

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

NYITRAI ÁKOS GÁBOR

BUDAPEST

2022



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**Pszichofizikai válaszok integrálása élelmiszerek érzékszervi
minősítési rendszereibe**

Nyitrai Ákos Gábor

Budapest

2022

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia**

Egyetemi tanár

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: **Dr. Sipos László**

Egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi Kar

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Árúkezelési, Kereskedelmi, Ellátási Lánc és Érzékszervi Minősítési

Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

Az érzékszervi vizsgálatok a termék érzékszervi tulajdonságainak, élvezeti értékének megállapítására irányuló értékelő, minősítő vizsgálatok, melyek során az élelmiszerek tulajdonságairól nyerünk információkat az emberi érzékszervek által. A termékek színének, illatának, ízének, textúrájának érzékszervi vizsgálata és minősítése – a műszeres és egyéb jellemzőkkel együtt – döntő fontosságú az élelmiszerek komplex értékelésénél. Az érzékelés az érzékleti modalitásokon, más szóval érzékelési csatornákon keresztül valósul meg: látás, szaglás, ízlelés, tapintás, hallás. Mivel az érzékelési-észlelési szempontok szorosan kapcsolódnak az élelmiszerek érzékszervi tulajdonságaihoz, ezért az érzékelési mechanizmusok és az érzékelési jellemzők ennek a kutatási területnek az alapját képezik. A nemzetközi kutatási trendek azt mutatják, hogy a műszeres analitika és a humán érzékszervi eredményeket együttesen értékelik, melynek célja komplex mintázatok azonosítása és predikciós lehetőségek feltárása. A többváltozós statisztikai módszerek megoldást nyújthatnak a különböző élelmiszerek érzékszervi minőségének előrejelzésére.

Számos érzékszervi fókuszú kutatás beszámol arról, hogy a vizsgált termék vizuális jellemzői prekonceptiót (elvárás hibát) okoz a bírálóban, amely különböző mértékben torzítja a többi érzékszervi jellemző megítélését. Bár a színek torzító hatása jól ismert, a szakirodalomban nem fordítanak elég figyelmet ennek kiküszöbölésére, annak ellenére, hogy valamilyen színmaszkolási technika az érzékszervi publikációk jelentős részében megtalálható.

A kutatásaim során több modalitás különböző pszichofizikai válaszainak hatását vizsgálom. A színlátás, a maszkoló hatás és annak eredményessége több kutatásom tárgyát képezi (csokoládék, szörpök, sörök). Az illatanyag és agyi jelek összefüggését validált kérdőíves módszertanok együttesével elemzem. Az illat, íz, és texturális tulajdonságokat pedig színes fénykörnyezetek keresztmodális hatásaival kapcsolódóan kerültek a fókuszba. A kutatásaim limitációihoz tartozik, hogy az élelmiszerek és azok fogyasztásával kapcsolatos hangok percepcióját nem vizsgálom, mivel ezek a hangok csak nagyon speciális esetben relevánsak.

Tudományos célkitűzéseim:

Olyan érzékszervi módszertanok fejlesztése, melyek segítségével a jelenlevő zavaró hatások kizárhatók, és magasabb minőségű, a valóságot jobban leíró eredmények érhetők el.

A fő tudományos célkitűzés alcélkitűzései:

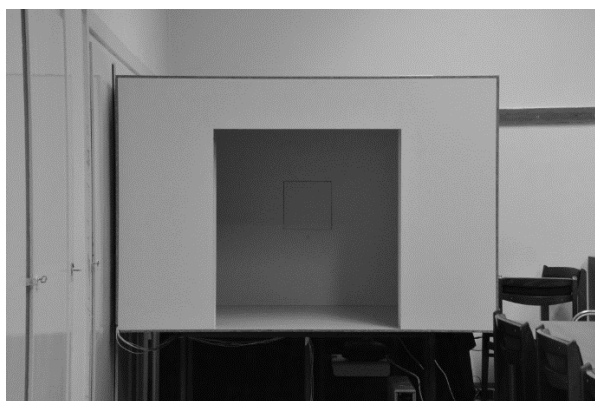
1. Célom az érzékszervi vizsgálatokban alkalmazott különböző vizuális maszkolási módszerek összehasonlítása, valamint ezek alapján különböző élelmiszer termékcsoportok hatékony színmaszkolását megvalósítani.
2. A keresztmodális észlelés (interszenzoros koordináció) során az érzékelési csatornákon keresztül (látás, szaglás, ízlelés, tapintás, hallás) bejövő információk egymásra hatnak. Célom, hogy különböző színű fénykörnyezetek keresztmodális hatásait vizsgáljam táblás csokoládék esetében.
3. Célom egy, az emberi színérzékeléshez igazított műszeres színmeghatározási módszer kidolgozása sörökre, amellyel a továbbiakban objektíven és részletesen karakterizálhatók a sörök.
4. Célom a különbségvizsgálati módszerek összehasonlítására alkalmas paraméterek meghatározása, és egy különbségvizsgálati módszerek összehasonlítására alkalmazható multikritériumos döntéstámogató rendszer kidolgozása.
5. Célom egy élelmiszer aroma illatstimulus hatásának vizsgálata elektroencefalográf (EEG) kísérleti környezetben. Célom továbbá a hangulat, a fáradtság és az illatérzékenység hatásának értékelése, és az EEG jelek (delta, théta, alfa, béta, gamma csatornák) közötti mintázatok feltárása az illatstimulus és a referencia által kiváltott csatorna jelek összehasonlításával.
6. Célom egy betanított és tesztelt neurális hálózati modell kidolgozása, amely képes az EEG jelek alapján osztályozni az illatstimulusokat.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az érzékszervi kísérleteket a Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet Érzékszervi Laboratóriumában végeztük. A fénykabinban történő kísérleteket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszékén valósítottuk meg.

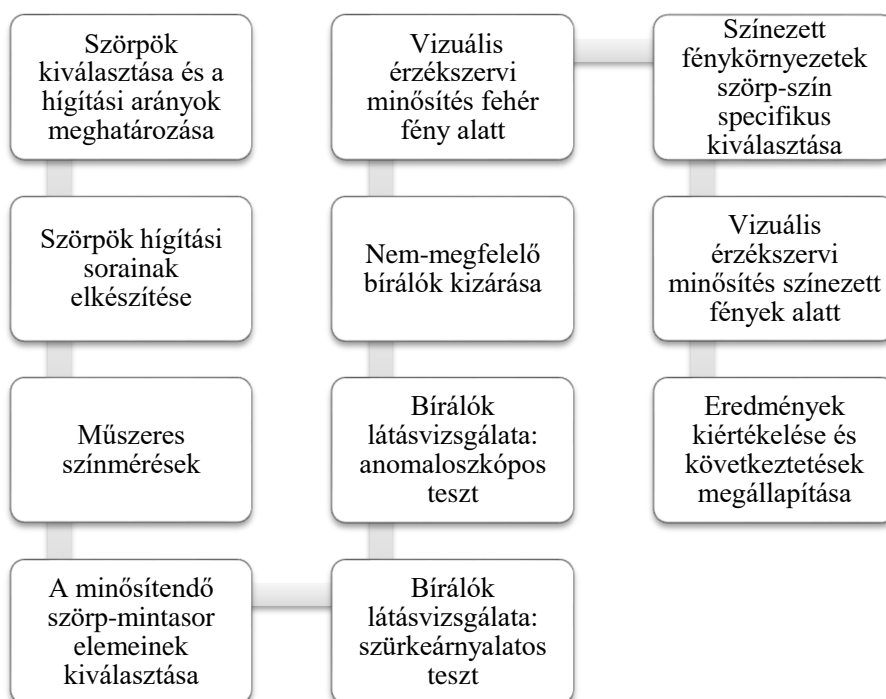
2.1 Spektrálisan hangolható mérőállomás

A színmaszkolási pontatlanságok elkerülése végett egy saját fejlesztésű spektrálisan hangolható mérőállomást (továbbiakban: fénykabin) építettünk, melyben tetszőleges színű megvilágítások egyszerűen és pontosan beállíthatók. A téglatest alakú installáció 1,5 x 1 x 1 méter befoglaló méretekkel rendelkezik, melyben 4 db rögzített panelre szerelve 5 különböző típusú (vörös, kék, zöld, fehér és borostyán) LED-csoport található. A LED-ek a kabin sarkaiban vannak installálva, egy-egy függőleges lapra úgy, hogy a diódák direkt fénye a fehér falakra vetüljön, és így az emittált fény többszörös visszaverődés után kerül a munkatérbe. A fénykabin hozzáférhetőségét az elülső felületen elhelyezkedő nyílás biztosítja. A kabin tágas és kényelmes munkatérrel biztosítja a bírálónak. Kiemelt fontosságú volt a kialakítás során, hogy a panelek pozíciói úgy helyezkedjenek el, hogy a fénysűrűség eloszlása egyenletes legyen mind a vízszintes alsó felületen, mind a falakon. A rendszer vezérlése két Arduino Uno mikrokontroller által valósul meg. A LED csatornák fényáramát 0-255-ig terjedő relatív vezérlési értékekre lehet beállítani, ezek alapján a mikrokontroller impulzusszélesség modulációval valósítja meg a megvilágítást. A diódák fényerejének állítása a kitöltési tényező változtatásával történik.



1. ábra: A fénykabin kívülről, kikapcsolt állapotban

2.2 Szörpök vizsgálata



2. ábra: Folyamatábra a szörpös kísérlethez

Kutatásomban arra a kérdésre kerestem a választ, hogy a különböző színű szörp-sorozatok elmaszkolására mely színezett fénykörnyezetek a legalkalmasabbak. A vizsgálathoz négy, jól elkülöníthető színű szörpöt használtam: sárga (Ági Citrus mix szörp), kék (Pölöskei Blue málnaszörp), zöld (Auchan Kiwi gyümölcszörp) és piros (Piroska Málnaszörp). Minden színből 10 tagú hígítási sort készítettem előzetesen fixált arányokkal (1:4; 1:5; 1:6 ... 1:13), melyekből a műszeres színmérés után egy-egy 5 tagú mintasorozatot választottam ki. A kiválasztás a színekülönbség mértékét jelző ΔE^*_{ab} érték alapján történt. A kiválasztás során az észrevehető különbség kategória ($\Delta E^*_{ab} = 1,5-3,0$) közepét céloztuk meg ($\Delta E^*_{ab} = 2,07 \pm 0,2$) minden esetben. A mintákat az elkészítés után zárt edényekben tároltuk, a bírálóknak pedig átlátszó üvegpohárban mutattuk be.

Az érzékszervi bírálat előtt a leendő bírálók színlátását anomaloszkóppal (OCULUS 47700 Heidelberg MultiColor anomaloszkóp) és szürkeárnyalatos teszt segítségével vizsgáltam. A szörpminták színét kézi tristimulusos színmérővel (X-rite RM200QC) határoztam meg. Az érzékszervi vizsgálat célja a maszkolófények hatásának vizsgálata volt. E célból a bírálóknak a szörpöket színárnyalatuk alapján kellett sorba rendezniük. A teszten végül 14, bizonyítottan nem szintévesztő bíráló vett részt. Az érzékszervi bírálat két lépésben történt, és mindkét esetben a

kirakás helyességét, valamint idejét vizsgáltuk. Az első lépésben a referenciamérést végeztük, azaz mesterséges napfény alatt kellett a bírálóknak sorba rendezni a szörpmintákat azok színárnyalatai szerint. A második lépésben a bírálók ugyanezen feladatot színezett fénykörnyezetek alatt is elvégezték.

A kísérletben 4-4 különböző színű fénykörnyezetet határoztunk meg minden egyes szörpminta-sorozathoz: a bírálók Kék (Fény1) és Piros (Fény2) fénykörnyezetben mindegyik mintasorozatot tesztelték, a másik két színekombináció meghatározására pedig egy előzetes vizsgálatban került sor, melyben az adott mintasor színét figyelembe véve határoztunk meg még két speciális színekörnyezetet.

1. táblázat: Az egyes szörpökhöz használt megvilágítási környezetek (százalékarányos értékek, azaz hány százalékon világított a LED annak maximális teljesítményéhez képest)

LED-ek aránya	Piros szörp				Zöld szörp			
	Fény1 (%)	Fény2 (%)	Fény3 (%)	Fény4 (%)	Fény1 (%)	Fény2 (%)	Fény3 (%)	Fény4 (%)
vörös	0	100	100	80	0	100	0	50
zöld	0	0	0	10	0	0	80	80
kék	100	0	100	10	100	0	10	10
borostyán	0	0	0	0	0	0	10	0
LED-ek aránya	Kék szörp				Sárga szörp			
	Fény1 (%)	Fény2 (%)	Fény3 (%)	Fény4 (%)	Fény1 (%)	Fény2 (%)	Fény3 (%)	Fény4 (%)
vörös	0	100	100	0	0	100	0	0
zöld	0	0	0	100	0	0	0	50
kék	100	0	100	100	100	0	0	0
borostyán	0	0	0	0	0	0	100	50

A sorrendbe rakások helyességét Page-próbával, valamint Cabilio-Peng páronkénti összehasonlítással, az időadatokat pedig Kaplan-Meier túlélés elemzéssel értékeltem.

