

MÉHES BALÁZS
SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK



SZAKDOLGOZATOK

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK

MÉHES BALÁZS
SZAKDOLGOZAT
Adaptációs színeltolódás és színdiszkriminációs képesség
kapcsolatának vizsgálata

Témavezető:
Dr. Urbin Ágnes
adjunktus

Budapest, 2024



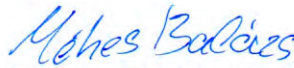
SZAKDOLGOZAT-FELADAT

NYILVÁNOS

AZONOSÍTÁS	Név: Méhes Balázs		Azonosító: 79792017914	
	Képzéskód: 2N-AM0		Specializáció kódja:	Feladatkiírás azonosítója:
	Szak: Mechatronikai mérnöki alapszak (BSc)		2N-AM0-OP-2017	GEMI:2024-2:2N-AM0:VTEOFN
	Szakdolgozatot kiadó tanszék:		Zárávizsgát szervező tanszék:	
	Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék		Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék	
	Témavezető: Dr. Urbin Ágnes (72014006294), tanársegéd			

FELADAT	Cím	Adaptációs színeltolódás és színdiszkriminációs képesség kapcsolatának vizsgálata An examination of the relationship between adaptive shift and chromatic discrimination
	Részletes feladatok	Végezzen irodalomkutatást a kromatikus adaptáció, adaptációs színeltolódás, fehér színészlelet és kromatikus színdiszkrimináció témaköreiben! Tervezzen kétlépcsős vizuális kísérletet, amelyben az adaptációs színínger függvényében vizsgálható az adaptáció hatása a fehér színészleltre és a színdiszkriminációs képességre! Alakítsa ki a kísérlet megvalósításához szükséges környezetet! Határozza és mérje meg annak releváns fotometriai és szintani jellemzőit! Végezzen vizuális kísérleteket a fenti kísérleti terv alapján! Értékelje a kísérlet eredményeit!
	Hely	A szakdolgozat készítés helye: Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. Konzulens: ,

ZÁRÓVIZSGA	1. záróvizsga tantárgy(csoport)	2. záróvizsga tantárgy(csoport)	3. záróvizsga tantárgy(csoport)
	ZVEGEMIBMIE Irányításmélelet	ZVEGEMIBMOP Optomechatronika	ZVEGEMIBMFV Fény- és világítástechnika

HITELESÍTÉS	Feladat kiadása: 2024. február 12.		Beadási határidő: 2024. május 24.	
	Összeállította: Dr. Urbin Ágnes (72014006294) témavezető		Ellenőrizte: Dr. Kiss Rita Mária s.k. tanszékvezető	
			Jóváhagyta: Dr. Györke Gábor s.k. dékánhelyettes	
	Alulírott, a feladatkiírás átvételével egyúttal kijelentem, hogy a Szakdolgozat-készítés c. tantárgy előkövetelményeit maradéktalanul teljesítettem. Tudomásul veszem, hogy jogosulatlan tantárgyfelvétel esetén a jelen feladatkiírás hatálytalan.			
	 Méhes Balázs			

NYILATKOZATOK

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Méhes Balázs* (VTEOFN), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2024



Méhes Balázs

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	vii
1. Bevezetés.....	1
1.1. Célkitűzések.....	1
1.2. Áttekintés	2
1.2.1. Elvek és módszerek	2
1.2.2. Alapfeltevések	2
2. Szakirodalmi áttekintés/Előzmények	3
2.1. Az első főfeladathoz	3
2.2. A második főfeladathoz	3
3. Első főfeladat	4
3.1. Kétlépcsős vizuális kísérlet tervezése	4
3.2. A kísérlet megvalósításához szükséges környezet kialakítása	6
3.3. A kísérlet megvalósításához szükséges környezet releváns fotometriai és színtani jellemzői.	9
4. Második főfeladat	15
4.1. Vizuális kísérletek a fenti kísérleti terv alapján.....	15
5. Összefoglalás, Eredmények értékelése.....	28
5.1. Eredmények.....	28
5.2. Javaslatok/Következtetések/Tanulságok	30
6. Felhasznált források	31
7. Summary	32
8. Mellékletek	33
8.1. Mérés során használt tájékoztató adatlap	33
8.2. Ellipszis tesztek fehérhez közeli háttérvilágítás esetén.....	34
8.3. Ellipszis tesztek zöld háttérvilágítás esetén.	44
8.4. Kabin LED csatornák radiancia értékei(Sivadó Domonkos) és $V(\lambda)$ szűrő	54

ELŐSZÓ

Ez a szakdolgozat az adaptációs színeltolódás és színdiszkriminációs képesség közötti összefüggéseket hivatott vizsgálni egy csoportmérésen keresztül, illetve kitér annak technikai körülményeire.

* * *

Ezúton is szeretnék Dr. Urbin Ágnesnek köszönetet nyilvánítani, amiért a szakdolgozat készítése során rendszeres heti konzultációval, korlátlan kérdezési lehetőség biztosításával, a témához legjobban kapcsolódó szakirodalmak, források felkutatásával és elérhetővé tételével, és átfogó szaktudásával segítette ezen szakdolgozat létrejöttét.

Budapest, 2024



Méhes Balázs

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzések

Az adaptációs színeltolódás és színdiszkriminációs képesség habár különállóan jól vizsgált témakörök, keveset vizsgált, hogy az adaptációs környezet változása miképpen hat a színdiszkriminációs képességre.

