzékszervekkel való közös elemzések során a profilanalízis tulajdonságai állíthatóak párhuzamba az e-érzékszervek szenzorainak adataival.

## 6.2. Modellezési módszerek

Az elektronikus érzékszervek adatai természetesen nem minden esetben kapcsolhatóak kizárólagos módon egy-egy illat vagy íz tulajdonsághoz és fordítva. Sokkal inkább jellemző az, hogy egy tulajdonság intenzitásának változása akár az összes szenzorjel megfelelő modellbe illesztésével írható le. A szakirodalmi közlések alapján kísérleteinkben az alábbi eljárások közül válogathattunk:

- főkomponens analízis (Principal Component Analysis, PCA)
- mesterséges ideghálózat (Artificial Neural Network, ANN)
- lineáris diszkriminancia analízis (Linear Discriminant Analysis, LDA)
- keresztvalidálás (többek között a leave-one-out módszer)
- legkisebb részleges négyzetek (Partial Least Squares, PLS)
- Support Vector Machine (SVM)

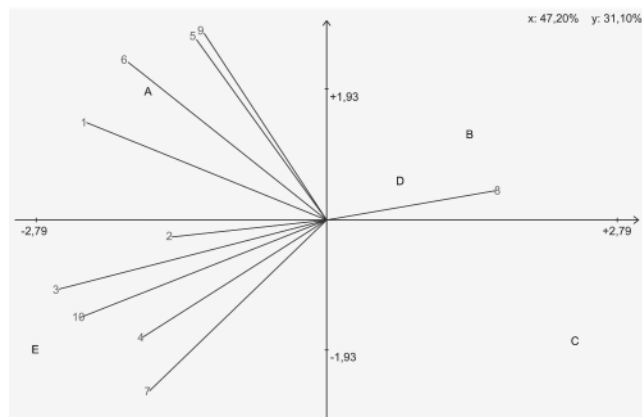
Érdemes megjegyezni, hogy az profilanalitikus érzékszervi adatok önálló alkalmazása esetében is egyre tágul azon eljárások köre, melyek alkalmasak a kísérleti eredmények értékelésére:

- varianciaanalízisek (ANOVA)
- főkomponens analízis (Principal Component Analysis, PCA)

- általánosított Prokrüsztesz analízis (Generalized Procrustes Analysis, GPA)
- többdimenziós skálázás (Multidimensional Scaling, MDS)
- legkisebb részleges négyzetek (Partial Least Squares, PLS)
- mesterséges ideghálózat (Artificial Neural Network, ANN)
- Fuzzy Logic

Még az elektronikus érzékszervek megjelenése előtt jellemző volt a profilanalitikus érzékszervi adatok és különböző kémiai analízisek közötti összefüggések keresése. A főkomponens értékek és súlyok meghatározásával (3. ábra) lehetőség volt a kombinált adatmátrixok olyan jellegű vetítésére, amikor a két főkomponens által meghatározott síkba vetítettük a vizsgált paraméterek vektorait. Amennyiben két vagy több tulajdonság illetve műszeres paraméter átfedésben volt vagy közel helyezkedett el egymáshoz, úgy következtetni lehetett az ezek között található összefüggésekre. Természetesen ezeket az összefüggéseket szakmailag és statisztikailag is meg kellett részletesebben vizsgálni, azonban elsődleges kiindulópontként igen hasznosak voltak, különösen olyan kutatások esetében ahol akár több tucatnyi érzékszervi tulajdonság és műszaki paraméter alkotta a kiinduló mátrixot.