2.3 Csokoládék vizsgálata

Ebben a kísérletben saját készítésű, egyre sötétedő táblás tejszokoládé-mintasorozat maszkolását vizsgáltam a hangolható fénykabin segítségével. A 10 tagú sorozat legvilágosabb tagja 3,00% kakaóport, míg a legsötétebb 9,75% kakaóport tartalmazott (egyenletes, 0,75%-os növekedésekkel). Az egyes csokoládék színeit tristimulusos színmérővel (X-rite RM200QC) határoztam meg, majd megfelelő maszkoló világítás megtervezésének érdekében spektrális méréseket végeztem (Konica Minolta CM-2600d spektrofotométer, 360-740nm, 10 nm-es felbontás). A 10 csokoládéból egy olyan 5-elemű sorozatot választottam ki, melyek tagjai között a színekülönbség (ΔE^*_{ab}) 2,0 és 3,0 közé esik („észrevehető különbség”). A bírálók látásának

tesztelésére OCULUS 47700 Heidelberg MultiColor anomaloszkópot alkalmaztam. A szűrőteszteken megfelelt érzékszervi bírálóknak először mesterséges napfény, majd különböző színű megvilágítások alatt kellett sorba rendezni a csokoládémintákat a világosabbtól a legsötétebbig. Az 1. kísérletben a bírálók négy különböző monokromatikus megvilágítási környezetben (Piros, Zöld, Kék és Borostyán) végeztek vizuális érzékszervi tesztek. A 2. kísérletben a bírálók a csokoládémintákat az előzőleg alkalmazott fények meghatározott kombinációja mellett értékelték. Az értékeléseket skálázott (saját időeredményhez viszonyított) adatokon is elvégeztem, hogy kiszűrjem a bíráló egyéni döntési idejének változékonyságából eredő szisztematikus hibát.

2.4 Keresztmodalitás: csokoládék

Ebben a kísérletben a színes maszkolófények nem-vizuális érzékszervi paramétereit változtató (keresztmodális) hatásait teszteltük. Ehhez speciális receptúrájú csokoládémintákat gyártottunk, melyekben két paramétert változtattunk szisztematikusán: az édesítőszer (cukor vagy maltitol) valamint a kakaópor-tartalmat. 6 különböző csokoládét készítettünk, 3 cukros, és három maltitolos mintát. A 3-3 csokoládéminta kakaó szárazanyag-tartalma 50%, 60% és 70% volt. Így 6 olyan mintát kaptunk, melyek között mindössze maximum két paraméterben jelentkező különbség. A cukorral készült minák 50C, 60C és 70C rövidítéseket, míg a maltitolos minták 50M, 60M és 70M nevet kaptak, a kakaótartalmuknak megfelelően.

Az első lépésben a kiválasztott bírálók színlátását teszteltük OCULUS 47700 Heidelberg MultiColor anomaloszkóppal. Második lépésben a csokoládék színárnyalatát mesterséges napfény alatt értékelték a bírálók tetrádesztben. Harmadik lépésben a bírálók fehér (D65) fény alatt értékelték a csokoládékat, mely során a csokoládék előre rögzített tulajdonságait kellett értékelniük egy 20 elemű skálán. Negyedik lépésben a csokoládékat a bírálók színezett fénykörnyezetek (kék, piros, zöld, borostyán és narancssárga) alatt tesztelték a harmadik lépéshez hasonló módon.

2.5 Sörök színének vizsgálata

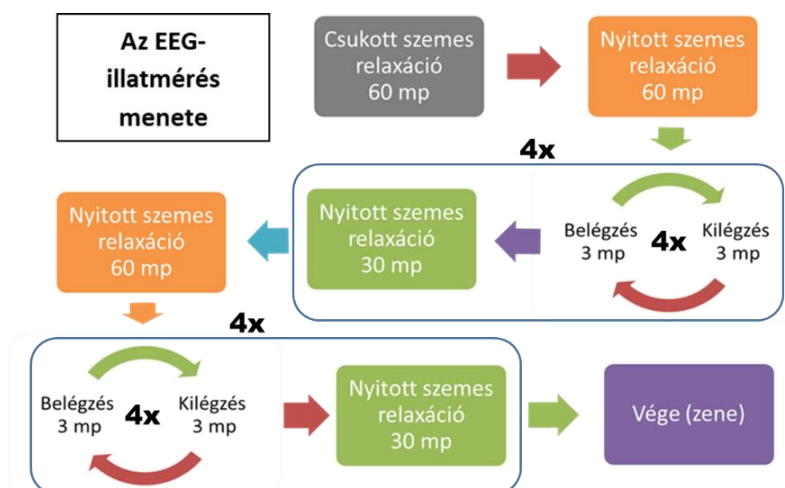
A sörökkel végzett kísérlet célja az volt, hogy megtudjuk, alkalmas-e a hatályban levő EBC színrendszer az összes kereskedelemben kapható sör színének pontos és objektív meghatározására. A vizsgálathoz 39 különböző sört vizsgáltunk. A teljes vizsgálati palettát három alkoholmentes *pale lager*, három alkoholmentes *sör alapú ital*, három *sör alapú ital*, két *strong pale lager*, kilenc európai *pale lager*, két cseh *pilsner*, egy amerikai *adjunct lager*, két *schwarzbier*, egy stout, egy ír stout, egy *altbier*, négy *weissbier* (szüretlen búzasör), egy *international amber lager*, egy belga *strong pale ale*, egy ír *red ale*, egy *dunkles bock* és három különleges *gyümölcsös sör* alkotta. A kiválasztott mintákkal igyekeztünk minél szélesebb sávot lefedni a piacon található választékból.

Az EBC értékek meghatározása a szabványos Analytica-EBC színmérési módszerrel történt. A mintákat homogenizáltuk és Whatman MN-615 szűrőpapíron szűrtük az elemzés előtt. Az abszorbancia rögzítése 1 cm-es UV-Vis küvettákban történt 430 nm-en, Hach Lange DR6000 UV-Vis spektrofotométerrel három párhuzamos mérésben. Az abszorbanciákat ezután 25-tel megszoroztuk. A transzmissziós spektrumokat Hach Lange DR6000 UV-Vis spektrofotométerrel határoztuk meg a teljes látható spektrumon keresztül 380-780 nm között, 10 nm-es lépésekkel. A minták tristimulusértékeit és színkoordinátáit a CIE 1931 szabvány szerinti kolorimetriás rendszerben meghatározott transzmissziós spektrumokból számítottuk ki.

2.6 Meggyes illatanyag vizsgálata EEG segítségével

A kutatásban azt vizsgáltuk, hogy hogyan változik az agyi aktivitás egy élelmiszerillat (meggy) hatására, valamint, hogy ezek a kiváltott jelek kapcsolatban állnak-e az alany aktuális fizikai és mentális állapotával (fáradtság, hangulat, illatérzékenység). A kutatást egy Emotiv EPOC+ EEG készülékkel végeztük. Az alkalmazott illatínger egy élelmiszeripari aromaanyag volt (meggy aroma, *Dawn Foods Hungary Kft*). A tesztelési protokollt és a szabályozó szoftvert Python-alapú PyCharm rendszerben programoztuk le. Az eredmények komplex értékeléséhez a MATLAB (MathWorks Inc, 3 Apple Hill Drive Natick, MA 01760-2098, USA) szoftver EEGLAB toolbox programcsomagját alkalmaztuk. A fáradtságot Többdimenziós fáradtságtünetleltár – Rövid változat (*Multidimensional Fatigue Symptom Inventory-Short Form*, MFSI-SF), a hangulatot PANAS-skála (*Positive Affect Negative Affect Scale*), az illatérzékenységet pedig az Illattudatosság skála (*Odor Awareness Scale*, OAS) alkalmazásával vizsgáltuk. A kísérleteket a *Helsinki-nyilatkozat* iránymutatásait figyelembe véve végeztük.

A kísérletben 3 mp időkeretet szabtuk meg az illat beszívására, és 3 másodpercet hagytunk az illat kifújására is. Az időkeretek betartását automatikus hangjelzéssel segítettük, mely a belégzés és a kilégzés kezdőpillanatában szólalt meg. A vizsgálat során egy blokk 24 másodpercig tartott, és 4 illatolást tartalmazott (4x3 mp illatolás és 4x3 mp kifújás). A blokkokat 30 másodperces relaxációval választottuk el egymástól, az orr és a szagló-receptorok regenerálódása végett. A teljes kísérlet 8 blokkot tartalmazott, melynek felénél (4. blokk után) egy nagyobb (60 másodperces) relaxációs pihenőt iktatunk be. A vizsgálat végét zene jelezte. A mérés folyamatábrája a 3. ábrán látható.



3. ábra: Az EEG mérés folyamatábrája

2.7 Különbégvizsgálatok pszichometriai függvényei

A pszichometriai függvény megadja a termékek érzékszervi távolsága (δ) és a megkülönböztetők aránya (*proportion of distinguishers*, P_d) közötti függvénykapcsolatot. A kapcsolat minden esetben módszer-specifikus. Az összehasonlító vizsgálat eredményeképpen megállapítható az egyes különbségvizsgálati módszerek érzékenysége, azaz hogy egységnyi δ változására hogyan módosul a megkülönböztetők aránya, illetve fordítva, hogy egységnyi P_d változás hogyan hat a δ értékére. A görbék jellemzésével lehetőség nyílik a jellegzetes lefutási szakaszok felosztására és a különbségvizsgálati módszerek érzékenységének meghatározására.

A kutatásaimban a δ értékek alapján számoltuk ki a P_d értékeket hat különbségvizsgálati módszerre vonatkozóan (2-AFC, duo-trió, 3-AFC, háromszög-próba, tetrád próba, ötből kettő próba) az XL-Stat programmal.

2.8 Különbégvizsgálatok multikritériumos értékelése

A gyakorlatban a különbségvizsgálatok összehasonlítása számos paraméter alapján történhet, azonban olyan rendszert még nem publikáltak, amely egyszerre több bemeneti paraméter változtatásának hatását is képes lenne kezelni. Erre megfelelő eszköz lehet a rangszám-különbségek összege (*Sum of Ranking Differences*, SRD) módszer, ami egy egyszerű, gyors és általános technika különböző egyedek, módszerek vagy modellek összehasonlítására.

A módszerfejlesztés során különböző szimulált kísérletek összehasonlítását végeztem el:

1. *Elvi kutatási kérdés:* A teljesen eltérő különbségvizsgálatokat össze lehet-e hasonlítani?
Megvalósítás: Kísérleti elrendezések elméleti összehasonlítása: több különbségvizsgálati módszer összehasonlítása a lehetséges paraméterek változtatásával különböző termékek esetén.

2. *Gyakorlati kutatási eset:* Arról kell dönteni egy érzékszervi laboratóriumban, hogy melyik különbségvizsgálati módszert válasszuk adott bírálatszám és élelmiszerminta esetén.

Megvalósítás: Kísérleti elrendezések gyakorlati összehasonlítása: több különbségvizsgálati módszer összehasonlítása adott bírálatszám, adott anyagköltség és adott érzékszervi kifáradás (minta) állandó paramétereinek mellett.

3. EREDMÉNYEK

3.1 Szörpök

3.1.1 Szörpök műszeres színméréseinek eredményei

A színinger-különbségeket a 10 tagú hígítási sor minden egyes tagja között kiszámítottam, majd a meglévő adatok alapján kiválasztottam azt az öt mintát, melyek között a színkülönbség legjobban megközelíti az elméleti $\Delta E^*_{ab} = 2$ értéket (2. táblázat). A piros, a kék és a sárga szörpök esetén megegyezett a kiválasztott hígítások sorszáma (1. Minta: 1:13, 2. Minta: 1:11, 3. Minta 1:9, 4. Minta 1:7, 5. Minta 1:5 arányú hígítás), de a zöld szörpnél is csak egy módosítás (2. Minta 1:10) volt szükséges.

2. táblázat: A különböző szörpminták közötti ΔE^*_{ab} eltérések mértéke

Minták	Szörpök színe			
	Piros	Zöld	Kék	Sárga
1 ↔ 2	2,05	2,19	1,95	2,04
2 ↔ 3	1,87	2,17	2,19	1,96
3 ↔ 4	1,94	2,02	2,16	2,27
4 ↔ 5	2,08	2,2	2,15	2,19

3.1.2 Érzékszervi vizsgálatok eredményei

Mesterséges napfény (D65) alatt az összes bíráló helyes sorrendbe állította az összes mintasorozatot, az eredmények mindössze a kirakás idejében különböztek. Ez a standard megvilágítási környezet. A színes fénykörnyezetek alatti eredményeket a 3. táblázat mutatja.

A Cabilio-Peng páronkénti összehasonlítás eredményei:

- A piros szörpsorozat 3. és 4. tagja nem különbözött szignifikánsan piros megvilágítás alatt.
- A zöld szörpsorozat 1. és 2. tagja nem különbözött szignifikánsan a 3. Fény (Z80+K10+A10) alatt.
- A kék szörpsorozat 1., 2. és 3. tagja nem különbözött szignifikánsan a kék megvilágítás alatt.

- A kék szörpsorozat 1. és 2., illetve 2. és 3. tagja nem különbözött szignifikánsan a 3. Fény (K100+V100) alatt.
- A kék szörpsorozat 1. és 2. tagja nem különbözött szignifikánsan a 4. Fény (K100+Z100) alatt.
- A sárga szörpsorozat 1. és 2. tagja nem különbözött szignifikánsan egyik vizsgált megvilágítás alatt sem.
- A sárga szörpsorozat 3. és 4. tagja nem különbözött szignifikánsan a 3. Fény (B100) alatt.