Ez a szakdolgozat ebben a témában hivatott addicionális információt szolgáltatni egy 22 fős mintán elvégzett tesztorozat segítségével, melynek alapját egy ViSaGe MKII színinger generátorhoz saját kezűleg fejlesztett Delphi 3 célszoftver, illetve a Cambridge Research Systems® által fejlesztett Cambridge Colour Test (továbbiakban CCT) szolgáltatta. A mintában 2 valószínűsíthetően színtévesztő személy tartózkodott, bár ennek igazolása nem tartozott a célkitűzések közé, így a végső adathalmaz elemeinek száma 20. Továbbá fontos szempont is volt, hogy az adatok valamilyen formában ábrázolva legyenek, illetve ha bármilyen összefüggés látszik kibontakozóban, akkor ezekre fény derüljön.

1.2. Áttekintés

A dolgozat teljes terjedelmében egy 22 fős mintán végzett csoportmérés esetén keresztül tárja fel egy fehérhez közeli, illetve egy zöld adaptációs környezetben tetszőlegesen alakítható színinger hatására az adott személyek színdiszkriminációs képességének változását. Ez magába foglalja:

- A témában választott releváns szakirodalmi háttér ismertetését.
- A vizuális kísérlet megvalósításához nélkülözhetetlen fotometriai, illetve tervezési szempontokat, melyek megalapozták a tesztek sikeres végbemenetelét.
- A mérés környezetéhez szükséges technikai eszközök leírását.
- A mérés során használt színingernek, illetve színkamrának a mérés szempontjából releváns fotometriai tulajdonságait.
- A mérési eredmények értékelését.

1.2.1. ELVEK ÉS MÓDSZEREK

A kísérletek tervezése során fő szempont volt, hogy a vizuális kísérletekhez szükséges környezet gyors kialakításának lehetősége, továbbá hogy a lehető leggyorsabban lehessen sort keríteni a mérés során használt kijelző kalibrációjára. Továbbá fontos szempont volt, hogy optimális idő alatt lehessen a lehető legtöbb adatot gyűjteni egy mérés alkalmával, mind az akromatikus színpontok, mind a CCT által kínált lehetőségek tekintetében.

1.2.2. ALAPFELTEVÉSEK

A mérés alapfeltevése az volt, hogy érdemes színdiszkriminációs vizsgálatokat készíteni mind a fehérhez közeli adaptációs környezetben, mind egy fehértől élesen eltérő színpontban (Ágnes Urbin, 2021)

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS/ELŐZMÉNYEK

2.1. Az első főfeladathoz

Az első főfeladathoz tartozó tudásanyag jelentős részét a Színtan tantárgy, illetve Mark D. Fairchild: Color Appearance Models című könyve szolgáltatta. Ezen kívül számos cikk szolgáltatott a téma tekintetében információt, melyeket a dolgozat végén megjelöltem, de felhasznált elemek hiányában a dolgozatban nem jelöltem meg.

2.2. A második főfeladathoz

A kísérlet tervezése során a fő iránymutatást a konzultációs lehetőségek, egy a téma szempontjából releváns útmutató (Kort, 2019), illetve egy CIE prezentáció (Wei, 2019) szolgáltatta.

3. ELSŐ FŐFELADAT

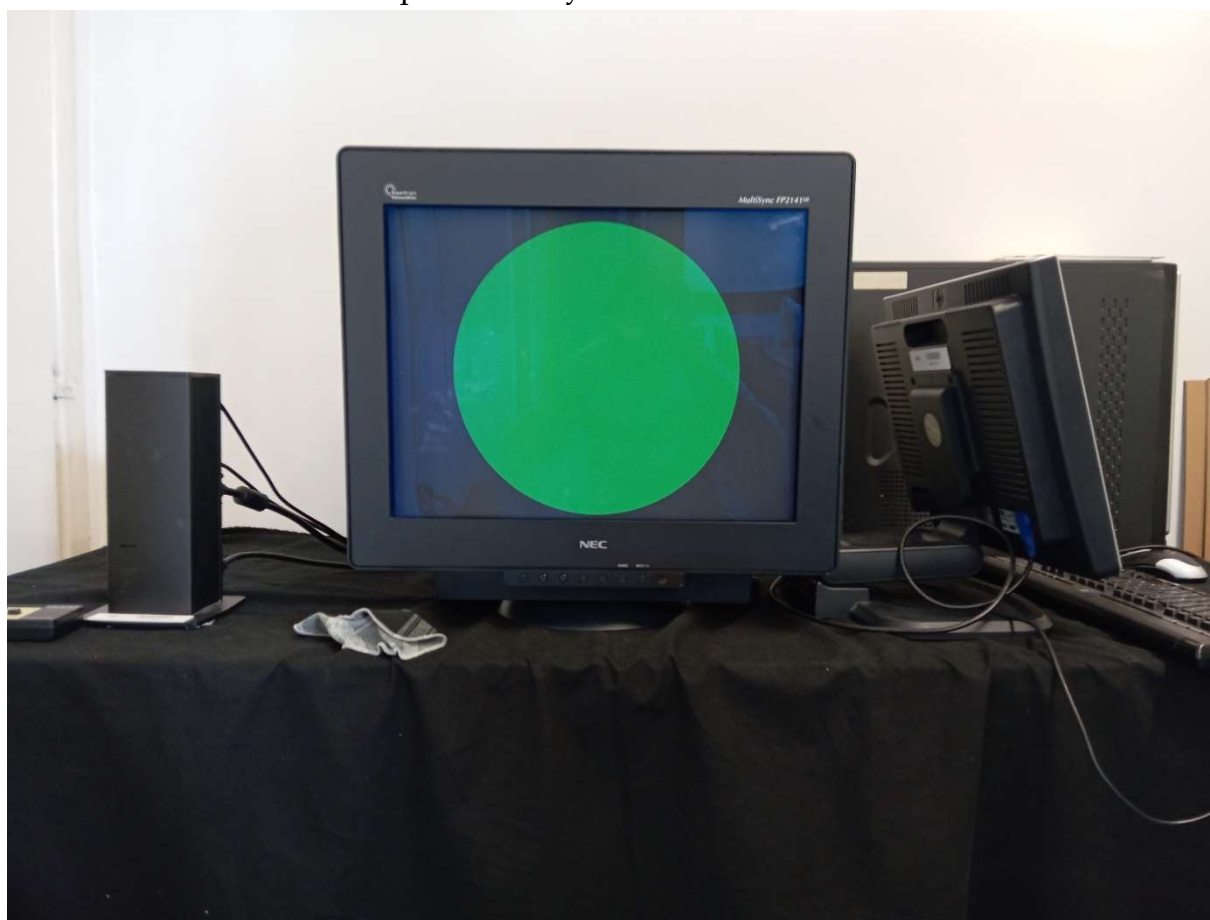
3.1. Kétlépcsős vizuális kísérlet tervezése

