



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar
Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék
Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok
Doktori Iskola

Szindiszkriminációs képesség a kromatikus adaptáció függvényében

Tézisfüzet

Urbin Ágnes

Témavezetők:

Dr. Nagy Balázs Vince

Dr. habil. Wenzel Klára

Budapest, 2022

1. A TÉMA ISMERTETÉSE, CÉLKITŰZÉS

Kutatásom két alappillére az emberi színdiszkrimináció és a kromatikus adaptáció. Általános célom a kromatikus adaptáció modellezése színdiszkriminációs küszöbértékek alapján. Az értekezésben tárgyalt kutatásokban a színdiszkriminációs küszöbértékek függését vizsgáltam a referencia színpontok színessége, a mérési irányok, valamint az adaptációs mező méretének függvényében.

A CIE alapfogalmaiból kiindulva, ha két színinger XYZ tristimulusos értékei megegyeznek, akkor a megfigyelő ugyanolyan színűnek érzékeli őket. Ehhez azonban számos feltételnek teljesülnie kell. Befolyásoló tényezők többek között, hogy milyen látószög alatt, a retina mely területén képződik le a színinger, a fénysűrűség viszonyok, a háttér és a színinger alakja és mérete [1].

Mindazonáltal, az emberi látórendszer jelentősen különböző körülmények között is képes hasonló hatékonysággal működni. Ezen képességének egyik alapvető komponense az **adaptáció**: látórendszerünk alkalmazkodóképessége a megvilágítás változásaihoz. Az adaptáció segítségével a tárgyak érzékelt megjelenése széles skálán változó fényviszonyok ellenére sem változik számottevően.

A színlátás körülményei olyan ingerekkel modellezhetők, mint a különböző fénysűrűségi szintek és spektrális eloszlások [2]. Ezért az adaptáció megértésének egyik módja a fent említett ingerek hatásainak megfigyelése és megértése [3].

Ha két színinger közötti különbség a fénysűrűség változásaként írható le, akkor a világos- vagy sötétadaptációról beszélhetünk. Látórendszerünk $\sim 10^{12}$ nagyságrendű fénysűrűség tartományban működik, míg egy tipikus posztreceptorális neuron csak $\sim 10^3$ tartományt képes átfogni [4]. A fent említett széles fénysűrűség tartományon belüli teljesítményt magyarázhatja többek között az, hogy a retinán különböző érzékenységű receptorok találhatók. A pálcikák kizárólagos érzékelése esetén valósul meg a szkotópikus látás, $0,005 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ alatti fénysűrűség tartományon, míg az $5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ -t meghaladó fénysűrűség

szintek esetén a csapok kizárólagos működéséről, ún. fotópikus látásról beszélhetünk [5]. E két szint közötti (mezópikus) tartományban a csapok és a pálcikák egyaránt működnek.

Emellett, mivel a fotópikus látásért felelős érzékelő sejteknek, a csapoknak spektrális érzékenységük alapján 3 fajtája különböztethető meg, a megvilágítás spektrális változásai eltérő hatással lehetnek az egyes csaptípusokra. Ezen változásokhoz történő folyamatos alkalmazkodás a **kromatikus adaptáció**.

Az adaptáció általánosan az idegsejtek csökkent reakcióképességével magyarázható, amelyet a hosszan tartó ingerlés idéz elő [6]. A fotoreceptorok és a transzdukció szintjén az adaptáció felgyorsítja a vizuális választ, ezáltal csökkenti a rendszer integrációs idejét [4]. Az észlelés és érzékelés irányából megközelítve a kromatikus adaptációt kísérő jelenség a színkonstancia: míg a környezeti megvilágítás spektrális eloszlása változik, a tárgyak észlelt színe változatlan vagy hasonló marad.

A színlátás vizsgálatának egyik alapvető megközelítése a **színdiszkrimináció** mérése, mely alapján fény derülhet veleszületett színlátás problémákra, mint pl. a szintévesztés valamely formájára [7], betegségek korai stádiumának jelzésére, mint pl. a cukorbetegség [8], ártó környezeti hatások eredményeképp bekövetkező problémák kimutatására [9], vagy akár életkor függvényében történő változásokra [10].