3. táblázat: A helyes kirakások sorszáma lebontva az egyes szörpöknél a különböző színes fénykörnyezetek alatt (K: kék, V: vörös, Z: zöld, A: [amber] borostyán, az ezt követő szám pedig azt mutatja, hogy a LED hány százalékon működött)

		1. hely	2. hely	3. hely	4. hely	5. hely	Idő átlag (s)	Idő szórás (s)
Piros szörp	D65	100%	100%	100%	100%	100%	17,8	2,9
	K100	100%	100%	100%	100%	100%	14,1	2,4
	V100	100%	71,4%	64,3%	71,4%	100%	25,2	4,2
	K100+V100	100%	100%	100%	85,7%	85,7%	13,4	2,1
	V80+Z10+K10	100%	85,7%	85,7%	100%	100%	17,2	3,3
Zöld szörp	D65	100%	100%	100%	100%	100%	17,4	5,8
	K100	100%	100%	100%	100%	100%	20,4	7,1
	V100	100%	100%	100%	100%	100%	20,1	7,0
	Z80+K10+A10	57,1%	57,1%	71,4%	85,7%	100%	27,4	8,2
	V50+Z80+K10	100%	100%	100%	100%	100%	20,0	4,5
Kék szörp	D65	100%	100%	100%	100%	100%	19,1	6,7
	K100	21,4%	28,6%	50%	100%	100%	19,3	4,6
	V100	85,7%	71,4%	92,9%	92,9%	100%	21,2	3,6
	K100+V100	64,3%	42,9%	57,1%	78,6%	85,7%	21,0	3,7
	K100+Z100	71,4%	71,4%	100%	100%	100%	13,4	3,0
Sárga szörp	D65	100%	100%	100%	100%	100%	16,9	6,5
	K100	42,9%	42,9%	85,7%	100%	100%	24,0	8,4
	V100	64,3%	64,3%	85,7%	78,6%	85,7%	24,4	8,6
	A100	71,4%	71,4%	71,4%	57,1%	71,4%	24,1	10,8
	A50+Z50	71,4%	71,4%	78,6%	78,6%	100%	24,1	9,9

A Kaplan-Meier féle túlélés-elemzések alapján az alábbiak foglalhatók össze. A Piros szörpöknél a vörös fénynek volt releváns maszkoló hatása, míg másik két fénykörnyezettel (100% kék, és 100% vörös +100% kék) kiemelő hatást értünk el. A Zöld szörpöknél egy maszkoló hatású megvilágítást találtunk, a 100% zöld + 10% kék fénykörnyezetet. A Kék szörpöket vizsgálva két esetben (100% kék és a 100% vörös +100% kék) bizonyítottuk a maszkoló hatást, melyek közül a 100% kék adódott hatékonyabbnak, és egy fénykörnyezettel (100% kék + 100% zöld) értünk el kiemelő hatást. A Sárga hígításoknál mind a négy megvilágítás (100% kék, 100% vörös, 100%

borostyán, 50% zöld + 50% borostyán) szignifikánsan maszkoló hatású volt, de a legjobb hatékonyságot a 3. Fény (100% borostyán + 10% kék) alatt értük el.

4. táblázat: Kaplan-Meier féle túlélés-elemzések összegzése (K: kék, V: vörös, Z: zöld, A : [amber] borostyán, az ezt követő szám pedig azt mutatja, hogy a LED hány százalékon működött)

Megvilágítások (%)	Páronkénti összehasonlítás (p-érték)			Eltér-e a D65-től?	Különbség iránya	
	Log-rank	Wilcoxon	Tarone-Ware			
Piros szörp	K100	0,0002	0,0003	0,0002	Igen	Kiemelő
	V100	<0,0001	<0,0001	<0,0001	Igen	Maszkoló
	K100+V100	0,0002	0,0002	0,0002	Igen	Kiemelő
	V80+Z10+K10	0,9869	0,6698	0,7901	Nem	-
Zöld szörp	K100	0,9579	0,9088	0,8739	Nem	-
	V100	0,9874	0,9452	0,9137	Nem	-
	Z80+K10+A10	<0,0001	0,0005	0,0001	Igen	Maszkoló
	V50+Z80+K10	0,9311	0,9817	0,8918	Nem	-
Kék szörp	K100	0,0102	0,0064	0,0072	Igen	Maszkoló
	V100	0,1587	0,0529	0,0835	Nem	-
	K100+V100	0,0264	0,0068	0,011	Igen	Maszkoló
	K100+Z100	0,0405	0,0631	0,0489	Igen	Kiemelő
Sárga szörp	K100	0,0008	0,0017	0,0012	Igen	Maszkoló
	V100	0,001	0,0009	0,0008	Igen	Maszkoló
	A100	0,001	0,0037	0,002	Igen	Maszkoló
	A50+Z50	0,0006	0,0012	0,0008	Igen	Maszkoló

Az eredmények alapján összefoglalóan megállapítható, hogy bizonyos fénykörnyezetek maszkoló hatásúak, bizonyos fénykörnyezetek pedig kiemelő hatásúak, a termék színétől és a megvilágítás színekörnyezetétől függően.

3.2 Csokoládék

3.2.1 A csokoládék műszeres színmérése

A műszeres mérések eredményei bizonyították, hogy a csokoládék színei között lineáris változás áll fenn ($R^2_{L^*} = 0,948$ $R^2_{a^*} = 0,979$; $R^2_{b^*} = 0,972$). A ΔE^*_{ab} értékek alapján a kiválasztott sorozatot alkotó minták sorszáma és kakaótartalma: **1.** (3,00%) - **3.** (4.50%) - **4.** (5.25%) - **6.** (6.75%) - **9.** (9.00%). Az közöttük fenn álló ΔE^*_{ab} színekülönbségek: 2,75 ↔ 2,59 ↔ 2,42 ↔ 2,39.

3.2.2 Érzékszervi bírálatok eredményei (1. Kísérlet)

Az 1. Kísérletben arra kerestük a választ, hogy az egyes monokromatikus fények maszkolóképesége között található-e szignifikáns különbség. A leíró statisztika alapján megállapítható, hogy a referencia megvilágítás (D65, fehér) alatt minden bíráló helyesen, valamint a legrövidebb idő alatt rakta sorrendbe a csokoládémintákat. A legtöbbet a Kék megvilágítás alatt tévesztettek, és ez a fénykörnyezet hosszabbította meg a leginkább a döntési időt, mely a D65-höz

képezt több mint kétszeresére nőtt (15,74 s →35,7 s). Ez alapján kijelenthető, hogy a monokromatikus Kék fénykörnyezet volt a leghatékonyabb az összes vizsgált színykörnyezet közül. A Kék után a Zöld és a Borostyán megvilágítás bizonyult hatékony maszkolófénynek (5. táblázat).

5. táblázat: Az 1. Kísérlet eredményei: Csokoládé minták monokromatikus megvilágításának érzékszervi hatásai (leíró statisztikák)

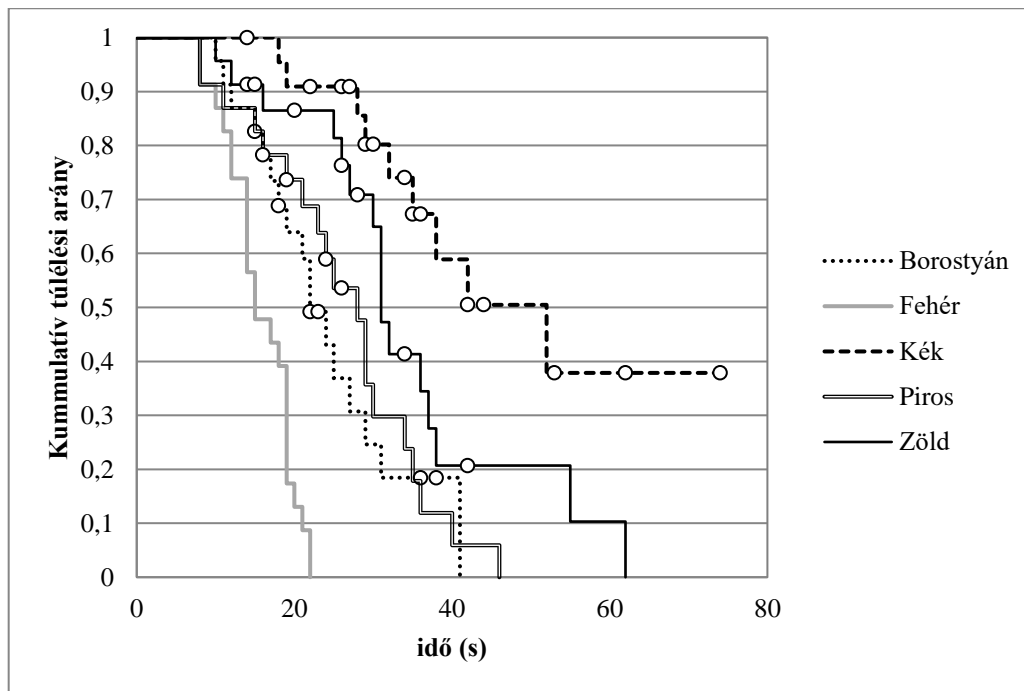
Megvilágítás színe	Fehér	Piros	Zöld	Kék	Borostyán
Helyesen kirakottak (db)	23	19	16	9	17
Helytelenül kirakottak	0	4	7	14	6
Sorba rendezés idejének átlaga (s)	15,74	24,43	29,48	35,70	22,26
Sorba rendezés idejének szórása (s)	4,27	9,90	12,67	14,30	8,38
Skálázott sorba rendezés idejének átlaga (s)	0,448	0,649	0,785	0,945	0,622
Skálázott sorba rendezés idejének szórása (s)	0,138	0,162	0,197	0,115	0,217

A bírálók döntési idejének vizsgálatával arra kerestük a választ, hogy adódik-e szignifikáns különbség az egyes megvilágítások alatt történő sorrend-felállítások között. Mind a valós idejű adatok, mind a skálázott adatok értékelése azt mutatta, hogy a Kék megvilágítás alatti kirakás minden más megvilágításhoz képest szignifikánsan leghosszabbnak, míg a Fehér megvilágítás alatti kirakás minden más megvilágításhoz képest a legrövidebbnek adódott. A skálázott adatok kiértékelési idejének szignifikáns sorrendje (legrövidebb→leghosszabb): fehér→ borostyán, piros→ zöld→ kék.

6. táblázat: A kirakás, valós- és skálázott idejének eredményei Duncan-féle post hoc teszt szerinti szignifikáns különbségei alapján (1. Kísérlet)

Valós idejű adatok			Skálázott idejű adatok	
Megvilágítás	Átlag (s)	Csoportok	Átlag (s)	Csoportok
Kék	35,69	A	0,94	A
Zöld	29,47	B	0,78	B
Piros	24,43	B C	0,64	C
Borostyán	22,26	C	0,62	C
Fehér	15,73	D	0,44	D

A maszkoló megvilágítások hatékonysága túlélés-elemzés alapján (leghatékonyabbtól a legkevésbé hatékonyig): Kék → Zöld → Piros, Borostyán. Összefoglalva az eredményeket, minden egyes vizsgált színezett fénykörnyezet rendelkezik maszkoló hatással a fehér (D65) fényhez viszonyítva, azonban ezek hatékonysága eltérő.



4. ábra: Az 1. Kísérlet túlélés görbéi, a Kaplan-Meier-féle túlélés elemzés alapján

3.2.3 Érzékszervi bírálatok eredményei (2. Kísérlet)

A 2. kísérletben azt vizsgáltuk, hogy lehet-e úgy bővíteni a maszkoló megvilágítás spektrális tartalmát, hogy az jobb kromatikus adaptációs feltételeket biztosítson (minimális érzékszervi fáradtságot okozva a látórendszerben), miközben a maszkolás hatékonysága megmarad. Az 1. kísérlet eredményei alapján állítottuk össze a 2. Kísérlet tervét. Mivel abban a Kék fény adta a legjobb maszkolási hatékonyságot, a 2. Kísérletben annak fényerejét minden esetben a maximum tartottuk. A spektrális tartalom bővítése céljából három-három hozzáadott – különböző fényerősségű (33%, 67%, és 100%) – Zöld (G33, G67, G100) és Borostyán (A33, A67, A100) beállítást vizsgáltunk.

Az eredmények leíró statisztikái azt mutatták, hogy a kombinált fények közül a G33+B100 fénykörnyezetnek volt a legnagyobb hatása a csokoládék sorba rendezésére. A döntési idő legnagyobb mértékben a G67+B100 beállítás mellett emelkedett meg. A kirakás helyessége és a döntési idők alapján a két legkevésbé maszkoló fénykombinációnak az A67+B100 és az A100+B100 adódott.

A sorrend-elemzésének eredményei azt mutatták, hogy a borostyánnal (A67+B100 és A100+B100) kevert megvilágítások alatt több helyes válasz érkezett, mint a tiszta Kék (B100) esetében, ezért azok maszkoló hatása gyengébbnek bizonyult. Azonban a Zölddel kombinált (G33+B100, G67+B100 and G100+B100), valamint a kevés borostyánt tartalmazó (A33+B100) fénykörnyezetek nem különböztek szignifikánsan a tiszta Kék (B100) eredményeitől. Az

optimalizáláshoz, a kromatikus adaptáció figyelembevételével, a Smet-féle alkalmazkodási fokot számítottuk ki. A maximális alkalmazkodási fokot és maximális maszkoló hatást figyelembe véve az ajánlott maszkoló környezet az A33+B100.