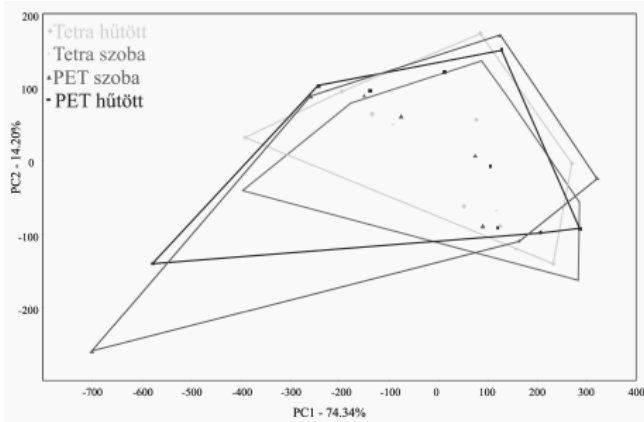
Bizonyos esetekben a kidolgozott minősítési eljárás pontosítására, javítására is alkalmazható a PCA. Amennyiben két vagy több vizsgált tulajdonság vektora következetesen együtt mozog, fedésben van, úgy az arra utal, hogy azok egymástól bizonyos mértékig függő viszonyban vannak. A bírálatvezető feladata ilyen esetekben annak eldöntése, hogy e tulajdonságok mindegyikét megtartja-e a további vizsgálatban, vagy elhagy ezek közül bizonyos jellemzőket. Ilyen módon csökkenthető a bírálócsoport terhelése és javulhat a minták közötti különbségtétel hatékonysága.



3. Ábra. Fekete teák érzékszervi mátrixán alapuló PCA elemzés ábrája (A-Kandy, B-Uva, C-Nuwara Eliya, D-Dimbula, E-Ruhuna).

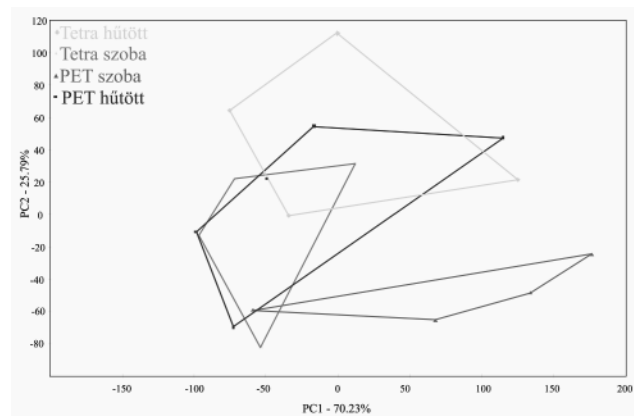
Az érzékszervi adatok esetében tapasztalt nagyobb mértékű szórás ellenére célszerű meg határozni egy olyan intervallumot, amelyen kívül eső adatokat kilógóként kezelünk. Fontos alapelv, hogy minden ilyen adatsimítási szabály dokumentált és konzekvens legyen. A kilógónak ítélt adatokat a leggyakrabban a nélkülük kapott átlagértékkel helyettesítjük. A PCA elemzés is jelentősen eltérő képet

adhat ugyanarról az adatmátrixról a kilógó adatok kezelését megelőzően valamint azt követően. A 4-6. ábrák egy olyan kísérletünk adatait mutatják be, amikor ásványvízmintákat tároltunk polietilén-tereftalát (PET) palackokban valamint többrétegű Tetra csomagolóanyagokban.

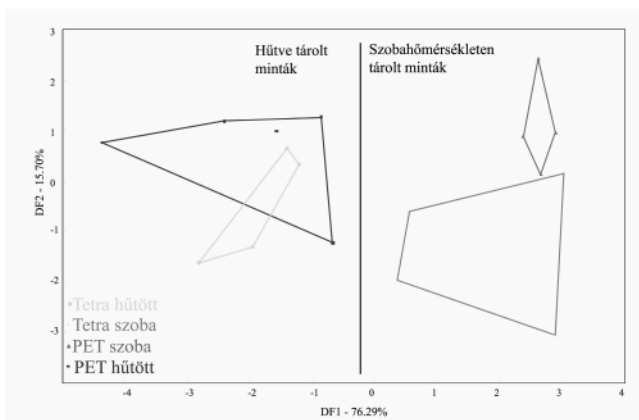


4. Ábra. PCA kiugró érték kezelés előtt elektronikus nyelv mérési adatain (ásványvíz csomagolás teszt).