Mindemellett, a színdiszkriminációs képesség vizsgálata és feltérképezése fontos lépés a színkülönbségek számításánál és az egyenletes színrendszerek megvalósítása illetve azok ellenőrzése céljából [11]–[13].

A mérési módszernek, illetve a kísérleti tervnek természetesen összhangban kell lennie az aktuális kutatás céljával, ezért a színlátás kutatás történetének évtizedei alatt számos vizsgálati módszert fejlesztettek és alkalmaznak a mai napig különböző klinikai és kutatási célokra [14], [15].

Habár a szakirodalom foglalkozik a nagy színkülönbségek meghatározásával és összehasonlításával [16], [17], a színdiszkrimináció mérendő mennyisége jellemzően a **legkisebb észlelhető küszöbérték**, vagyis az a legkisebb színingerkülönbség, amelyet a megfigyelő észlelni tud.

A színdiszkriminációs küszöbértékek mérésére több módszerrel találkozhatunk a szakirodalomban. A klinikai gyakorlatban elterjedtek a pszeudoizokromatikus tesztek, amelyeknél adott tartományon belül véletlenszerű méretű és elhelyezkedésű foltokból áll össze egy kép. A képen belül a foltok világossága is véletlenszerűen változik, míg a foltok színessége (a színingernek az a tulajdonsága, amelyet vagy a színinger koordinátaival, vagy jellemző hullámhosszával és a színinger tisztaságával lehet jellemezni [18]) alapján elkülöníthető egy háttér és egy minta. A feladat a minta kiolvasása, ami csak akkor lehetséges, ha a minta és a háttér között észlelhető színingerkülönbség meghaladja a megfigyelő legkisebb észlelhető küszöbértékét.

Az értekezésben bemutatott kutatásokban egy nemzetközi szinten elismert és tudományos körökben alkalmazott, számítógépes pszeudo-izokromatikus tesztet, a Cambridge Colour Test-et (CCT) használtam, amelynek előnye a nyomtatott tesztekkel szemben, hogy a szintévesztés meghatározásán túl, konkrét kutatásokhoz illesztett beállításokkal is elvégezhető [19], [20]. A tesztábrákon egy Landolt-C mintát kell felismerni és annak orientációját megadni egy távirányító segítségével. A teszt fő paraméterei a pszeudo-izokromatikus ábrák háttérének (a referencia pontnak) és mintájának színe, valamint az ábrákon megjelenő fénysűrűségzaj tartománya.

A teszt adaptív, a résztvevő válaszai alapján folyamatosan növeli vagy csökkenti a különbséget a teszt során változatlan referencia színpont és az aktuálisan felismerendő minta színingere között. Ez az adaptivitás, valamint a kalibrált CRT monitor és a ViSaGe MkII speciális videokártya alkalmazása nem csak csökkent színdiszkriminációs képességű személyek vizsgálatára, hanem akár épszínlátó személyek színlátása közötti különbségek kimutatására is lehetőséget nyújt.

A teszt alapértelmezett színrendszere a CIE 1976 UCS színdiagram, így a színkoordinátákat (u' ; v') koordinátákként, a mérés eredményül szolgáló küszöbértékeket pedig $\Delta E_{u'v'}$ színkülönbségként adja meg.

A CCT két modulja az Ellipszis teszt és a Trivektor teszt. Az ellipszis teszt esetében a küszöbértékeket a referencia pontból egyenkéntű irányokban felvett mérési irányokban határozza meg, majd az így kapott küszöbértékek és a referencia pont ismeretében legkisebb négyzetek módszerével egy ellipszist illeszt, amellyel az a terület becsülhető, amelyen belül a megfigyelő nem lát különbséget a színingerek között.