7. táblázat: A kirakás helyességének eredményei Duncan-féle post hoc teszt szerinti szignifikáns különbségei alapján (2. Kísérlet) és az adaptáció foka (a megvilágítás esetében: A [amber]: borostyán, G [green]: zöld, B [blue]: kék. Az ezt követő szám pedig megmutatja, hogy a LED hány százalékon működött)

Megvilágítás (%)	Átlag	Csoportok		Adaptáció foka
A100+B100	0,8696	A		1,9987E-01
A67+B100	0,8696	A		8,9775E-02
G100+B100	0,6087	A	B	5,4490E-02
G67+B100	0,5217	B		1,2583E-04
A33+B100	0,4783	B		4,0501E-02
G33+B100	0,4348	B		1,2757E-05
Kék (B100)	0,3913	B		1,7613E,07

A döntési idő vizsgálatának eredményeiből látható, hogy a G67+B100 és G33+B100 megvilágítások a tiszta Kék (B100) fényhez hasonló hatékonyságot mutattak. Az eredmények megerősítik, hogy azok közül a maszkoló fénykörnyezetek közül, melyek nem különböznek szignifikánsan a Kék fénytől a maszkolás hatékonysága tekintetében, az A33+B100 kombináció adta a legrövidebb valós (25,13 s) és skálázott (0,62) időt a csokoládék sorbarendezését illetően. Látható, hogy a skálázott adatok alapján jobban elkülönülő csoportok határozhatók meg.

8. táblázat: A kirakás, valós- és skálázott idejének eredményei Duncan-féle post hoc teszt szerinti szignifikáns különbségei alapján (2. Kísérlet) (a megvilágítás esetében: A [amber]: borostyán, G [green]: zöld, B [blue]: kék. Az ezt követő szám pedig megmutatja, hogy a LED hány százalékon működött)

Valós idejű adatok			Skálázott idejű adatok		
Megvilágítás (%)	Átlag (s)	Csoportok	Megvilágítás (%)	Átlag	Csoportok
Kék (B100)	35,69	A	Kék (B100)	0,83	A
G67+B100*	34,91	A	G67+B100*	0,79	A
G33+B100*	32,21	A B	G33+B100*	0,77	A B
G100+B100*	28,39	A B C	G100+B100*	0,66	B C
A33+B100*	25,13	B C D	A33+B100*	0,62	C
A67+B100	23,91	C D	A67+B100	0,57	C D
A100+B100	20,34	D	A100+B100	0,48	D

*azok a fény-kombinációk, melyek alatt a maszkolóhatás nem különbözött szignifikánsan ($p < 0,05$) a Kék (B100) megvilágítás hatékonyságától

A túlélés elemzés alapján a legjobb maszkoló fények a tiszta Kék (B100), a G33+B100 és a G67+B100. Megállapítható, hogy a zöld fény hozzáadása nem javította a Kék fény (B100) maszkoló hatását, viszont rontotta azt a G100+B100 esetében. A Kaplan-Meier próbastatisztikai

eredményei alapján az A67+B100 és az A100+B100 megvilágítások minden más megvilágítástól különböztek, kivéve egymástól. Összefoglalva megállapítható, hogy a fények kombinációval nem sikerült előállítani a monokróm Kék (B100) megvilágításnál hatékonyabb maszkoló fénykörnyezetet.

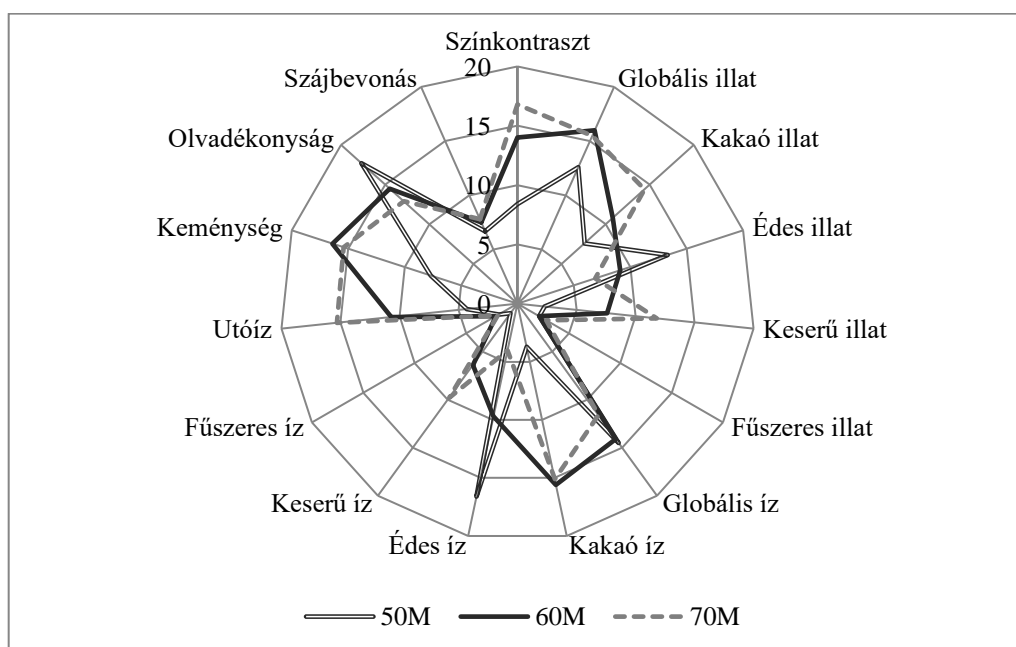
3.3 Keresztmodalitás (csokoládék)

3.3.1 Vizuális tetrádeszt

A 32 bíráló által elvégzett különbségvizsgálati teszt alapján megállapítottuk ($\alpha=5\%$), hogy a hat csokoládéminta közül csak kettő (70C és 70M) között nem áll fenn vizuális különbség, az azonos kakaótartalmú mintáknál mind a három esetben a maltitollal készült minták bizonyultak világosabbnak, valamint minél sötétebbek voltak a minták (magasabb kakaótartalom), annál jobban csökkentek az édesítőszerek okozta színekülönbségek.

3.3.2 Érzékszervi teszt (kóstolással) eredménye referenciafény (D65) alatt

A kutatási kérdés az volt, hogy lehet-e különböző színekörnyezetekkel befolyásolni a csokoládék vizuális paraméterein kívüli további jellemzőit (illat, íz, állomány). A színes fénykörnyezetben végzett tesztek eredményeit a mesterséges napfény (D65) mellett kapott eredményekhez hasonlítottam. Referenciának a 60C mintát választottam.



5. ábra: A maltitolt tartalmazó termékek érzékszervi profilja

Mind a cukros, mind a maltitolos mintáknál megállapíthatók általános mintázatok. A *színkontraszt* adatokból kirajzolódik, hogy minél több kakaóport tartalmaz egy csokoládé, annál

sötétebb lesz a színe. A *globális illat*, a *kakaó illat* és a *keserű illat* a kakaópor-arányt követi. Az *édes illat* eredmények ellentétes mintát mutatnak a kakaó illattal, hiszen a minták minél több kakaóport tartalmaztak, annál kevesebb cukrot. Az ízjegyek szintén megfelelnek az elvártaknak, mivel követik a *több kakaópor: magasabb kakaós/keserű íz* tendenciát, míg az *édes íz* éppen fordítva. *Utóíz* és *keménység* tekintetében az 50%-os minták elmaradnak a magasabb kakaó tartalmú mintáktól.

3.3.3 Keresztmodalitás vizsgálatának érzékszervi eredményei

A fénykörnyezetek hatását mindig a fehér fény (D65) megvilágítási környezet teszteredményeihez hasonlítottuk csokoládémintánként, és érzékszervi tulajdonságokként ($\alpha=1\%$, egyszempontos varianciaanalízis, Duncan-féle post hoc teszt). A színezett fények befolyásoló hatásáról akkor kaphatunk képet, ha összehasonlítjuk egymással a különböző színű fénykörnyezetek alatt, az ugyanazon mintákra adott válaszokat.

9. táblázat: Fénykörnyezetek hatásai 1%-os szignifikanciaszint mellett

$\alpha = 1\%$	Zöld		Kék		Piros	
	Intenzívebb	Kevésbé	Intenzívebb	Kevésbé	Intenzívebb	Kevésbé
50M	keserű illat ($p=2,6E-05$)		kakaó íz ($p=0,0059$)		kakaó íz ($p=0,0003$)	
			utóíz ($p=0,0009$)			
50C	keserű illat ($p=0,0006$)		utóíz ($p=2,7E-05$)		kakaó íz ($p=0,0092$)	
	utóíz ($p=0,0043$)				utóíz ($p=0,0023$)	
60M			kakaó illat ($p=0,0055$)			
70M						
70C		színkontraszt ($p=0,0005$)				

*Borostyán és Narancssárga megvilágítás mellett 1%-os alfa-szinten nem találtunk különbséget, ezért a táblázat oszlopaiban sem tüntettük fel ezeket a maszkolószíneket

1%-os α -szint mellett a következőket állapítottam meg.

- 1) A **zöld**, **kék** és **piros** színű fényekkel intenzívebbé lehet tenni egyes érzékszervi tulajdonságokat az 50 és 60 százalékban kakaót tartalmazó csokoládéknál.
- 2) A **zöld** színekörnyezet intenzívebb keserű illatot eredményezett az 50M-nél, valamint intenzívebb keserű illatot és intenzívebb utóízt eredményezett az 50C esetében.
- 3) A **kék** színekörnyezet intenzívebb kakaóízt és intenzívebb utóízt eredményezett az 50M-nél, intenzívebb utóízt eredményezett 50C-nél, és intenzívebb kakaóillatot 60M-nél.
- 4) A **piros** színekörnyezet intenzívebb kakaóízt eredményezett az 50M-nél, intenzívebb kakaóízt és utóízt eredményezett 50C-nél.

- 5) A **zöld, kék és piros** színekkel elsősorban az 50% kakaótartalmú csokoládékra van hatása, csak a kék színnek van hatása a 60% kakaótartalmú csokoládékra.
- 6) A 70% kakaótartalmú csokoládékra nincs szignifikáns (1%) hatással a színkörnyezet.
- A **borostyán** és **narancssárga** színeknek nem volt szignifikáns (1%) hatása egyetlen egy érzékszervi jellemzőre sem.

3.4 Sörök színvizsgálatának eredményei

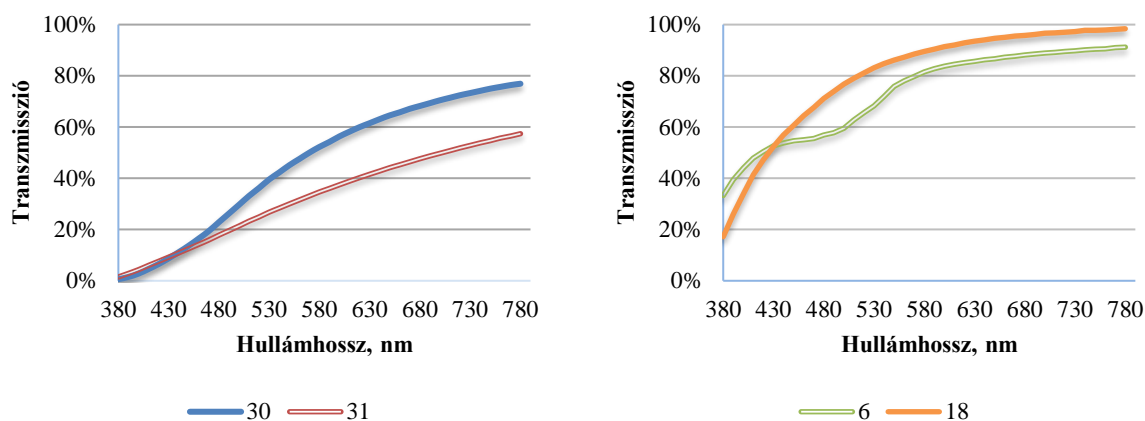
A vizsgált sörminták pontos EBC és CIELAB értékei a doktori disszertációban vannak részletesen bemutatva.