A simított adatokon elvégzett diszkriminancia analízissel már el tudtuk különíteni a különböző tárolási hőmérsékletű mintát érzékszervi ujjlenyomatát.



5. Ábra. PCA kiugró érték kezelés után elektronikus nyelv mérési adatain (ásványvíz csomagolás teszt).

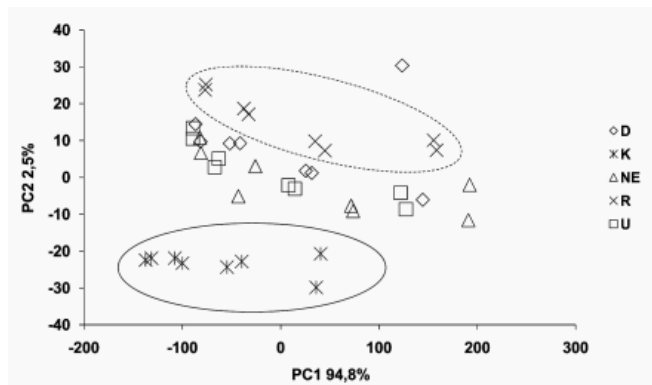


6. Ábra. Diszkriminancia analízis az ásványvíz csoportok szétválasztására.

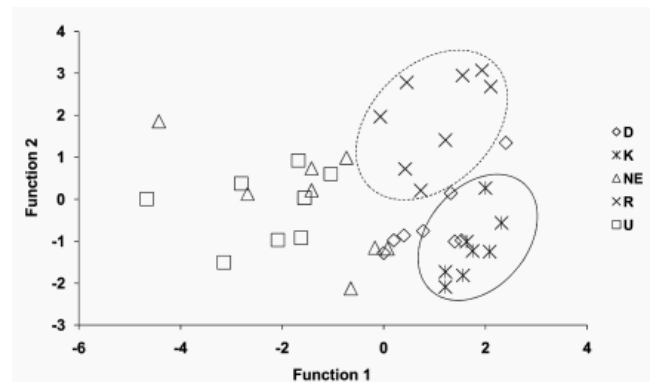
Szakmai szempontból természetesen egy kilógó adat a kísérlet vezetőjét arra indítja, hogy keresse meg annak

okát. Érzékszervi tesztek esetében a lehetséges okok között ott lehet a bíráló megváltozott érzékenysége (akár ideiglenes akár tartós jelleggel), egy nem megfelelően definiált, tévesen értelmezhető tulajdonság, valamint bizonyos élelmiszerminták természetéből fakadó heterogén mintaeloszlás.

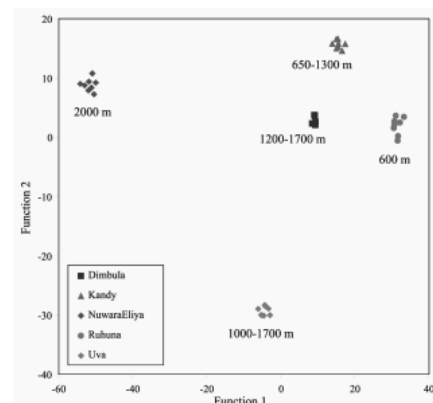
A PCA alkalmazható az elektronikus érzékszervek mérési rutinjának kidolgozására egy adott mintatípusra. Az elektronikus orr mérési paraméterei között kiemelt helyen szerepel a minta felfűtésének hőmérséklete, valamint az adott hőmérsékleten való tartás ideje is, hiszen ezek alapvetően meghatározzák a headspace összetételét. A kanonikus diszkriminancia analízissel közösen vizsgáltuk teaminták egymástól való elválasztásának hatékonyságát 55 °C hőmérsékleten



7. Ábra. Teaital minták illatterképe 55°C-on PCA alapján (e-nose) (D: Dimbula, K: Kandy, NE: Nuwara Eliya, R: Ruhuna, U: Uva).