A Trivektor teszt adott referencia pontból a három konfúziós irányban ad eredményt. A konfúziós irányok a CIE 1931 vagy 1976 UCS színdiagram bármely színpontjából a három konfúziós pont egyikébe mutató irányok.

Míg a szakirodalomban fellelhető CCT mérések célja jellemzően különböző csoportok összehasonlítása a CCT kézikönyvben megadott referencia pontokban [10], [21], arról kevés adat található, hogy a semleges szürkétől erősen eltérő referencia pontokban milyen küszöbértékek várhatóak eredményül.

A disszertáció motivációja a színdiszkrimináció, tehát a színlátás kromatikus felbontásának változásnak vizsgálata, leírása volt. A disszertációban tárgyalt kutatás három fő célja az alábbiak voltak:

1. Épszínlátó személyek színdiszkriminációs küszöbértékeinek felértékepezése egy tipikus kijelző gamutján belül, a fehér ponttól vett távolság függvényében, szisztematikusan változtatott referencia pontokban. A vizsgálatok célja volt egy referencia adatbázis létrehozása, valamint a színdiszkriminációs küszöbértékek matematikai modellezése.

2. A konfúziós irányok szerepének vizsgálata épszínlátó személyek színdiszkriminációs képességét tekintve. A konfúziós irányok mentén és az 1976 UCS színdiagramban egyenletesen elosztott irányokban végeztünk méréseket. A vizsgálatok célja volt annak megfigyelése, hogy

a konfúziós irányok elkülöníthetők-e a többi iránytól. Az eredményekben fellelhető mintázatok eredetének azonosítására több színábrázolási rendszerben végeztünk kiértékelést.

3. A színdiszkriminációs képesség változásának vizsgálata a kromatikus adaptációs állapotot meghatározó színinger méretével és színességi koordinátaival összefüggésben. Az adaptációt meghatározó színinger mérete és színességi koordinátái szempontjából különböző vizuális környezetekben végeztünk méréseket. A vizsgálatok célja a színdiszkriminációs küszöbértékek és az adaptációs mező mérete közötti összefüggés megértése volt.

A fent említett kutatási célok mellett a színdiszkriminációs képesség kromatikus adaptációs állapottól függő változásának alkalmazási lehetőségeit vizsgáltam.

2. AZ ÉRTEKEZÉS ÁTTEKINTÉSE

Az értekezés az emberi színdiszkriminációs küszöbértékek változását, paraméterfüggését tárgyalja. Az eredményeket a bevezetést és az irodalomkutatást követően három fő fejezetben ismertetem.

Az irodalomkutatás fejezetében a színlátás, szintan, színdiszkrimináció és kromatikus adaptáció témái kerülnek áttekintésre. A 3., 4. és 5. fejezetek bevezetésében az ott bemutatott kutatáshoz közvetlenül kapcsolódó szakirodalmi áttekintés kap helyet.

A 3. fejezetben a színdiszkriminációs küszöbértékek változását a referencia színingerek függvényében írtam le. Referencia színingerként a kísérletekben alkalmazott Cambridge Colour Test (CCT) pszeudoizokromatikus tesztábráinak háttérszíningerét tekintettem. A fejezetben tárgyalt kísérletben a Protán, Deután és Tritán konfúziós irányok mentén mért színdiszkriminációs küszöbértékeket vizsgáltam, a referencia pontokkal az alkalmazott kijelző teljes gamutját lefedve.

Az eredményeket három különböző szintani aspektusból értékeltem: a CIE 1976 UCS színábrázolási rendszerben, MacLeod-Boynton csap-ingerléseken alapuló rendszerében, valamint a CIE CAM02 és a

CAM16 színmegjelenítő modellekre alapuló egyenletes színterekben. Az eredmények összefoglalásául négy db tézist fogalmaztam meg. A tézisek a színdiszkriminációs küszöbértékek jellemzésére szolgálnak változatlan megvilágítási körülmények között, pusztán a referencia színinger változásának hatására.