3.4.1 A színmeghatározási módszerek különbségei

10. táblázat: European Brewery Convention (EBC) és CIELAB rendszer szerinti színekülönbségek

Sör kategóriák (mintaszám)	EBC különbség	ΔE^*_{ab} különbség	Vizuálisan érzékelhető különbség mértéke (Zhu et al. [2013] szerint)
Weissbier (30)	0,6	17,4	nagy különbség
Weissbier (31)			
Citromlével kevert alkoholmentes sör alapú ital (5)	0,3	12,6	nagy különbség
Belga strong pale ale (28)			
Grapefruit-lével kevert alkoholmentes sör alapú ital (6)	0,1	7,7	nagy különbség
European pale lager (18)			
International amber lager (24)	1,6	7,3	nagy különbség
Ír red ale (34)			
Ír stout (35)	1,1	4,5	közepes különbség
Dunkles bock (36)			

Két vizsgált weissbier (30. és 31.) közötti különbség az EBC rendszerben mérve mindössze 0,6, ami azt jelenti, hogy kisebb, mint 5% a különbség, azonban a ΔE^*_{ab} szerinti a különbség extrém nagy (17,4), és a két sör transzmissziós spektrumra is nagy mértékben különbözik (6. ábra). Az 5. (alkoholmentes sör alapú ital hozzáadott citromlével) és a 28. minta (belga strong pale ale) közötti EBC különbség 0,3, míg a ΔE^*_{ab} különbség ezzel szemben 12,6. A 6. (grapefruit-lével kevert alkoholmentes sör alapú ital) és 18. minta (European pale lager) az EBC-rendszer szerint megegyező, azonban CIELAB szerint a ΔE^*_{ab} különbség 7,7, ami a 420-520 nm-en mért adatok különbségéből adódik (6. ábra). A 24. (International amber lager) sört a 34. (Irish red ale) sörmintához (EBC=1,6; ΔE^*_{ab} =4,5), valamint a 35. mintát (Irish stout) a 36. (Dunkles bock) sörhöz (EBC=1,1; ΔE^*_{ab} =7,3) hasonlítva szintén az tapasztalható, hogy kis különbséget mutatkozik az EBC színrendszerben, de nagy eltérés az ΔE^*_{ab} érték szerint.



6. ábra: Két-Két vizsgált sörminta transzmissziós spektrumai

3.5 EEG és meggyes illatanyag

3.5.1 Levegő (L) és meggy (M) illat összehasonlítása a kiváltott jel alapján

Az első kutatási kérdés az volt, hogy a levegő és a meggy illat által kiváltott EEG jelek csatornánként és emberenként különböznek-e. Ennek megfelelően az EEG jeleket csatornánként (delta, théta, alfa, béta, gamma) a feltételvizsgálatok elvégzése után, egyszempontos varianciaanalízissel ($\alpha=0,05$) elemeztük.

11. táblázat: Referenciától való eltérés a meggyes illat hatására (a felső sorokban az eltérés iránya, az alsó sorokban az ANOVA által számított p-értékek láthatóak, vastaggal szedve a szignifikáns ($\alpha=0,05$) különbségek láthatók)

	Delta	Théta	Alfa	Béta	Gamma
1	M↑ 0,0149	Nem 0,1537	Nem 0,3719	Nem 0,0545	M↓ 0,0214
2	Nem 0,154	M↓ 0,046	M↓ 0,024	Nem 0,113	Nem 0,055
3	M↑ 0,009	M↑ 0,009	Nem 0,449	Nem 0,814	Nem 0,671
4	M↑ 0,016	M↓ 0,044	M↓ 0,036	M↓ 0,025	Nem 0,229
5	Nem 0,216	Nem 0,622	Nem 0,108	M↑ 0,007	M↑ 0,0004
6	Nem 0,181	Nem 0,062	Nem 0,546	Nem 0,304	M↓ 0,011
7	M↑ 0,002	Nem 0,334	M↓ 0,0004	M↓ <0,0001	M↓ 0,005
8	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001
9	Nem 0,332	Nem 0,272	M↓ <0,0001	M↓ <0,0001	M↓ <0,0001
10	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001	M↑ <0,0001
11	M↑ 0,018	Nem 0,136	M↓ 0,032	Nem 0,194	M↑ <0,0001
12	Nem 0,313	Nem 0,542	Nem 0,130	M↓ <0,0001	Nem 0,087

13	Nem 0,102	Nem 0,527	Nem 0,979	Nem 0,457	Nem 0,538
14	Nem 0,942	M↓ 0,008	M↓ 0,000	M↓ 0,031	Nem 0,688
15	Nem 0,579	Nem 0,062	M↓ 0,015	M↓ 0,042	Nem 0,139
16	M↑ <0,0001	M↑ 0,001	M↑ 0,027	Nem 0,088	M↑ 0,031
17	Nem 0,081	Nem 0,366	Nem 0,183	M↑ <0,0001	M↑ 0,001
18	Nem 0,615	M↓ 0,002	M↓ 0,007	Nem 0,069	M↑ <0,0001
19	M↑ 0,048	Nem 0,274	Nem 0,309	Nem 0,700	Nem 0,828
20	M↑ 0,001	Nem 0,480	M↓ 0,006	Nem 0,931	Nem 0,081

Az eredmények ezzel a megközelítéssel ellentmondásosak, ezért az EEG jelek kiértékelése más megközelítést igényel. Célszerűbb a 4 belégzésből álló teljes ciklus helyett az első, a második, a harmadik és a negyedik belégzéseket külön, blokkonként vizsgálni.

3.5.2 Illat hatásának blokkosított vizsgálata

A 4 belégzésből álló teljes ciklusokat blokkosítása után (a belégzések sorszáma szerint) az eredmények azt mutatják, hogy minden esetben, ahol szignifikáns változás volt a csatornák értékei között, ott szinte mindig az *első* vagy *második* belégzés generált magasabb az értékeket, csatornától függetlenül. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy az illat receptorok nagyon gyorsan adaptálódnak, hozzá szoknak az adott ingerkörnyezethez. Ezért a harmadik és a negyedik belégzési blokkban már szignifikánsan gyengébb EEG jeleket kaptunk, mint az első és második belégzési blokkban.

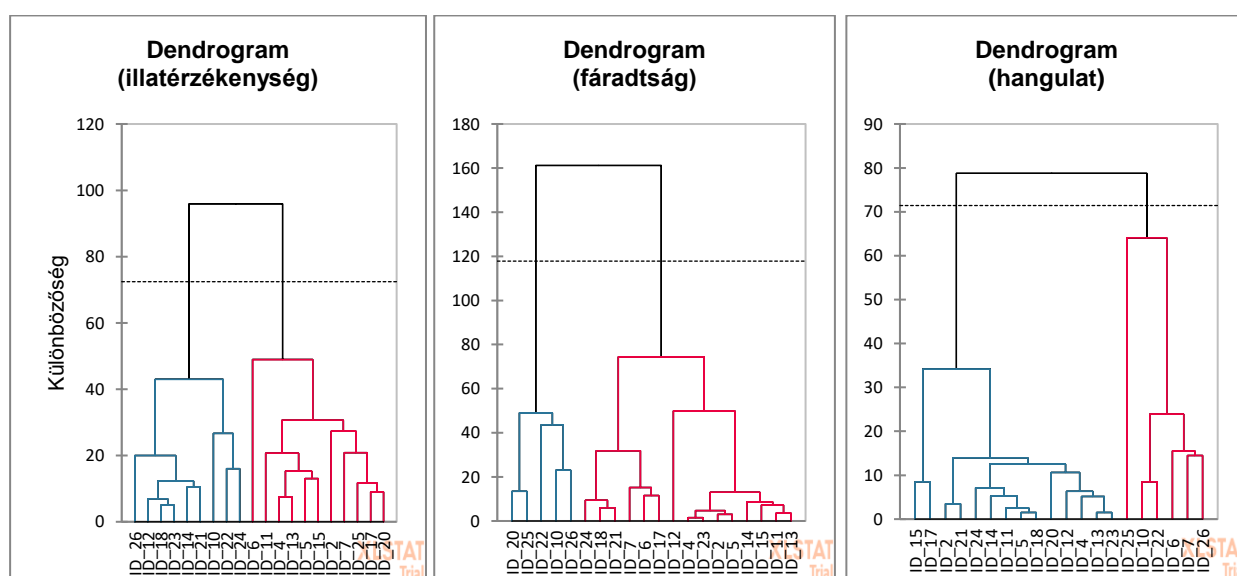
12. táblázat: Néhány delta csatornán rögzített EEG jelsorozat Duncan-féle post hoc teszt szerinti csoportosítása, ahol szignifikáns különbség adódott a belégzési blokkok között

	Blokk	Átlag	Szórás	Alsó határ (95%)	Felső határ (95%)	Csoportok	
10. személy	2.	0,819	0,054	0,709	0,929	A	
	1.	0,669	0,054	0,559	0,779	A	B
	3.	0,561	0,054	0,451	0,671		B
	4.	0,537	0,054	0,427	0,647		B
11. személy	1.	0,67	0,045	0,578	0,762	A	
	2.	0,581	0,045	0,489	0,674	A	B
	4.	0,539	0,045	0,446	0,631	A	B
17. személy	3.	0,528	0,045	0,436	0,621		B
	2.	0,73	0,044	0,64	0,819	A	
	1.	0,572	0,044	0,482	0,661		B
	3.	0,432	0,044	0,343	0,522		C
	4.	0,333	0,044	0,295	0,474		C

Összefoglalóan megállapítható, hogy létrehoztam egy élelmiszer aroma illatstimulus hatásainak vizsgálatára alkalmas elektroencefalográf (EEG) kísérleti környezetet és tesztelő-értékelő rendszert.

3.5.3 Kérdőívek és EEG jelek összevetése

Az EEG mérések körültekintő vizsgálatokat igényelnek, mivel egy adott egyén EEG jeleit az ingerként használt stimulusokon kívül számos más tényező befolyásolja. Egyéb jelentős tényezők lehetnek az illatérzékenység, fáradtság és a hangulat egyénenként változó tényezői. Az illatérzékenységre, fáradtságra és hangulatra vonatkozó válaszok alapján 3 különböző klaszteranalízist (Agglomeratív hierarchikus klaszterezés, euklideszi távolság, Ward módszer) végeztünk, melyben a vizsgált egyéneket minden esetben 2 osztályba csoportosítottuk (7. ábra).



7. ábra: Az illatérzékenység, a fáradtság és a hangulat alapján létrehozott klaszterek

Az eredmények alapján mindhárom szempont alapján (illatérzékenység, fáradtság, hangulat) két-két egymástól elkülönülő klaszter adódott az alábbiak szerint:

- illatérzékenység szempontjából elkülönítettünk illatra érzékeny (9 fő) és kevésbé érzékeny (11 fő) résztvevők csoportjait,
- fáradtság alapján elkülönítettünk fáradt (5 fő) és kipihent (15 fő) csoportokat,
- hangulat szempontjából elkülönítettük az aktív (14 fő) és passzív (6 fő) résztvevők csoportjait.

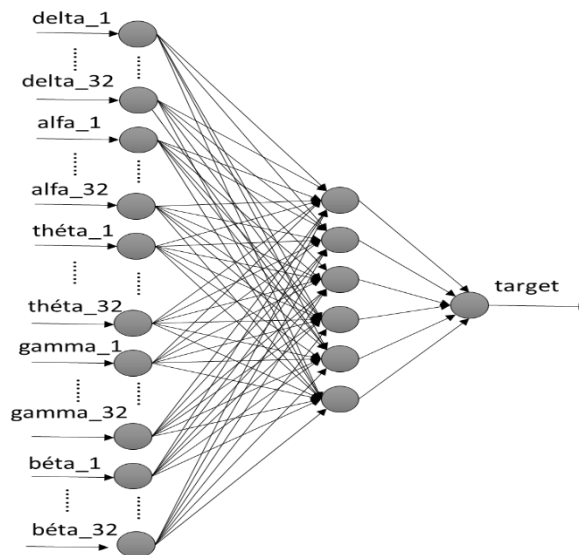
Ezután az egyes klaszterekbe sorolt résztvevők EEG válaszjeleit vizsgáltuk, hogy megismerjük az illatérzékenység, a fáradtság és hangulat befolyásoló hatásait. A rögzített EEG jeleket az összehasonlíthatóság végett standardizáltuk, azaz minden agyi jelet az adott személyhez viszonyítottunk, ami által összehasonlíthatóvá váltak az egyes személyek adatai. A meggyes

ingerre adott EEG jeleket csatornánként (delta, théta, alfa, béta, gamma), egyszempontos variancia-analízissel ($\alpha=0,05$), elemeztem. Az eredmények összefoglalóan az alábbiak:

- Az illatérzékenység alapján elkülönített klaszterek közötti vizsgálatból megállapítható, hogy az „illatra érzékenyek” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb volt a théta, béta és a gamma jel.
- A fáradtság EEG jelekre kiváltott hatásával kapcsolatban a „fáradtak” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb volt a gamma jel.
- A hangulat befolyásoló hatásáról elmondható, hogy a „passzív” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb értékeket rögzítettünk a delta, béta és gamma csatornákon.

3.5.4 Neurális hálózatok

Osztályozó hálózatot építettem annak vizsgálatára, hogy mekkora sikerrel képes eldönteni egy adott személy EEG jeleiről, hogy azok a referencia (levegő) vagy a meggyes illatstimulus hatására jöttek létre. A személyenként rögzített adathalmazokat 100-szoros szimulációkban sokszorosítottuk, bizonyos mértékű véletlen hibákkal zajosítva (négy alkalommal, szórások: $\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ $\pm 20\%$). Így minden generált adat legfeljebb a választott szórás mértékének megfelelő relatív eltéréssel rendelkezett az eredeti (mért) adathoz képest, ennek következtében a hálózat az adatok között fennálló mintázatokat tanulta meg. Az elemzés során 2-6 nóduszú többrétegű előrecsatolt hálózatokat (*Multilayer Feed Forward Net*, MLFN) építettünk és teszteltünk (8. ábra). Az eredmények azt mutatták, hogy az általunk felépített neurális hálózatok hatékonyan képesek voltak osztályozni a tesztalmez adatait is. Megállapítható, hogy az osztályozási pontosság a szórás növekedésével csökken (13. táblázat). Ennek ellenére, a $\pm 20\%$ -os adathalmazból épített legjobb neurális hálózat (6 nóduszos) is több, mint 95%-os osztályozási pontosságot ért el, ami nagyon jónak mondható. Ebből arra következtethetünk, hogy az adatokban rejlő mintázat a nagyobb zajjal terhelt adatok esetén is egyértelmű, a klasszifikáció igen jónak adódott.