A kísérlet elsődleges célja az volt, hogy adaptációs színinger függvényében vizsgálható legyen az adaptáció hatása fehér színészleltre és a színdiszkriminációs képességre. A kísérlet felépítésének alapgondolata egy természetes fényre, illetve izzólámpás fényforrásra történő kromatikus adaptációt vizsgáló cikk volt (Mark D. Fairchild, 1992), melyben egy monitor szolgáltatta a színingert. Továbbá a cikk említi, hogy olykor adott adaptációs környezetekben az emberi látás tökéletesen képes adaptálódni az adott megvilágítási környezethez, ezáltal a megvilágítás színe adaptált állapotban a fehér percepcióját adja, addig más megvilágítási környezetek esetén nem lehetséges a tökéletes adaptáció, így sosem fog a fényforrás színe fehérnek tűnni. Ezáltal teremtődött meg az igény, hogy minden mérésben résztvevő személy képes legyen egy színinger segítségével saját látásához igazítani az általa akromatikusnak érzékelt színeket, majd ezekkel lehessen további vizsgálatokat végezni. Jelen esetben a cikkben leírtakhoz hasonlóképpen, csak a négyzettel ellentétben témavezetői javaslatra egy Cambridge Colour Test által is használt kör alakú adaptációs színinger érte a mérésben résztvevő személyeket 2° látószög alatt (ld. 1. ábra). Így a színinger geometriai paraméterei mind a adott mérésre fejlesztett program, mind a CCT teszt során egyformák voltak. Mivel ismert (Shvevell, 1999), hogy legalább 2 perc idő eltelte után már állandósult állapotnak tekinthető az adott megvilágítási környezet látásra gyakorolt hatása, így a háttérszínnek változtatása esetén pontosan 2 perc várakozási idő telt el a háttérszín változását igénylő mérések között.

Első lépésként a kijelzőn található $L=13 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ fénysűrűséggel sugárzó színinger színeze egy egér segítségével volt állítható a CIE 1976 UCS, a továbbiakban u' , v' színdiagram mentén, így lehetőség nyílt síkban megtalálni a mérésben résztvevők számára akromatikus színeket a kijelző által megjeleníteni képes színek közül. Annak érdekében, hogy pontosan ismert legyen a tesztalanyoknál ezen akromatikus szín helyzete a színdiagramon, a mérést segítő szoftver 20 mérés átlagát és szórását számolta.

Második lépésként ezen átlagos színkoordináta értékek szolgáltak a Cambridge Colour Test-ek kiindulási alapjául. Az akromatikus színpontban minden esetben egy 8 vektoros ellipszis teszt történt, mely $10 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ és $18 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ közötti fénysűrűség értékeken volt hivatott feltérképezni az akromatikus színhez tartozó legkisebb észlelhető küszöbértékeket, illetve MacAdam ellipszisnek megfelelő területet (Nabeela Hasrod, 2015) illeszteni ezen pontokra. A teszt által automatikusan számított koordináta rendszer u' irányától számított szögével azonos irányú, az akromatikus színponton átmenő egyenes mentén $\pm 0,05$ távolságra adódtak addicionális, az adott megvilágítás alatt szí-