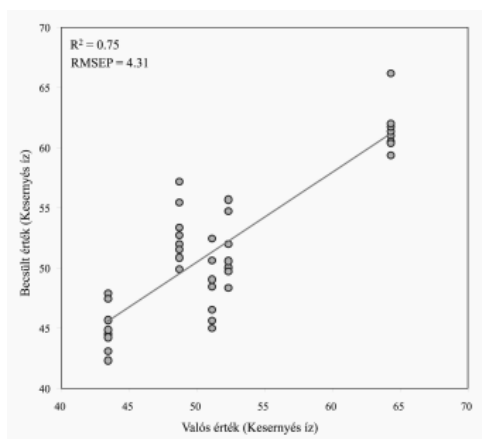
8. Ábra. 55°C-on mért teaital minták diszkriminancia térképe (e-nose).



9. Ábra. Teaital minták elektronikus nyelv vizsgálatának CDA-értékelése a különböző tengerszint feletti magasságú teaültetvények elkülönítésére

Természetesen a diszkriminancia analízis alkalmazható az elektronikus nyelv adataira. Ennél a mérési módnál nincs akkora jelentősége a hőmérsékleti paramétereknek, sokkal inkább az alkalmazott szenzorsoroknak. Egy adott terméktípusra optimalizált kutatóműszer fejlesztése esetében elengedhetetlen a szenzortípusok tesztelése és adaptálása a referenciaként használt kísérleti mintákon.

Az elektronikus és humán érzékszerveket integráló kutatások egyik kiemelt pontja a két típusú adat közötti összefüggések mintázata alapján predikciót végezni. A becslés pontosságát több tényező is befolyásolhatja. Meghatározó egyrészt az érzékszervi panel adatainak szórása, valamint az is, hogy a kérdéses íz vagy illat jelleg mennyire összetett kémiai ingeren alapul. Az elektronikus nyelvvel végzett kutatások során ezért első lépésben olyan tulajdonságokat érdemes kiemelni, amelyek az alapízekhez kapcsolódnak.



10. Ábra. A teital kesernyős ízének predikciója az e-nyelv mérés alapján PLS-módszerrel.

## 7. Összefoglalás

Az emberi és elektronikus érzékszervek integrációja mindenképpen multidiszciplináris megközelítést igényel. Szükség van egyrészt az emberi érzékelésen és észlelésen alapuló adatok objektív rendszerben való gyűjtésére. Másrészt az elektronikus érzékszervek által végzett méréseket is úgy kell optimalizálni, hogy az adafelvételezések paraméterei (pl. minta hőmérséklete, mérés időtartama) közelítse az érzékszervi vizsgálatban alkalmazottakat. Végül fontos mindazon statisztikai eszközök adaptív módon történő használata, melyekkel a humán és e-érzékszervek közötti kapcsolatok feltárhatóak és elemezhetőek. Kutatócsoportunk a bemutatott területen a jövőben célul tűzte ki különböző típusú és összetételű szenzorsorok hatékonyságának vizsgálatát. Fontosnak tartjuk ezeknek a szenzoroknak az alkalmazását terméktípustól függően vizsgálni. A bevált értékelési és prediktív módszereken túl a szakirodalmi tapasztalatok alapján további módszereket szeretnénk alkalmazni (ANN, fuzzy logic, GPA). Végül kutatási és oktatási tevékenységünkkel párhuzamosan tovább végezzük a termékspecifikus illetve termékhiba-specifikus adatbázisok fejlesztését és elemzését az e-érzékszervek tréningezésére