8. ábra: Az épített neurális hálózat sematikus rajza

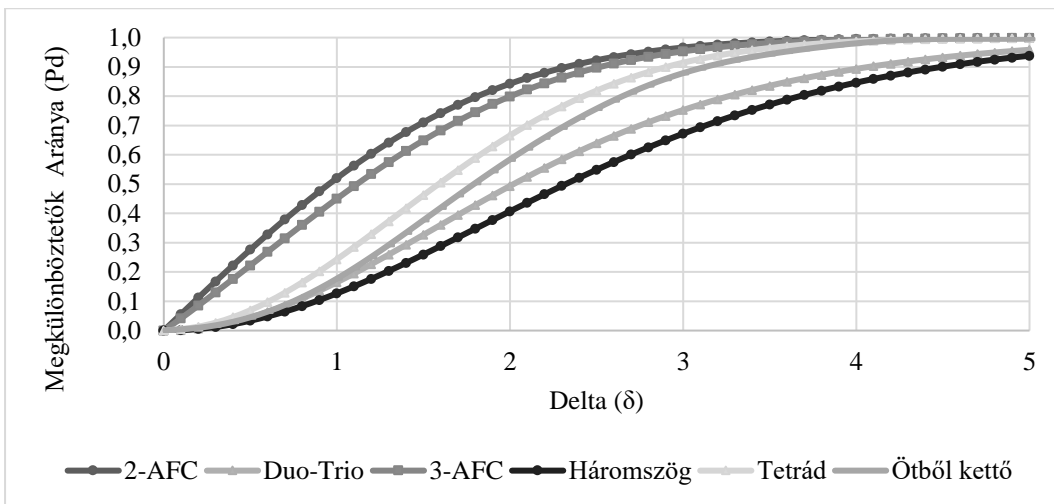
13. táblázat: A különböző szórású szimulált adatokból épített különböző nódusszámú neurális hálózatok eredményei

Best Net Search				
Hibás osztályzás	$\pm 2,5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
MLFN 2 nódusz	2,38%	2,88%	2,38%	5,88%
MLFN 3 nódusz	5,00%	0,38%	3,00%	12,00%
MLFN 4 nódusz	5,50%	0,63%	2,38%	11,00%
MLFN 5 nódusz	0,13%	2,00%	3,25%	5,75%
MLFN 6 nódusz	0,13%	0,25%	2,13%	4,75%

Az épített neurális hálózatok változóinak relatív hatása az alábbiak szerint alakult: $\pm 2,5\%$: 0,01 – 1,58; $\pm 5\%$: 0,17 – 1,83; $\pm 10\%$: 0,04 – 3,2; $\pm 20\%$: 0,06 – 1,67. Azaz nem találtam olyan változó, amelynek igazán kitüntetett szerepe lenne. Az épített előrecsatolt neurális hálózatok 10 legnagyobb értékkel bíró változójával kapcsolatban megállapítható, hogy ezek között nem szerepelnek a *béta* csatorna jelei.

3.1 Különbségvizsgálati módszerek pszichometriai függvényei

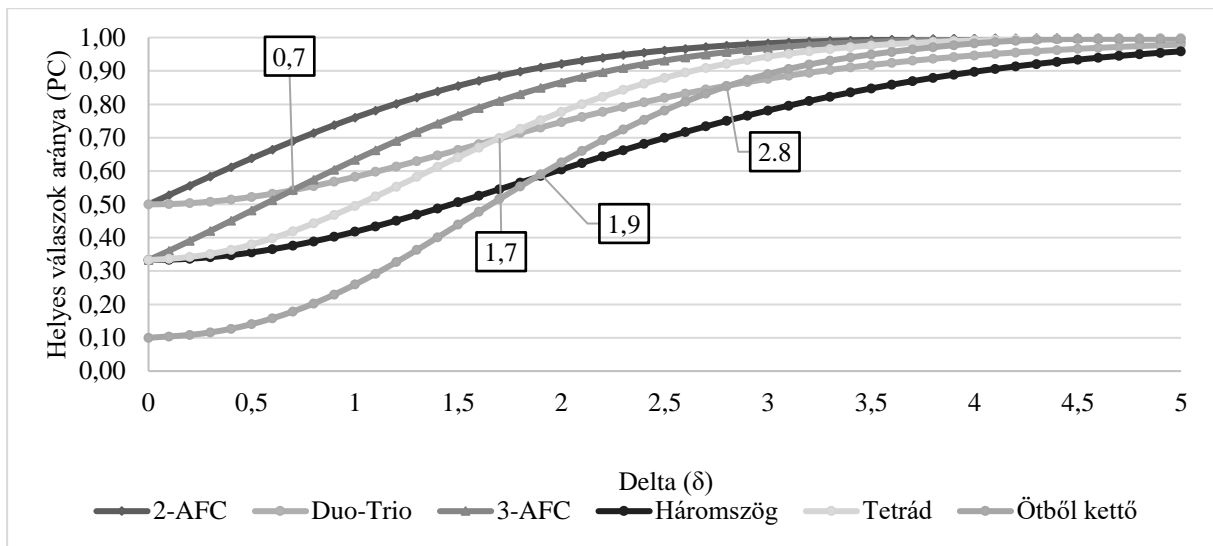
Pszichometriai függvényeknek azokat a görbéket nevezzük, melyek a termékek érzékszervi távolsága (δ) és a megkülönböztetők aránya (P_d) közti kapcsolatot mutatják be (9. ábra). Az ábrázolt adatokat Ennis & Jesionka (2011) eredményei alapján, valamint az Excel-makró alapú V-power statisztikai-érzékszervi szoftver segítségével számítottuk ki.



9. ábra: Különbségvizsgálati módszerek pszichometriai függvényei

Az egyes különbségvizsgálati módszerek pszichometriai függvényével kapcsolatban megállapítható, hogy a termékek közötti érzékszervi különbség növelésével nő a megkülönböztetők aránya. Az eredmények azt mutatják, hogy az egyes különbségvizsgálati módszerek P_d paraméterére különbözően hat a termékek érzékszervi különbségének növelése. A görbékről leolvasható, hogy melyik különbségvizsgálati módszer reagál érzékenyen a δ érték változására. Minél meredekebb egy görbe lefutása a diagramon, annál érzékenyebb az adott érzékszervi módszer a termékek közti különbség változására. A pszichometriai függvények jellegzetes mintázatot mutatnak adott δ értékhez tartozó P_d értékek relációjáról. A legnagyobb P_d értéktől kezdve a módszerek a következő csökkenő sorrendet veszik fel érzékenységük alapján: 2-AFC, 3-AFC, Tetrád, Ötből kettő, Duo-Trio, Háromszög.

A megkülönböztetők aránya ismeretében kiszámítható a helyes válaszok aránya (P_c), ha a P_d értékéhez hozzáadjuk a véletlen tippelésből származó helyes válaszok számát. Ez alapján módszerspecifikusan meghatározható a termékek érzékszervi különbségének mértéke (δ) és a helyes válaszok arányának függvényszerű kapcsolata (10. ábra). Megállapítható, hogy az egyes különbségvizsgálati módszerekre eltérően hat a δ növelése, és zérus esetén, azaz ha a két termék között nincsen különbség, a helyes válaszok aránya megegyezik a véletlen eltalálás valószínűségével.



10. ábra: A helyes válaszok aránya és a termékek érzékszervi távolságai közötti összefüggések egyes különbségvizsgálati módszerek esetén

A görbék közötti metszéspont azt jelenti, hogy az adott pontban a két különbségvizsgálati módszer azonos δ értékkel és azonos helyes válaszadási aránnyal rendelkezik. A módszerekre adott helyes válaszok száma a termékek közötti érzékszervi távolság függvénye, ezért a kutatási kérdésre csak abban az esetben lehet válaszolni, ha tudjuk, hogy milyen δ -szinten folyik az érzékszervi vizsgálat. Ezeket a pontokat és a vonatkozó δ értéket a diagramon jelöltük:

- Ha $\delta < 0,7$, a **3-AFC** próba várható helyes válaszainak aránya kisebb, mint a **duó-trió** próba esetén, ennél nagyobb δ értéknél azonban a 3-AFC próba P_c értéke lesz magasabb.
- Ha $\delta < 1,7$, a **Tetrád** próba várható helyes válaszainak aránya kisebb, mint a **duó-trió** próbáé, ennél nagyobb δ értéknél azonban a Tetrád próba P_c értéke lesz magasabb.
- Ha $\delta < 1,9$, az **Ötből kettő** próba várható helyes válaszainak aránya kisebb, mint a **háromszög** próbáé, ennél nagyobb δ értéknél azonban az Ötből kettő próba P_c értéke lesz magasabb.
- Ha $\delta < 1,7$, az **Ötből kettő** próba várható helyes válaszainak aránya kisebb, mint a **duó-trió** próbáé, ennél nagyobb δ értéknél azonban az Ötből kettő próba P_c értéke lesz magasabb.

A felvett görbék két típusba sorolhatók: az inflexiós ponttal nem rendelkező **telítődési függvények** (2-AFC, 3-AFC), és az egy inflexiós ponttal rendelkező **logisztikus trend függvények** (tetrád, ötből kettő, duó-trió próba, háromszög próba). A telítődési függvények jellegzetessége, hogy a független változó növekedésével a függő változó növekedése folyamatosan csökken. Az egy inflexiós ponttal rendelkező logisztikus trend függvények szintén monoton növekedést mutatnak, azonban három különböző szakaszra oszthatók (felfutási szakasz, inflexiós pont, telítődési szakasz), melyeknél a növekedés eltérő tendenciákat követ.

A görbék lefutásának ismeretében, valamint a kiszámított értékek alapján függvényt illeszthetünk a görbékre. A telítődési görbét leíró paraméteres egyenlet:

$$y = p_1 + p_2(1 - e^{-p_3x})$$

A p_1 , p_2 és p_3 a regresszió meghatározásához szükséges illesztési paraméterek. Az alkalmazott nem-lineáris regresszió, minden egyes esetben iterációs lépések sorozatával határozza meg a paraméterek pontos értékeit. A számítások elvégzése után az alábbi képleteket kaptuk, mely leírja a *helyes válaszok aránya* és a *termékek közötti érzékszervi távolság* közötti függvényszerű összefüggést a **2-AFC** és a **3-AFC** teszt esetében:

2-AFC teszt: $y = 0,471 + 0,554(1 - e^{-0,791x})$

3AFC teszt: $y = 0,282 + 0,770(1 - e^{-0,672x})$

Hasonló módon számszerűsíthetők a logisztikus trendfüggvény alakú görbék is. A logisztikus trendfüggvényeket leíró általános paraméteres egyenlet:

$$y = p_1 + \frac{p_2}{1 + e^{-p_3(x-p_4)}}$$

A számításokat szintén nem-lineáris regresszióval végeztük, paraméter-iterációval. Az egyes különbségvizsgálati tesztek leíró függvények:

Duó-Trió: $y = 0,423 + \frac{0,564}{1 + e^{-1,166(x-1,77)}}$

Tetrád teszt: $y = 0,256 + \frac{0,747}{1 + e^{-1,598(x-1,472)}}$

Háromszögpróba: $y = 0,243 + \frac{0,743}{1 + e^{-1,056(x-2,073)}}$

Ötből kettő próba: $y = 0,022 + \frac{0,984}{1 + e^{-1,579(x-1,711)}}$

Az adatokra illesztett logisztikus modellek determinációs együtthatójának (R^2) értéke minden egyes esetben 1,00, azaz a pontokra illesztett modellek 100%-ban magyarázzák a delta és a helyes válaszok aránya közötti kapcsolatot.

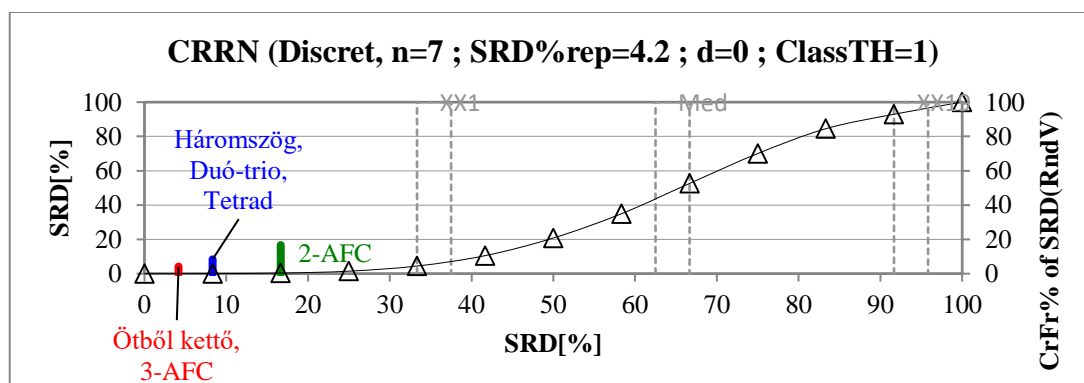
3.1 Különbségvizsgálati módszerek multikritériumos értékelése

A különbségvizsgálatok összehasonlításához SRD módszert alkalmaztunk. Az első (elméleti) kutatási kérdésben azt vizsgáltuk, hogy össze lehet-e hasonlítani a különbségvizsgálati módszereket. A futtatások alapján megállapítottuk, hogy az SRD módszer alkalmas a különbségvizsgálati módszerek összehasonlítására. A szimulált kísérletek bemeneti táblázata az 14. táblázatban látható.