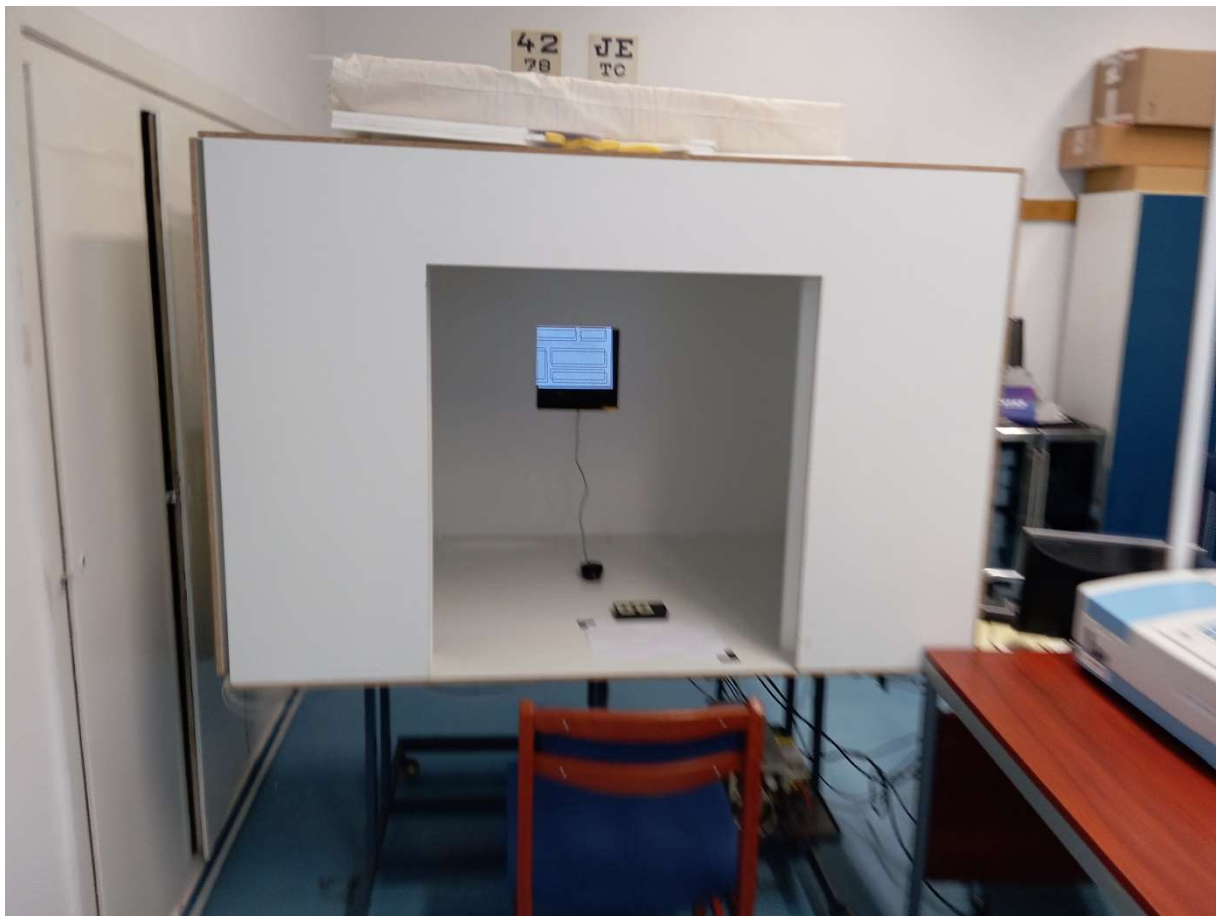
nesnek tűnő pontok, melyek 1-1 Trivector teszt referencia színezetét szolgálták, melyek az adott pontból a Protan, Deutan és Tritan konfúziós pont irányába térképezték fel a háttér és a színinger közti legkisebb küszöbértéket, mellyel a 2 objektum még éppen megkülönböztethető volt. Mindez két egymástól élesen elkülönülő háttérszín esetében melynél egy a D65 színponthoz közeli, míg egy attól távoli, zöld színű volt. A háttérszíneket egy spektrálisan hangolható kabinnal hoztuk létre. Továbbá a mérés idejének csökkentése érdekében az akromatikus színpontban nem került sor Trivector tesztre, hanem a CCT által illesztett ellipszis paramétereiből került sor a Protan, Deutan és Tritan konfúziós pontok irányába mutató vektorok hosszának számítására.



1. ábra: CRT kijelző a rajta megjelenő kör alakú színingerrel

3.2. A kísérlet megvalósításához szükséges környezet kialakítása

A mérési környezet színingerért felelős része egy NEC MultiSync FP2141^{SB} 22" képát-
lójú, 1920x1440 felbontású CRT kijelzőből, egy ehhez kapcsolt ViSaGe MKII színinger
generátorból, illetve egy Windows XP operációs rendszerű számítógépből állt az eh-
hez tartozó 1024x768 felbontású kijelző pedig a mérés lebonyolításához szükséges ke-
zelőfelületként funkcionált. Habár mai szemmel korszerűtlennek tűnhetnek ezek, de
a Cambridge Research Systems[©] által fejlesztett ezen céleszközhöz tartozó szoftver le-
hetővé teszi a kijelző, illetve a hozzá tartozó bemenet gyors kalibrációját, így minden
színhelyesen jelenik meg. Az adaptációs környezetért a MOGI tanszék saját készítésű
színkamrája (ld. 2. ábra) volt felelős, mely vörös, zöld, kék, fehér, illetve borostyán
LED lámpák segítségével széles palettán képes háttérszínek beállítására.



2. ábra A mérésben említett színkamra mögötte a CRT kijelzővel

A mérésben résztvevő személyek 1,2 [m] távolságban ültek a kabin hátoldalától, és a
kijelzőtől kb. 2,5 [m] távol helyezkedtek el. A kabinban található LED sor 15 [°]-os
szögben a kabin előlapját világította, így az előtte ülők szemébe indirekt módon, a ka-
bin faláról reflektálódva jutott el a fény. A kabin előtt ülő személyek akromatikus színt
a kabinban található egér segítségével tudtak állítani, míg a CCT során egy CT6
Response box segítségével volt lehetőségük 4 különböző irány közül választani. A ka-

bin hátoldalán egy négyzet alakú kivágás volt található. A mérések sötét szobában történtek. A háttérszínnek megjelenítését a kabinhoz tartozó RGBWA nevű szoftver mérési útmutatója (Sivadó, 2024) szerint történtek.

Az akromatikus szín megtalálását segítő szoftver egy teljes képernyős ablak segítségével (ld. 3. ábra) lehetővé tette, hogy a felhasználó az egér fel-le mozgása segítségével u' , v' irányok mentén képes legyen színeket beállítani. Az 1024x768 felbontású ablakból egy 768x768 pixel méretű, négyzet alakú területre lett az egér mozgása lekorlátozva a kijelző jobb oldalán. Amennyiben a felhasználó a területen kívülre tévedt a kurzorral a kijelző X irányában, akkor a program minden esetben a négyzet alakú terület bal széléhez helyezte a kurzort. Az így kiadódó pixelértékekhez pedig 0 és 0,65 közötti u' , illetve v' értékeket rendelt, valamint CIE 1931 színtérbe is átszámította az értékeket, melyből végül ábrázolta a VSGV8 könyvtár segítségével. Továbbá minden kattintás után eltárolta ezeket az értékeket, ezekhez átlag illetve szórás értékeket számított. Minden kattintás után egy véletlenszerűen generált, a kijelző gamuton belül megtalálható színpontot számított, mely meghatározta, hogy a mérésben résztvevő tesztalany milyen színingerből indulva jut el ismételtén az akromatikus szín felé.