A 4. fejezetben színdiszkriminációs ellipsziseket hasonlítom össze két különböző kromatikus adaptációs állapotban meghatározva. Az adaptációs állapotok elsősorban a látómező felépítésében tértek el. A színdiszkriminációs ellipszisek mindkét esetben az adaptációs állapotot meghatározó színíngerrel összefüggésben nyúltak meg, de különböző mértékben.

Az 5. fejezetben a 4. fejezetben bemutatott jelenség alkalmazását mutatom be egy ún. maszkoló világitási környezet tervezése és ellenőrzése mentén. Eredményként egy termékspecifikus, érzékszervi vizsgálatokra optimalizált módszert írok le, tézis formájában.

3. EREDMÉNYEK ÉS TÉZISEK

A 3. fejezetben ismertetett kutatás szétválasztható két fő kérdésre: adott irányban mért küszöbértékek függése a referencia pontoktól, illetve adott referencia pontokban mért küszöbértékek függése a mérési iránytól.

Előbbi megválaszolására 66 db referencia pontban végeztem Trivektor méréseket és azokat a referencia pontok pozíciójának függvényében értékeltem több színábrázolási rendszerben. A mérési irány hatásának vizsgálatát azonos referencia pontokban végrehajtott Trivektor és Ellipszis tesztek eredményeinek összevetésével végeztem.

A vizsgált CRT monitor teljes gamutját lefedő referencia pont-hálóban végzett Trivektor tesztsorozat alapján megállapítható, hogy a referencia pontokat a semleges ponttól valamely konfúziós irány felé eltolva, az eltolt referencia ponttól a fenti konfúziós irány felé mért küszöbérték nagymértékben növekszik és ez a növekedés matematikai modellel becsülhető.

Az eredmények alapján az alábbi téziseket fogalmaztam meg:

1. tézis

Épszínlátó személyek Protán, Deután és Tritán konfúziós irányok mentén mért színdiszkriminációs küszöbértékei CIE 1976 UCS színábrázolási rendszerben az alábbi másodfokú függvényekkel becsülhetők

$$\Delta_{P,D,T} = c_2(x - x_0)^2 + c_0 \quad (1)$$

ahol:

- Δ a függő változó, a színdiszkriminációs küszöbérték (legkisebb észlelhető színinger-különbség),
- x a független változó, referencia távolság
- a referencia távolság a referencia pont (a teszt háttérének színpontja) és a semleges fehér színpont közötti távolság,
- x_0 és c_0 a kvadratikus függvény minimumpontjának koordinátái,
- a konfúziós irányok a konfúziós pontok irányába mutató irányok,
- a Protan, Deutan és Tritan konfúziós pontok a következők: P(0.6579 ; 0.5013) D(-1.2174 ; 0.7826) és T(0.2573 ; 0.0000),
- a semleges pont a következő: (0.2024 ; 0.4689),
- c_0 becsülhető a semleges referencia pontban mért Δ értékkel, és
- c_2 a referencia irányok függvényében az alábbi formában leírt ellipszissel becsülhető

$$c_2(\delta) = \sqrt{\frac{a^2 \times b^2}{a^2 \times \sin^2(\delta - \vartheta) + b^2 \times \cos^2(\delta - \vartheta)}} \quad (2)$$

ahol:

- c_2 az (1) egyenlet főegyütthatója,
- δ a független változó: a referencia irány u' abszcisszával bezárt szöge,
- a referencia irány a referencia pont semleges ponttól vett eltolásának iránya,
- a az ellipszis fél nagytengelyének hossza,
- b az ellipszis fél kistengelyének hossza, és
- ϑ az ellipszis nagytengelye és az u' abszcissza által bezárt szög.

Kapcsolódó publikációk: [I-1], [I-4], [II-1]

2. tézis

A referencia színpontokat a semleges színponttól bármely konfúziós pont felé eltolva a CIE 1976 UCS színábrázolási rendszerben, épszínlátó személyek az adott konfúziós irányokban mért szín-diszkriminációs küszöbértékei meghaladhatják az épszínlátókra vonatkozó felső határértékeket és elérheti a szintévesztők értékeit.