14. táblázat: Az SRD bemeneti értékei azonos minta és eltérő vizsgálati módszer esetén

	Háromszög	Duó-trió	Ötből kettő	2-AFC	3-AFC	Tetrád	Read
α	0,05	0,01	0,01	0,1	0,05	0,05	0,01
β	0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
Pd (prop. of dist.)	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5
n (bírálok száma)	20	15	25	12	16	22	12
Anyagköltség	3	2	2	1	1	4	1
Érzékszervi kifáradás minta	2	3	1	2	2	1	1
Érzékszervi kifáradás módszer	3	3	5	2	3	4	2

A táblázatban mind a 7 bemeneti paramétert véletlenszerűen változtattuk, amivel a módszer rugalmasságát akartuk tesztelni. A *Read* oszlopban láthatóak a referenciaértékek, amiben minden egyes sorból az *ideális* érték van feltüntetve. Ezeket az értékeket soronként határoztuk meg. A rangszámkülönbségek összege módszer szoftveres futtatása után a 11. ábrán és az 15. táblázatban szereplő eredményeket kaptuk.



11. ábra: A különbségvizsgálatok sorrendje szimulált adatokra a rangszám különbségek összege módszerrel összehasonlítva (elméleti)

Az eredmények alapján egyértelmű mintázat adódott (a legjobb módszertől kezdve): ötből kettő próba, 3AFC→háromszög próba, duó-trió próba, tetrád próba → 2AFC. Ezzel az eredménnyel igazoltuk, hogy az SRD módszer alkalmas a különbségvizsgálati módszerek összehasonlítására.

15. táblázat: A különbségvizsgálatok sorrendje szimulált adatokra a rangszám különbségek összege módszerrel összehasonlítva (elméleti)

Név	SRD	x < SRD > =x	
Ötből kettő	1	1,37E-04	3,90E-02
3-AFC	1	1,37E-04	3,90E-02
Háromszög	2	3,90E-02	4,08E-02
Duó-trió	2	3,90E-02	4,08E-02
Tetrád	2	3,90E-02	4,08E-02
2-AFC	4	0,24	0,32
XX1	9	4,44	7,26
Q1	13	20,58	29,11
Med	16	44,52	52,48
Q3	19	69,93	77,39
XX19	23	92,87	97,15

A másik, gyakorlati esetben (adott élelmiszertermék, adott számú bíráló: melyik tesztet alkalmazzuk) s alkalmas az SRD módszer. A 14. táblázatban bemutatott paraméterek közül ebben az esetben az α , β , P_d és a módszer okozta érzékszervi kifáradás változtatható. Az eredmény a 16. táblázatban látható.

16. táblázat: A különbségvizsgálatok sorrendje szimulált adatokra a rangszám különbségek összege módszerrel összehasonlítva (gyakorlati)

Név	SRD	x < SRD > =x	
2-AFC	0	0	1,98E-02
Háromszög	2	3,90E-02	4,08E-02
Duó-trió	2	3,90E-02	4,08E-02
3-AFC	2	3,90E-02	4,08E-02
Ötből kettő	3	4,08E-02	0,24
Tetrád	3	4,08E-02	0,24
XX1	9	4,44	7,26
Q1	13	20,58	29,11
Med	16	44,52	52,48
Q3	19	69,93	77,39
XX19	23	92,87	97,15

Látható, hogy az adott bementi paraméterek mellett a 2-AFC módszer nem csak hogy megközelíti, de meg is egyezik az elméleti legjobb módszerrel. A következő csoportban a háromszög próba, a duó-trió próba és a 3-AFC teszt szerepel, míg a jelen adatok esetén legkevésbé előnyös különbségvizsgálati eljárás az ötből kettő próba, illetve a tetrád teszt.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az érzékszervi vizsgálatok következtetései az érzékszervi bírálati adatokon alapulnak, az érzékszervi bírálatok tervezésében, végrehajtásában és értékelésében pedig kiemelten fontosak a nemzetközi (ISO) szabványok. Ezért a szabványok a szükséges feltételek ahhoz, hogy az érzékszervi tesztek megbízhatóak, reprodukálhatók és összehasonlíthatók legyenek. Mind a fogyasztókkal, mind a képzett, mind a szakértői bírálókkal végzett tesztek esetén a megfelelő érzékszervi bíráló az érzékszervi vizsgálat alappillére. A képzett és szakértői bírálók számos bírálókiválasztó teszten – íz felismerés, íz küszöbérték vizsgálatok, illat felismerés, színfelismerés, színárnyalat, szíkontraszt vizsgálatok, stb. – vesznek részt, amelyet egy többlépcsős iteratív teljesítmény monitoring rendszer követ.

Amennyiben az érzékszervi vizsgálat alapja nem a vizuális értékelés, olyan vizsgálati körülményeket célszerű létrehozni, amelyben a bírálókat a vizuális különbségek nem befolyásolják az értékelésben. Ennek kiküszöbölésére eddig számos módszert dolgoztak ki – szembekötés, élelmiszerek színezése, színezett edényzet, spektrálisan rögzített fénycsövek, színezett szemüveglencsék – azonban a gyakorlatban alkalmazott érzékszervi színmaszkolási technikákról beigazolódott, hogy hibákkal terheltek, így csak erősen korlátozottan alkalmazhatók egy-egy színspecifikus termékhez.

A szabványos színösszehasonlítás feltételei, hogy a bírálók normál látással rendelkezzenek, reprodukálható megvilágítás alatt és reprodukálható szemrevételezési környezetben, egy érzékszervi laboratórium bíráló fülkéiben végezzék az érzékszervi teszteket. Az érzékszervi vizsgálatoknál a bírálóknak nem lehet olyan hiányosságuk, amely befolyásolhatja az érzékelésüket, vagy károsan hathat az érzékszervi teljesítőképességükre, ami által bírálataik megbízhatósága csökkenhet, ezért érzékszervi szűrővizsgálatok szükségesek. Az emberi látást, így az érzékszervi bírálók látását alapvetően három tényező határozza meg: a látásélesség, a kontrasztérzékenység és a színlátás. E három tényező közül a kontrasztérzékenység- és a színlátás tesztelése szabványos előírás. A színlátással kapcsolatos vizsgálatok célja elsősorban a szintévesztő bírálók kiszűrése, jellemzően pseudo-izokromatikus tesztekkel. Gyakorlati tapasztalatom, hogy a szintévesztőknek általában gyengébb a színdiszkriminációs képességük, így gyengébb eredményeket produkálnak többek között a Farnsworth–Munsell színárnyalt különbségtételi teszteken is.

Az ISO 3389:2007 szerint a termékek színértékelése esetén speciális világítóberendezésekre is szükség lehet a szín- vagy vizuális különbségek elfedésére (fényerőszabályozó, színes fényforrások, színes szűrők, fekete fény vagy monokromatikus fényforrások). Amint az eredményeink megmutatták, az érzékszervi kutatások gyakorlatában leggyakrabban alkalmazott

vörös fény maszkoló hatása nagymértékben termékszín-specifikus. A csokoládékkal végzett tesztben bizonyítottuk, hogy a magasabb fokú kromatikus adaptáció biztosítása érdekében, a leghatékonyabb maszkoló megvilágítás spektrális tartalmának gazdagítása megvalósítható a maszkolási hatékonyság csökkenése nélkül. A jövőben célszerű lenne olyan eszközöket létrehozni, amelyek alkalmasak az érzékszervi laboratóriumokban a spektrálisan szabályozható környezet kialakítására, hogy azzal termékszín-specifikus színmaszkolást lehessen megvalósítani. Ennek gyakorlati megvalósítása a legtöbb mai érzékszervi laboratórium számára még nehézségekbe ütközik, azonban a munkámban felvázolt spektrálisan hangolható fénykabin, annak egyszerűsége és széleskörű alkalmazhatósága miatt az érzékszervi szakemberek segítségére lehet. Ennek elterjedése valószínűsíthető az érzékszervi laboratóriumi gyakorlatban.

A maszkolással kapcsolatos eredmények csak a kísérletekben használt élelmiszermintákra vonatkozóan (csokoládék, szörpök) bizonyítottak, azonban jelentősen hozzájárulnak az érzékszervi színelmaszkolásról rendelkezésre álló ismeretekhez (adaptáció, spektrális tartalom, szabályozhatóság stb.). Az eredmények jelentőségét növeli, hogy spektrálisan szabályozható fénykabin segítségével ismereteim szerint még nem végeztek élelmiszerek színmaszkolását.

Az élelmiszerek színeivel kapcsolatban további kutatásokat végeztem. Sörökkel kapcsolatban bizonyítottam, hogy az egy hullámhosszon ($\lambda=430\text{nm}$) történő mérés helyett az emberi szem számára látható tartományban ($\lambda=380-760\text{nm}$) nanométerenként felvett transzmissziós spektrumokból számított CIELAB színkoordinátákkal és az azokból származtatott paraméterekkel a sörök részletesebben és megbízhatóbban karakterizálhatók. A gyümölcsörök és söralapú italok esetében az egy hullámhosszon ($\lambda=430\text{nm}$) mérő színmérési módszer (EBC) sok esetben nem képes megfelelő különbséget tenni a vizuálisan eltérő termékek között. Ezeknek a termékeknek más abszorpciós vagy transzmissziós spektruma van, mint a hagyományos technológiával előállított, gyümölcsöt nem tartalmazó söröknek. A különböző színek elsősorban a különböző karotinoid, antocianin tartalommal magyarázhatók. Az eredményekkel kapcsolatban tanulságos, hogy az öt, 5%-nál kisebb EBC színkülönbséggel rendelkező termékpárból három pár hagyományos sör típus volt. A legnagyobb vizuális különbség két Weissbier esetében adódott, ahol az EBC színkülönbség kevesebb, mint 5%-os volt. Ezeknek a söröknek a gyártási technológiája és receptúrája nagyon hasonló, mivel azonos sör típusról van szó. Ezért különösen fontos, egyetlen egy hullámhosszon történő mérés nem elegendő egy termék pontos színének leírásához, még akkor sem, ha hagyományos sör típusról van szó. Mivel egyre több gyümölcsöt, speciális alap- illetve adalékanyagot tartalmazó, valamint a kereskedelmi forgalomban rengeteg különféle malátafajtából készült termék kapható, javaslom az EBC színmeghatározás felülvizsgálatát, és az eredmények alapján új szabványos módszer kidolgozását.

A keresztmodális észlelés (interszenzoros koordináció) során az érzékelési csatornákon keresztül (látás, szaglás, ízlelés, tapintás, hallás) bejövő információkat egymással kapcsolatba hozzuk. A kutatásokban ma már mindegyik érzékszervi modalitás között oda-vissza mutattak ki keresztmodális hatást. A kutatásokat tovább folytatva keresztmodalitás vizsgálatokban a keresztmodális összhangot (keresztmodális asszociáció) vizsgálják, amelyek a különböző érzékelések illeszkedését írja le. A keresztmodális asszociáció során egy jel, jelkép, szimbólum kapcsolatát vizsgálták különböző modalitásokkal. Célszerű lehet a szín-asszociációs kutatásnak a kiterjesztése különböző kultúrákra, mert bizonyított tény, hogy a fogyasztók eltérő íz- és illatbeli elvárásokat fogalmazznak meg különböző színek esetén, mivel eltérő kulturális háttérrel és tapasztalatokkal rendelkeznek.

Munkámban az 50% és 60% kakaótartalmú csokoládékkal kapcsolatban bizonyítottam, hogy a keresztmodalitásnak köszönhetően zöld, kék és piros színű fényekkel intenzívebbé lehet tenni egyes érzékszervi tulajdonságokat. Ugyanakkor a csokoládékkal végzett maszokolásos kísérletben pedig azt igazoltam, hogy a kék fény a termékek közötti kis érzékszervi különbségek elfedésére jól alkalmazható. Megállapítható tehát, hogy a kék fény jó maszkoló tulajdonságú a vizsgált termékek esetében, ugyanakkor figyelembe kell venni azt is, hogy felerősíthetnek egyes érzékszervi paramétereket. Későbbi kutatásokban célszerű tesztelni további fénykörnyezetek keresztmodális hatásait (irány és intenzitás) ebből a termékkörből (alacsonyabb kakaótartalmú tejszokoládék, vagy fehér csokoládék) illetve további termékköröket bevonni a vizsgálatokba. A tesztek megvalósítását célszerű spektrálisan szabályozható fénykabinban végezni, mivel közel tetszőleges fénykörnyezet könnyen létrehozható és a vizsgálatok jól reprodukálhatók.