Cursor Position: X=90, Y=483

Szakszerű leállítás Alt+F4 billentyűkombinációval.

Beállítások közötti lépkedés a jobbra/balra gombokkal

Beállítások betöltése Enter, illetve mentésük Backspace-el

Mentés az 's' billentyű lenyomására a data.txt-be

Mintavétel bal klikk segítségével.

Az előre definiált fehér szín a +/-, illetve fel/le gombokkal állítható

A gamut elhagyása esetén hangjelzés jelzi a rossz irányt

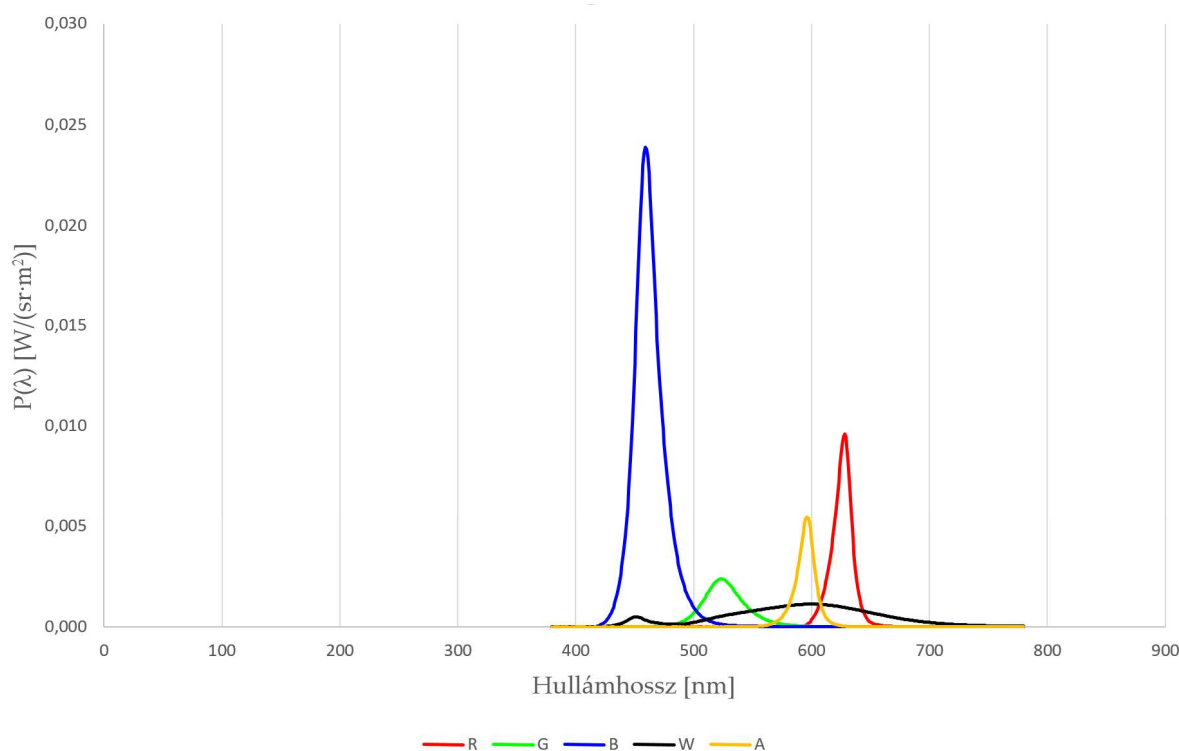
u'	0,2390	466	InGamut 0	☐ 1. Beállítás	$u'=0,20$ $v'=0,40$ $R=0,10$	☐ 17. Beállítás	üres
v'	0,3856	608	InCircle 0	☒ 2. Beállítás	$u'=0,25$ $v'=0,47$ $R=0,15$	☐ 18. Beállítás	üres
x	0,2961			☐ 3. Beállítás	üres	☐ 19. Beállítás	üres
y	0,2123			☐ 4. Beállítás	üres	☐ 20. Beállítás	üres
Y	13		Előre definiált fehér	☐ 5. Beállítás	üres	☐ 21. Beállítás	üres
Count	1		☒ u' 0,25	☐ 6. Beállítás	üres	☐ 22. Beállítás	üres
Avg(u',v')	0,2390 0,3856		☐ v' 0,47	☐ 7. Beállítás	üres	☐ 23. Beállítás	üres
SD (u',v')	0,0000 0,0000		☐ R 0,15	☐ 8. Beállítás	üres	☐ 24. Beállítás	üres
				☐ 9. Beállítás	üres	☐ 25. Beállítás	üres
				☐ 10. Beállítás	üres	☐ 26. Beállítás	üres
				☐ 11. Beállítás	üres	☐ 27. Beállítás	üres
				☐ 12. Beállítás	üres	☐ 28. Beállítás	üres
				☐ 13. Beállítás	üres	☐ 29. Beállítás	üres
				☐ 14. Beállítás	üres	☐ 30. Beállítás	üres
				☐ 15. Beállítás	üres	☐ 31. Beállítás	üres
				☐ 16. Beállítás	üres	☐ 32. Beállítás	üres

3. ábra: A program kezelőfelülete, melyen a mérés szempontjából releváns információk megjelentek