Kapcsolódó publikációk: [I-4], [II-1]

Figyelembe véve, hogy a CIE 1976 UCS színábrázolási rendszerről ismert, hogy nem tekinthető észlelés szempontjából tökéletesen egyenletesnek, az eredményeket a csap-ingerlésen alapuló MacLeod-Boynton színtérben is értékeltem. A szín-diszkriminációs küszöbértékek erős, szignifikáns korrelációt mutattak a két színábrázolási rendszerben.

Az eredmények alapján az alábbi tézist fogalmaztam meg:

3. tézis

Pozitív, szignifikáns korreláció tapasztalható a CIE 1976 UCS színábrázolási rendszer és az LMS szintér között, amely azt jelzi, hogy a konfúziós irányok mentén kimutatott, megnövekedett színdiszkriminációs küszöbértékek megjelennek a fényérzékelő sejtek jeleinek szintjén is.

Kapcsolódó publikáció: [I-4]

A Trivektor tesztek eredményeit Ellipszis tesztek eredményeivel összevetve megállapítottam, hogy a Trivektor becslések szinte minden esetben meghaladják az azonos referencia pontban felvett Ellipszis mérés alapján becsült küszöbértéket, tehát a becsült színdiszkriminációs ellipsziseken kívül is voltak olyan színíngerek, amelyeket a megfigyelők nem tudtak megkülönböztetni.

Ez arra enged következtetni, hogy az ellipszis teszt megbízhatósága függ attól, hogy a mérési irányok valamelyike egybeesik-e vagy megközelíti-e valamelyik konfúziós irányt. Ennek kiküszöbölésére ajánlott a kísérleti terv elkészítésekor a konfúziós irányoknak kiemelt szerepet biztosítani épszínlátó személyek vizsgálata esetében is.

Az eredmények alapján az alábbi tézist fogalmaztam meg:

4. tézis

A konfúziós irányok mentén nagyobb színdiszkriminációs küszöbértékek tapasztalhatóak, mint a tőlük eltérő mérési irányokban. Ez indokolja a színdiszkriminációs képesség vizsgálatát a Protán, Deután és Tritán konfúziós pontok irányában is az egyenes színábrázolási rendszerek vizsgálata és értékelése céljából.

Kapcsolódó publikációk: [I-1], [I-4], [II-1], [II-2]

A 4. fejezetben a kromatikus adaptációt meghatározó színinger méretének hatását vizsgáltam színdiszkriminációs ellipszisek összehasonlításával. Az első esetben a 3. fejezetben leírt kísérletekhez hasonlóan egy sötét szobában végeztem méréseket, ahol az adaptációs állapotot a globálisan sötét szoba, valamint lokálisan az adott pszeudoizokromatikus tesztra referencia színpontja határozta meg. A második esetben egy spektrálisan hangolható mérőkabinban megvalósított színes világítási környezetben zajlottak a mérések. A színdiszkriminációs ellipszisek mindkét esetben az adaptációs állapotot meghatározó színinger színpontja felé nyúltak meg, de a referencia pont színingere változásának erősebb hatása volt az ellipszisek megnyúlására, mint a kabin színingerének.

Az 5. fejezetben egy alkalmazás-centrikus kutatás kerül bemutatásra, amelyet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológia Intézet, Árukezelési, Kereskedelmi, Elátási Lánc és Érzékszervi Minősítési Tanszék kollégáival közösen végeztünk. A kutatás célja olyan vizsgálati tér létrehozása az érzékszervi bírálók részére, amely íz, illat és állomány érzékszervi vizsgálatára optimalizált vizuális környezetet biztosít. Az optimalizációnak kettős célja volt: a minták között észlelhető színingerkülönbségekből adódó elváráshiba kiküszöbölése, illetve a színes megvilágításból adódó keresztmodalitás hatásainak minimalizálása. Konklúzióként egy általános, termékspecifikus maszkolási módszer került megfogalmazásra.