Az érzékszervi vizsgálatok során alkalmazott különbségvizsgálatok alkalmas eszköz arra, hogy két vizsgálati minta közötti különbség, illetve hasonlóság mértékét meg lehessen határozni. A módszereket összefoglalóan az „ISO 6658:2017 *Sensory analysis — Methodology — General Guidance*” szabvány ismerteti, részletesen pedig külön-külön nemzetközi szabványok mutatják be őket. A nemzetközi szakirodalomban számtalan vizsgálatot végeztek ezen módszerek alkalmazásával. Annak ellenére, hogy a kiválasztott és alkalmazott különbségvizsgálati módszer az eredményekre is hatással lehet, a publikációkban ritkán található meg az adott különbségvizsgálati módszer relevanciájának indoklása, leginkább csak a bírálatvezető tapasztalatára hagyatkoznak. Kutatásaimban első lépésben ezért azonosítottam a különbségvizsgálati módszerek összehasonlítására alkalmas paramétereket (α , β , P_d (megkülönböztetők aránya), n (bírálok száma), anyagköltség, érzékszervi kifáradás (minta), érzékszervi kifáradás (módszer)), majd bizonyítottam, hogy a különbségvizsgálati módszerek többszemponútú választásában hatékonyan alkalmazható az SRD módszer (*sum of ranking difference*, rangszám-különbségek összeg). A kidolgozott döntéstámogatási rendszer segítségével

a különbségvizsgálati módszerek összehasonlíthatók és rangsorolhatók. Az eredményeim az érzékszervi vizsgálatok gyakorlatába közvetlenül integrálhatók.

Az EEG mérések érzékszervi vizsgálatai elsősorban arra irányultak eddig, hogy az egyes illatanyagok milyen agyáram jeleket indukálnak. Kutatásom új megközelítése, hogy az illatérzékenység, a fáradtság és a hangulat EEG csatornákra (delta, théta, alfa, béta, gamma) gyakorolt hatását helyezte a fókuszba. Bizonyítottam, hogy ezek a tényezők a vizsgálati inger és a vizsgálati környezet mellett szignifikánsnak adódtak.

A neurális hálózatokat több fontos tulajdonság miatt alkalmazták eddig sikeresen különböző kutatásokban: 1. nagyon bonyolult nem lineáris számítási eszközök, amelyek képesek az extrém összetett függvények modellezésére, 2. tanulási képesség (az adatstruktúra automatikusan tanult a reprezentatív adattól az időben kialakított képzési algoritmus segítségével), 3. széleskörű alkalmazhatóság (numerikus adatokra épül), 4. párhuzamosság, általánosító-képesség, nagy sebesség és hibátűrés. Az ANN-ek robosztusabbak és felülmúlnak más számítási módszereket hat kategóriában is: mintázat felismerés, klaszterezés, függvény-modellezés, előrejelzés, optimalizálás és ellenőrzés. Az élelmiszertudomány területén három fő alkalmazási területe van: felderítő elemzés (exploratory analysis), predikció (prediction), osztályzás (classification). Az általam létrehozott EEG vizsgálatokra alkalmas tesztelő környezet vizsgálatait célszerű a jövőben további élelmiszer aroma stimulusokkal bővíteni, illetve speciális szegmensek (gyerekek, részleges anozmiában szenvedők, különböző kultúrákból származók, poszt COVID-os betegek) tesztelését elvégezni.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. tézis

Kutatásaimban bizonyítottam, hogy az érzékszervi vizsgálatoknál általánosan alkalmazott piros maszkolófény alkalmazása csak termékszín-specifikusan alkalmazható megalapozottan. Különböző kakaótartalmú (50%, 60% és 70%) csokoládékkal kapcsolatban bizonyítottam, hogy a kék ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm) megvilágítási környezet hatékonyabb maszkolást hoz létre, mint a piros ($\lambda_{\text{piros}}=627$ nm) megvilágítási környezet. Piros szörp esetében a piros ($\lambda_{\text{piros}}=627$ nm), a zöld szörp esetében kékes zöld ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm, $\lambda_{\text{zöld}}=523$ nm, kék/zöld=10/90), kék szörp esetében a kék ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm), sárga színű szörpök esetében pedig a kékes borostyánsárga ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm, $\lambda_{\text{borostyán}}=596$ nm, kék/borostyánsárga=10/90) megvilágítási környezetek hatékony maszkoló fénykörnyezetek bizonyultak.

2. tézis

Kutatásaimban igazoltam, hogy piros szörp esetében a kék színű ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm) megvilágítási környezet, a kék szörp esetében pedig a kékes zöld színű ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm, $\lambda_{\text{zöld}}=523$ nm, kék/zöld=50/50) megvilágítási környezet a termékek között érzékelt színekülönbségek kiemelésére alkalmazhatók.

3. tézis

Kutatásomban bizonyítottam, hogy a zöld ($\lambda_{\text{zöld}}=523$ nm), a kék ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm), és a piros ($\lambda_{\text{piros}}=627$ nm) színű fénykörnyezetekkel különböző keresztmodális hatást lehet kiváltani csokoládéknál.

A zöld ($\lambda_{\text{zöld}}=523$ nm) színekörnyezet intenzívebb keserű illatot eredményezett az 50%-os kakaótartalmú maltitollal édesített csokoládéknál, valamint intenzívebb keserű illatot, intenzívebb utóízt, és tartósabb szájbevonást az 50%-os kakaótartalmú szacharózzal édesített csokoládéknál.

A kék ($\lambda_{\text{kék}}=460$ nm) színekörnyezet intenzívebb kakaóízt és intenzívebb utóízt eredményezett az 50%-os kakaótartalmú maltitollal édesített csokoládéknál, intenzívebb utóízt eredményezett az 50%-os kakaótartalmú szacharózzal édesített csokoládéknál, és intenzívebb kakaóillatot 60%-os kakaótartalmú maltitollal édesített csokoládéknál.

A piros ($\lambda_{\text{piros}}=627$ nm) színekörnyezet intenzívebb kakaóízt eredményezett az 50%-os kakaótartalmú maltitollal édesített csokoládéknál, és intenzívebb kakaóízt és utóízt eredményezett 50%-os kakaótartalmú szacharózzal édesített csokoládéknál.

4. tézis

Kutatásaimban bizonyítottam, hogy a sörök szín mérésére alkalmazott nemzetközi módszer (European Brewery Convention, EBC) félrevezető eredményeket adhat. Új módszert dolgoztam ki, amely az egy adott hullámhosszon ($\lambda=430$ nm) történő mérés (EBC) helyett az emberi szem számára látható tartományban (380-760 nm) nanométerenként felvett transzmissziós spektrum műszeres mérésén alapul, és amely objektív CIELAB színekoordinátákkal, és azokból származtatott paraméterekkel jellemezhető. Ezáltal a sörök a színparamétereikkel részletesebben és megbízhatóbban karakterizálhatók.

5. tézis

Kutatásaimban módszerspecifikusan (2-AFC, 3-AFC, Duó-Trió próba, Háromszögpróba, Tetrád próba, Ötből kettő próba) meghatároztam a helyes válaszok aránya és a termékek közötti érzékszervi távolság közötti összefüggéseket leíró pszichometriai függvényeket. Kutatásaimban meghatároztam a különbségvizsgálatok összehasonlításában szerepet játszó paramétereket, melyek segítségével szimulált adatokon bizonyítottam a multikritériumos összehasonlítás lehetőségét.

6. tézis

Létrehoztam egy hangjelzéssel vezérelt, élelmiszer aroma illatstimulus hatásainak vizsgálatára alkalmas elektroencefalográf (EEG) kísérleti környezetet és tesztelő-értékelő rendszert. Kutatásaimban bizonyítottam, hogy ahol szignifikáns változás volt az EEG csatornák (delta, théta, alfa, béta, gamma) értékei között, ott mindig az első vagy második belégzés EEG jeleiben jelentkeztek magasabbak értékek, csatornáktól függetlenül.

7. tézis

Kutatásaimban bizonyítottam, hogy a vizsgálati inger és a vizsgálati környezet mellett további szignifikáns tényezők az illatérzékenység, a fáradtság és a hangulat egyéni jellemzői. A résztvevők a rögzített EEG jeleik, valamint az illatérzékenységre, fáradtságra és hangulatra vonatkozó kérdőívekre adott válaszaik alapján klaszterekbe csoportosíthatók (agglomeratív hierarchikus klaszterezés, euklideszi távolság, Ward módszer). A létrejött klaszterek jellemezését megtettem. A klasztercsoportok meggy

illatingerre adott EEG jeleit csatornánként (delta, théta, alfa, béta, gamma) elemezve összefoglalóan megállapítottam, hogy:

- Az illatérzékenység alapján elkülönített klaszterek közötti vizsgálatból megállapítható, hogy az „illatra érzékenyek” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb volt a théta, béta és a gamma jel.
- A fáradtság EEG jelekre kiváltott hatásával kapcsolatban a „fáradtak” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb volt a gamma jel.
- A hangulat befolyásoló hatásáról elmondható, hogy a „passzív” csoport tagjainál szignifikánsan magasabb értékeket rögzítettünk a delta, béta és gamma csatornákon.

8. tézis

EEG jelek csatornajelein alapuló mesterséges neurális hálózati modelleket építettem, teszteltem és validáltam. A legkisebb tesztelési hiba alapján kiválasztott, 6 nóduszú, többrétegű előreccsatolt neurális hálózat (MLFN) modellek az illatstimulusokat megfelelően osztályozták (hiba < 5%).

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktoros folyóiratcikkek:

Nyitrai, Á. G., Urbin Á., Nagy B. V., Sipos L. (2022) Novel approach in sensory color masking: Effects of colored environments on chocolates with different cocoa content FOOD QUALITY AND PREFERENCE 95, 104363 DOI: 10.1016/j.foodqual.2021.104363 (Q1, **IF: 5,565**)

Sipos L., **Nyitrai Á.G.**, Szabó D., Urbin Á., Nagy B. V. (2021) Former and potential developments in sensory color masking – Review TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY 111, 1–11 DOI: 10.1016/j.tifs.2021.02.050 (**D1** 4/332, **IF: 12,563**)

Koren D., Hegyesné Vecseri B., Kun-Farkas G., Urbin Á., **Nyitrai Á. G.**, Sipos L. (2020) How to objectively determine the color of beer? JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY 57(3), 1183-1189. DOI: 0.1007/s13197-020-04237-4 (Q2, **IF: 2,701**)

Lektorált folyóiratban (MTA listás) megjelent közlemények:

Sipos L., **Nyitrai Á. G.**, Szabó D., Urbin Á., Nagy B. V. (2020) Érzékszervi bírálók látásvizsgálati tesztjei – áttekintés ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK, 66(4) pp. 3202-3218

Sipos L., **Nyitrai Á. G.**, Szabó D., Dominek M., Urbin Á., Nagy B. V. (2020) Zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzeteire specifikált színelmaszkolási rendszer érzékszervi validálása ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK, 66(1) pp. 2830-2855

Nyitrai Á. G., Gere A., Sipos L. (2018) Mesterséges neurális hálózatok élelmiszertudományi alkalmazásai és nemzetközi trendjei ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK, 64(3) pp. 2140-2163. ISSN 0422-9576

Konferencia full paper:

Sipos L., **Nyitrai Á. G.** (2019) Spektrálisan szabályozható érzékszervi maszkoló-rendszer fejlesztése *Iffú Tehetségek Találkozója, SZIENTific Meeting for Young Researchers* Budapest, 2019. december 9., ISBN: 978-963-269-886-1

Konferencia összefoglalók:

Sipos L., **Nyitrai Á.G.** (2018) Színmaszkolási rendszerek alkalmazása az érzékszervi vizsgálatokban *MTA, Kertészeti és Élelmiszertudományi Bizottság, Élelmiszertudományi Albizottság workshop* (Budapest)

Nyitrai Á.G., Sipos L. (2019) Neurális válaszok mérése, elemzése és felhasználása az élelmiszertudományokban *Hungalimenteria* 2019, ISBN 978-963-89274-4-6 (Budapest)

Sipos L., **Nyitrai Á.G.** (2019) Érzékszervi bírálók színvizsgálatai, termékspecifikus színelmaszkolási rendszerek *Hungalimenteria* 2019, ISBN 978-963-89274-4-6 (Budapest)

- Nyitrai Á. G.**, Sipos L. (2019) Műszeres pszichofizikai vizsgálatok és érzékszervi mérése szinergiája: Elektroenkefalográfia (EEG) integrálása érzékszerv illatvizsgálatokba *MTA, Kertészeti és Élelmiszertudományi Bizottság, Élelmiszertudományi Albizottság workshop* (2019) Budapest
- Sipos L., **Nyitrai Á. G.** (2019) Spektrálisan szabályozható fénykabin az érzékszervi vizsgálatokban *MTA, Kertészeti és Élelmiszertudományi Bizottság, Élelmiszertudományi Albizottság workshop* (2019) Budapest
- Nyitrai Á. G.**, Urbin Á., Nagy B. V., Dominek M., Sipos L. (2019) Colormasking of chocolate bars by a spectral tuning sensory booth In: *BioSysFoodEng 2019* Budapest
- Madaras K., Boros F., **Nyitrai Á. G.**, Csambalik L., Gere A., Sipos L. (2018) A rangszámkülönbségek összege (Sum of Rank-Differences, SRD) módszerkombináció táplálkozástudományi lehetőségei
In: Táplálkozástudományi kutatások VIII. PhD konferencia Program és előadás összefoglalók. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2018.01.25 (Magyar Táplálkozástudományi Társaság). Budapest: Magyar Táplálkozástudományi Társaság, 2018. pp. 18. Online
- Sipos L., **Nyitrai Á. G.**, Hosszú B., Dominek M., Urbin Á., Nagy B. V. (2019) Színeltámaszkolás élelmiszeripari minták vizsgálatában *XI. LED Konferencia* – Budapest, 2019 február 4-5.