A program továbbá lehetőséget biztosított kezdeti fehérpont definiálására, ha esetleg igény merülne fel, hogy a kezdeti színingerek szíinkoordinátái adott távolságra legyenek ettől a ponttól. A jelenlegi mérések során erre nem volt szükség, mivel nem lehetett előre ismerni, hogy a tesztalanyok szeme adaptálódik-e a megvilágítás színéhez. Ezen felül lehetőség nyílt a fehérpontokat 32 különböző beállítási menüpontban elmenteni, majd újra meghívni. A beállítások között a nyilak segítségével lépkedni. A program az „s” billentyű megnyomására, illetve minden 5. kattintásra elmentette a kezdeti színingerek u' , v' szíinkoordinátáit, a tesztalany által választott akromatikus szín u' , v' koordinátáit, az éppen meghívott beállítás fehérpontjának u' , v' koordinátáit, illetve az adott kör sugarát, melyen kívül kell a kezdeti szíinkoordinátáknak elhelyezkedniük. Továbbá a program beállításonként átlagot, illetve szórást számított a tesztalanyok által választott akromatikus színpontokhoz, melyeket mentés során eltárolt. Amennyiben a felhasználó elhagyta az adott kijelző adott fénysűrűség értékéhez tartozó gamutot, abban az esetben a program auditív visszacsatolást szolgáltatott erről.

3.3. A kísérlet megvalósításához szükséges környezet releváns fotometriai és színtani jellemzői.

A színekamrához tartozó radiometriai spektrális teljesítményeloszlás értékek mérését Sivadó Domonkos végezte egy Konica-Minolta CS-1000 spektroradiométer segítségével, külön a színekamra jobb, illetve bal oldalára. Az így kiadódó radiancia értékek mivel mindkét oldalt közel azonosak voltak, így én a jobb oldalhoz tartozó értékeket vettem számításba a továbbiakban (ld. 4. ábra, illetve 8.4. bekezdés). A LED-ek által kibocsájtott fény 0 és 255 között volt állítható 5-ös osztásonként, ahol a 0 a kikapcsolt, míg a 255 a maximális fényerőt jelentette. Ezen osztások mentén a rendelkezésre álló információból úgy vettem, hogy ezen fényerő beállításokhoz tartozó fényáram közel lineárisan növekszik a beállítás számértékével, továbbá a LED-ek spektrális emissziós tulajdonságai nem változnak.

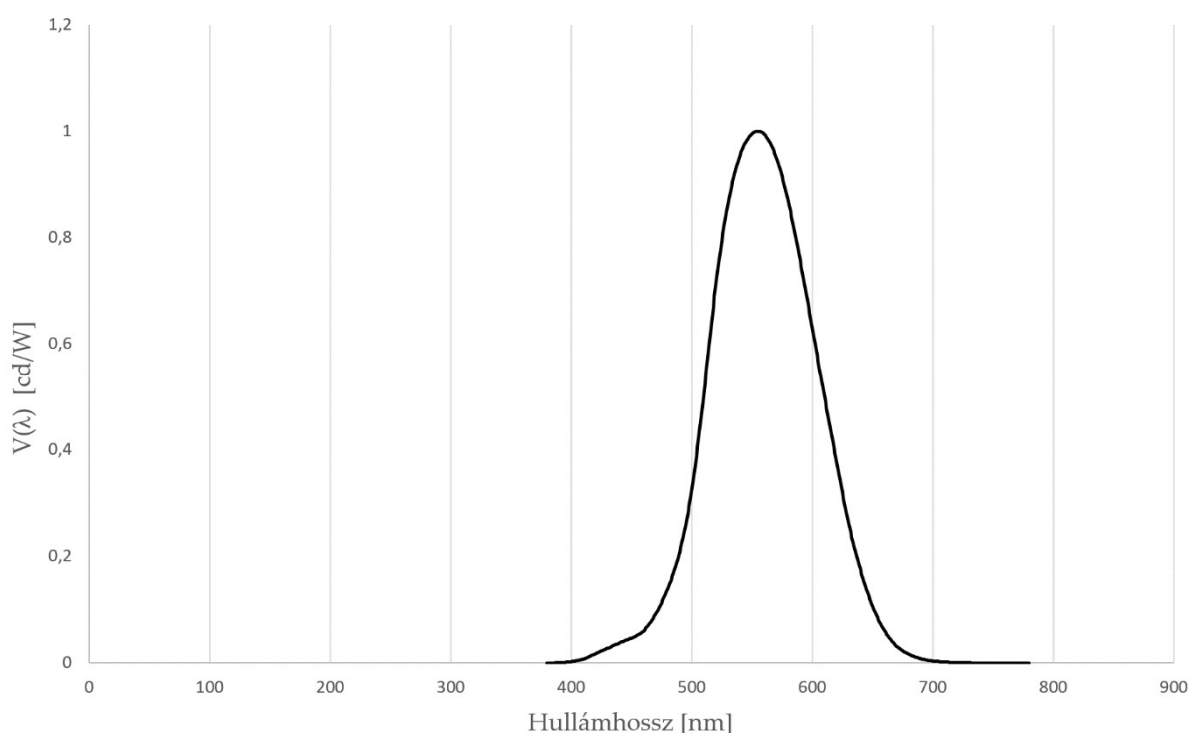


4. ábra: A színekamrában található különböző színű LED-ekhez tartozó radiancia értékek a hullámhossz függvényében maximális(255) fényerő beállításon

A rendelkezésre álló radiometriai mennyiségeket az ábrán (ld. 5. ábra, illetve 8.4. bekezdés) látható $V(\lambda)$ szűrővel való súlyozás segítségével fotometriai mennyiségekké konvertáltam. A számítások reprodukálhatósága érdekében mind a radiancia, mind a $V(\lambda)$ értékei megtalálhatók a mellékletek között. A további számítások a Dr. Urbin Ágnes által rendelkezésemre bocsájtott CIE $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ értékeket tartalmazó, illetve

Excitation Purity értékeket adott CIE 1931 színdiagramban értelmezett D65 színpont függvényében számító Excel fájlok segítségével folytattam.