## 8. Kísérleti rész

A bemutatott méréseket 23 szenzoros elektronikus orr alkalmazásával végeztük. A szenzorsor összetétele: 10 fémoxid félvezető (MOS) és 12 katalitikus fémérzékelő (MOS-FET). Referencia gáz: szűrt levegő. Az elektronikus nyelv paraméterei: Alpha MOS Astree 7 ISFET szenzorral (Ion-Selective Field Effect Transistors) és egy Ag/AgCl referencia elektródával. Az érzékszervi vizsgálatokat a ProfiSens érzékszervi célszoftverrel végeztük az ISO 8589 alapján kialakított Budapesti Corvinus Egyetem Érzékszervi Laboratóriumában.

## Hivatkozások

1. ISO 5492:2008 Sensory analysis – Vocabulary
2. Meullenet, J.-F., Xiong, R. and Findlay, C. J. (eds) Introduction, in *Multivariate and Probabilistic Analyses of Sensory Science Problems*, Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA., **2007**.
3. Russell, B. *Religion and Science*. Oxford University Press, London, **1935**.
4. Saenz-Navajas, M-P.; Ferreira, V.; Dizio, M.; Fernandez-Zurbano, P. *Analytica Chimica Acta*, **2010**, 673 (2) 151-159
5. <http://www.panelcheck.com/>
6. Kollár-Hunek, K.; Heszberger, J.; Kókai, Z.; Láng-Lázi, M.; Papp, E. *Journal of Chemometrics* **2008**, 22 (3-4) 218-226
7. Héberger, K.; Kollár-Hunek, K. *Journal of Chemometrics*, early view doi: 10.1002/cem.1320
8. Smith, D. V.; Margolskee, R. F.; *Scientific American Magazine* **2001**, 284 (3) 32-39

## Integration of human and electronic senses in food research

The application of e-senses in food science research is a challenging opportunity for sensory scientists to integrate the two fields. The most frequently applied electronic senses are the e-noses (or sensor array measurement) and electronic tongues. For the synergy of the two fields it is inevitable to collect such kind of sensory data which follows an analytical approach. Profile analysis is one of the most suitable methods, since the complex sensory profile of the test samples is built up from one dimensional attributes. From the statistical point of view the performance of the sensory panelists should be measured and analyzed to monitor their accuracy. One of the possible options is the use of eggshell plots (Panelcheck)<sup>5</sup> or the GCAP method<sup>6</sup> (Gravity Centre Area / Perimeter ratio, see Figure 1).

During the training and monitoring of the sensory panel it is essential to define the sensory attributes with the application of reference samples or materials. This is a rather time consuming method, but this is the only way to eliminate the subjective nature of sensory tests. When sensory data is analyzed statistically the use of principal component analysis (PCA) will provide a fuller understanding of our data matrix. From PCA result the panel leader will be able to fine tune the evaluation system, since the plot shows those attribute vectors which has a strong correlation among them. With the omitting of such attributes the efficiency of the testing improves with practically no information loss.

PCA is also the first step of building the bridge between the human and the e-senses. When we are looking for the possible correlations between the two types of data it is important to detect

and manage the outlier values. Usually the sensory matrix contains more variation due to its human source. Any kind of outlier data management shall be fully documented and the rules should be followed. Our practical experience with bottled water experiments (Figures 4 to 6) showed that the omission of outliers provided a better correlation with the e-senses and also a better distinction between the samples. Beside PCA we've applied discriminant analysis for the evaluation of black tea samples (Figures 3 and 7-9).

The prediction of the sensory data from e-nose measurements was performed by the means of Partial Least Squares (Figure 10).

Our future research involves the testing of several kinds of sensor arrays in relation to different food products. Among the statistical tools we would like to put more emphasis on artificial neural networks (ANN), fuzzy-logic and generalized procrustes analysis (GPA). During our future tests we plan to build product specific and product fault specific databases.