Az eredmények alapján az alábbi tézist fogalmaztam meg:

5. tézis

Spektrálisan hangolható – különböző hullámhossztartományokon sugárzó fényforrások kombinációjaként létrehozott – maszkoló környezet – olyan megvilágítás, amelynek célja az adott színes tárgyak (színminták) között észlelhető színkülönbségből adódó elvárás hiba kiküszöbölése és a megvilágítás színéből adódó keresztmodális

hatások minimalizálása – az alábbi lépésekből álló iterációs eljárással optimalizálható íz, illat és állományra vonatkozó érzékszervi vizsgálatokhoz:

1. A vizsgálandó színminták hullámhosszfüggő tulajdonságait (a minták jellegétől függően spektrális transzmissziót vagy spektrális reflexiót) meg kell mérni a 380-780 nm-es hullámhossztartományon.
2. A hangolható fényforrás spektrumszakaszainak (csatornák) spektrális teljesítményeloszlását meg kell mérni a 380-780 nm-es hullámhossztartományon.
3. A minták spektrális tulajdonságának terjedelmét a hullámhossz függvényében vizsgálva meg kell határozni azt a hullámhossztartományt vagy tartományokat, amelyekben a függvényértékek között a legkisebb különbség tapasztalható.
4. A hangolható megvilágítás spektrális csatornái közül első lépésként azt kell erősíteni, amelyik a 3. lépésben kiválasztott hullámhossztartományra vonatkozik.
5. A maszk hatásosságát a színminták céljának és jellegének megfelelő érzékszervi vizsgálat elvégzésével (pl. háromszög próba vagy szín sorba rakása) kell ellenőrizni.
6. Amennyiben a maszk hatásos, a megvilágítást további spektrális tartományokkal kell kiegészíteni, egészen addig, amíg a maszk hatása romlani nem kezd. A további csatornákat a 3. lépésben meghatározott terjedelem hullámhosszfüggő növekedésének megfelelően kell választani.

Kapcsolódó publikációk: [I-2], [I-3], [I-5], [II-3], [II-4]

4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2013.
- [2] P. K. Kaiser and R. M. Boynton, *Human Color Vision*, 2nd ed. Optical Society of America, 1996.
- [3] K. Wenzel, "Possibilities of colour adaptation," in *CIE Symposium, Budapest*, 1999.
- [4] A. Stockman, "Photoreceptors - lecture at the ICVS Summer School," 2016.
- [5] CIE 191:2010, "Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance," 2010.
- [6] R. Sekuler and R. Blake, *Perception*. McGraw-Hill Higher Education, 2002.
- [7] B. L. Cole, "Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice," *Clin. Exp. Optom.*, vol. 90, no. 3, pp. 157–175, 2007.
- [8] M. Gualtieri, C. Feitosa-Santana, M. Lago, M. Nishi, and D. F. Ventura, "Early visual changes in diabetic patients with no retinopathy, measured by color discrimination and electroretinography," *Psychol. Neurosci.*, vol. 6, no. 2, pp. 227–234, 2013.
- [9] D. F. Ventura *et al.*, "Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury intoxicated industry workers in Brazil," *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 19, no. 3, pp. 523–529, 2005.
- [10] G. V Paramei and B. Oakley, "Variation of color discrimination across the life span," *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis.*, vol. 31, no. 4, pp. A375–A384, 2014.
- [11] S. Wen, "A color difference metric based on the chromaticity discrimination ellipses," *Opt. Express*, vol. 20, no. 24, p. 26441, 2012.
- [12] D. L. MacAdam, "Uniform Color Scales.," *J Opt Soc Am*, vol. 64, no. 12, pp. 1691–1702, 1974.