Fehérhez közeli kabinszín számításához a CIE 1931 színdiagram $x=0,313$; $y=0,331$ pontjait tekintetem fehér referenciának, majd Excel solver segítségével próbáltam az 5 különböző LED csatornához olyan 0 és 255 közötti egész értékeket találni, melyeknél 10 perc számítási idővel ezek a lehető legjobban megközelítik az említett színpontot, majd az értékeket úgy kerekítettem, hogy illeszkedjenek az 5-ös osztáshoz. Illetve, hogy a számított adaptációs szín beállítások a színkamrán párhuzamosan futó mérésekhez is felhasználhatóak legyenek, addicionális kritérium volt, hogy $L = 70 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ fénysűrűségű legyen az adott beállítás. Végeredményül az $R=50/255$, $G=100/255$, $B=140/255$, $W=70/255$, $A=35/255$ beállításokra esett a választás.



5. ábra: $V(\lambda)$ spektrális eloszlása

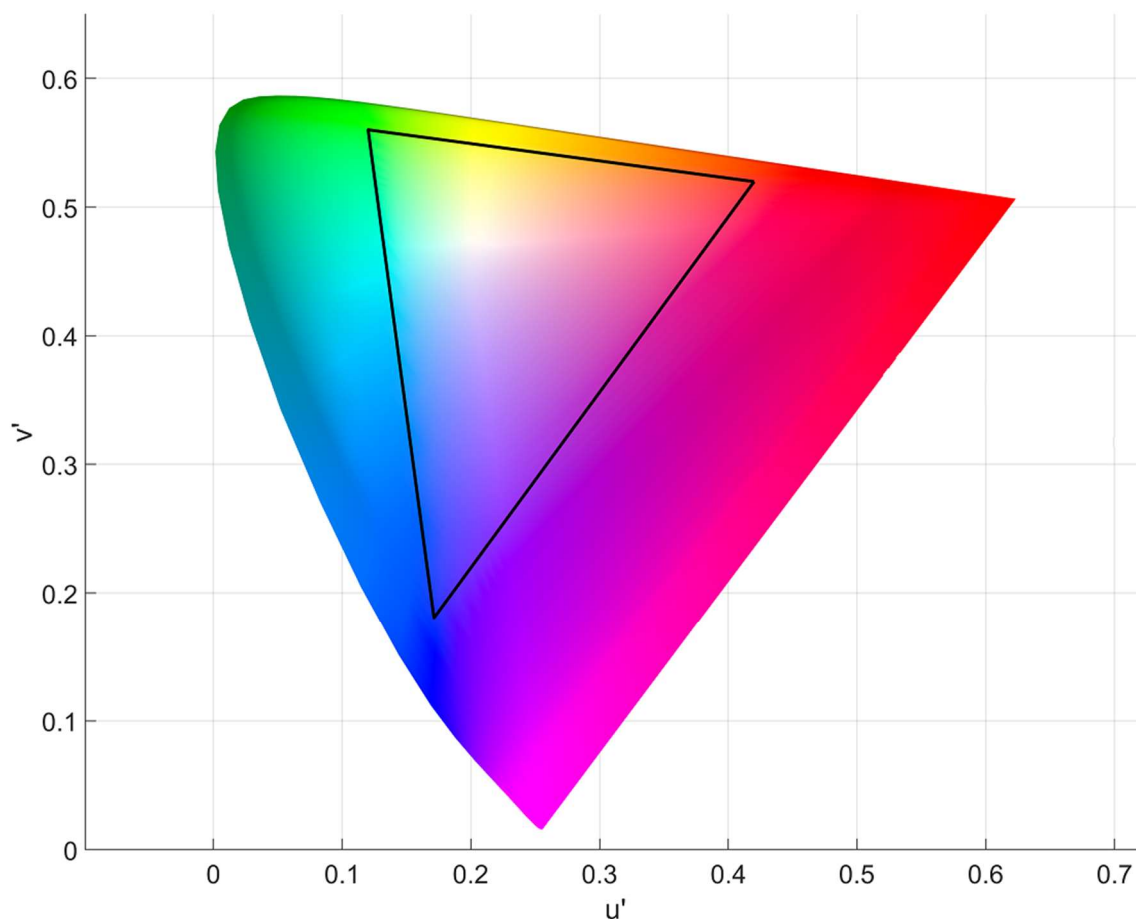
Habár a számítások eredménye visszaadta, hogy a LED-ek fénye ebben a pontban fehér lesz, a mérések során inkább kékes színt lehetett tapasztalni, így feltételezhető, hogy a számítás menetében keletkezett a remélt és valós eredmények közötti eltérés. Mindettől függetlenül úgy gondolom, a mérési eredmények így is relevánsak lehetnek és a méréseket ezen beállítások mellett végeztem el.

Zöld paraméterek esetében hasonlóképpen jártam el, csak ott az Excel solver számára bemenetként adtam meg azt is, hogy tizedes pontossággal vett Excitation Purity értékeket számoljon. Mivel a 0,3 érték volt a legmagasabb, amit a zöld irányában még tudott számítani a rendelkezésre álló $L(\lambda)$ értékekből, így esett a választás az $R=0/255$, $G=190/255$, $B=115/255$, $W=70/255$, $A=0/255$ beállításokra esett.