- [13] Q. Xu, B. Zhao, G. Cui, and M. R. Luo, "Testing uniform colour spaces using colour differences of a wide colour gamut," *Opt. Express*, vol. 29, no. 5, pp. 7778–7793, 2021.
- [14] S. J. Dain, "Clinical colour vision tests," *Clin. Exp. Optom.*, vol. 87, no. 4–5, pp. 276–293, 2004.
- [15] N. Hasrod and A. Rubin, "Colour vision: A review of the Cambridge Colour Test and other colour testing methods," *African Vis. Eye Heal.*, vol. 74, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [16] M. R. Pointer and G. G. Attridge, "Some aspects of the visual scaling of large colour differences," *Color Res. Appl.*, vol. 22, no. 5, pp. 298–307, 1997.
- [17] S. Abasi, M. Amani Tehran, and M. D. Fairchild, "Distance metrics for very large color differences," *Color Res. Appl.*, vol. 45, no. 2, pp. 208–223, 2020.
- [18] CIE Magyar Nemzeti Bizottság, "ILV: International Lighting Vocabulary, 1st Edition, magyar fordítás." 2015.
- [19] B. C. Regan, J. P. Reffin, and J. D. Mollon, "Luminance Noise and the Rapid-Determination of Discrimination Ellipses in Color Deficiency," *Vision Res.*, vol. 34, no. 10, pp. 1279–1299, 1994.
- [20] J. D. Mollon and B. C. Regan, "Handbook of the Cambridge Colour Test," London, UK, UK, 2000.
- [21] G. V. Paramei, "Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 29, no. 2, pp. A290–A297, 2012.

5. A DOLGOZAT TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SA- JÁT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA

- [I-1] **Urbn Á., Nagy B.V.,** Wenzel K.: The Effect of the Field of Adaptation on Chromatic Discrimination Ellipses
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING
(2022) (közlésre elfogadva)
- [I-2] Nyitrai Á., **Urbn Á., Nagy B.V.,** Sipos L.: Novel approach in sensory color masking: Effects of colored environments on chocolates with different cocoa content
FOOD QUALITY AND PREFERENCE 95 p. 104363 Paper: 104363 (2022)
- [I-3] Sipos L., Nyitrai Á., Szabó D., **Urbn Á., Nagy B.V.:** Former and potential developments in sensory color masking – Review
TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY 111 pp. 1-11., 11 p. (2021)
- [I-4] **Urbn Á., Nagy B.V.:** Chromatic Discrimination Thresholds as a Function of Color Differences and Cone Excitations
PERIODICA POLYTECHNICA-MECHANICAL ENGINEERING
(0324-6051 1587-379X): 65(4) pp. 385-397 (2021)
- [I-5] Sipos L., Nyitrai Á., Szabó D., Dominek M., **Urbn Á., Nagy B.V.:** Zöld és fekete tea (*Camellia sinensis* L.) főzeteire specifikált színelmaszkolási rendszer érzékszervi validálása
ÉLELMISZERVIZSGÁLATI KÖZLEMÉNYEK 66(1) pp.2830-2855., (2020)
- [II-1] **Urbn Á., Nagy B.V.,** Színdiszkrimináció a konfúziós irányok mentén
MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK (2022) (közlésre elfogadva)
- [II-2] **Urbn Á., Nagy B.V.:** Chromatic discrimination thresholds observed in CAM02-UCS and CAM16-UCS

P., Zwick (szerk.) Proceedings of the Conference CIE 2021 Vienna, Ausztria: International Commission on Illumination (CIE), pp. 352-361., 10 p. (2021)

- [II-3] Nagy B.V., **Urbán Á.**, Dominek M., Nyitrai Á., Sipos L.: Chromatic adaptation effects and limits of ambient illumination spectral content

P., Zwick (szerk.) Proceedings of the 29th Session of the CIE Vienna, Ausztria: International Commission on Illumination (CIE), pp. 990-994., 5 p (2019)

- [II-4] Sipos L., Nyitrai Á., Szabó D., **Urbán Á.**, Nagy B.V.: Spektrálisan szabályozható érzékszervi maszkoló-rendszer fejlesztése

SZIEntific meeting for young researchers – Ifjú tehetségek találkozója, Szent István Egyetem, Budapest, 2019.12.09. pp.237-249. (2019) ISBN 978-963-269-886-1