A színingerért felelős kijelző kalibrációja során, melyet Dr. Urbin Ágnessel és Szabó Mátéval közösen végeztünk, kiadódtak a kijelző R,G,B színei CIE 1931 színdiagram szerint, illetve azok maximális fénysűrűség értékei (ld. 6 ábra). Mivel a kék színhez tartozó fénysűrűség érték nem érte el a színingerhez használt $13 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ értéket, ezért a kijelző gamutjának csak egy bizonyos részét lehetett használni.

1. táblázat A kijelző R,G,B színei CIE 1931 diagramban, illetve azok maximális fénysűrűség értékei

	x	y	u'	v'	$L \left[\frac{cd}{m^2} \right]$
R	0,598	0,333	0,42	0,52	14,41
G	0,289	0,581	0,12	0,56	47,57
B	0,156	0,071	0,17	0,18	8,45



6. ábra: A CRT kijelző gamutja R,G, és B csatornák maximális fényereje mellett

Kezdetben vettem a kijelző gamut R, G, illetve B színe koordinátáit u', v' diagramban:

$$\mathbf{r}_R = \begin{bmatrix} 0,42 \\ 0,52 \end{bmatrix}; \mathbf{r}_G = \begin{bmatrix} 0,12 \\ 0,56 \end{bmatrix}; \mathbf{r}_B = \begin{bmatrix} 0,17 \\ 0,18 \end{bmatrix}$$

Ezt követően úgy tekintettem, hogy mind a vörös, mind a zöld csatorna képes rá, hogy a méréshez szükséges fénysűrűséget megjelenítse. A Konica-Minolta CS1000 segítségével készült mérések azt mutatták, hogy képes színhelyesen megjeleníteni akár $L_R=14,1 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ értékig a vöröset. Ez az a fénysűrűség érték, melyet $Y=13$ értéknél a CIE 1931 koordináta rendszerre állított ábrázolásnál a ViSaGe MKII és a monitor együttesen megjelenített. A kék csatorna esetében amikor a maximális fénysűrűségnél nagyobb értéket adtam meg a programban, jellemzően vörös színt kevert hozzá a ViSaGe MKII, így le kellett korlátozni a gamut azon részét, melyet nem képes színhelyesen megjeleníteni, avagy amiken a kék csatorna a mért $L_B=8,45 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$ értéknél többet kellene, hogy megjelenítsen. Ennek érdekében vettem a két fénysűrűség érték arányát.

$$\frac{L_B}{L_R} = 0,5864$$

Mind a zöld, mind a vörös színpont koordinátaiból vettem a kékbe mutató vektorokat, megszoroztam ezen arányszámmal, és ezek mentén elmozdítottam a gamutot (ld. 7. ábra) az így kiadódó A és C pontok mentén, így ezek színek megjelenítéséhez biztosan nem kell $L_B=8,45 \frac{cd}{m^2}$ értéknél több kék.

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_A &= \mathbf{r}_G + (\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_G) \frac{L_B}{L_R} \\ \mathbf{r}_C &= \mathbf{r}_R + (\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_R) \frac{L_B}{L_R} \\ \mathbf{r}_A &= \begin{bmatrix} 0,15 \\ 0,36 \end{bmatrix}; \mathbf{r}_C = \begin{bmatrix} 0,27 \\ 0,32 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Ezek a 768x768 pixel méretű területre átszámítva a korábban említett módszerrel:

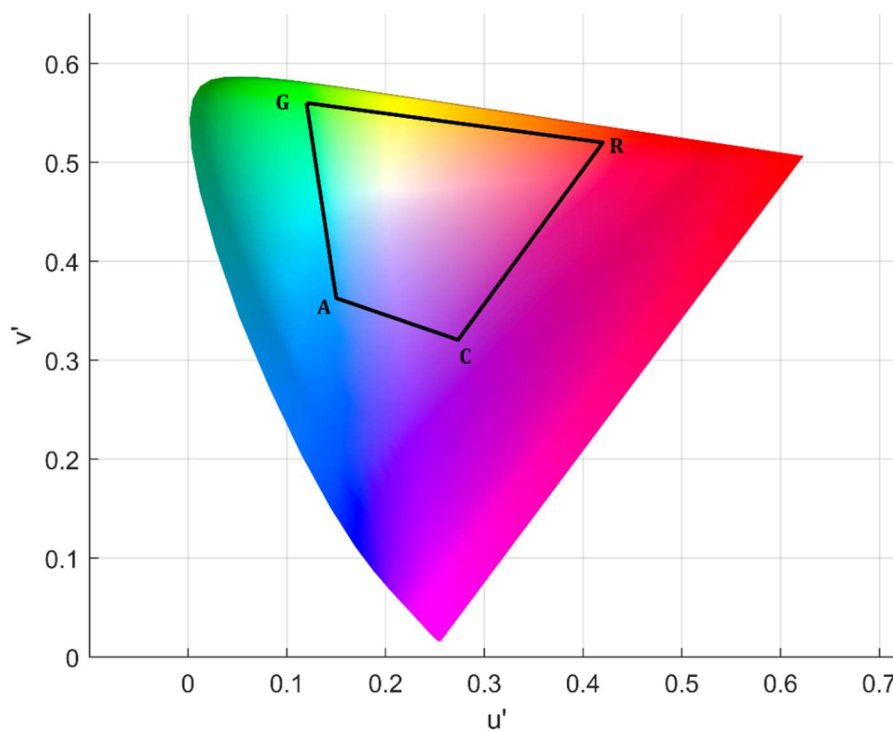
$$\mathbf{r}_R = \begin{bmatrix} 495 \\ 613 \end{bmatrix} px; \mathbf{r}_G = \begin{bmatrix} 142 \\ 660 \end{bmatrix} px; \mathbf{r}_A = \begin{bmatrix} 177 \\ 428 \end{bmatrix} px; \mathbf{r}_C = \begin{bmatrix} 323 \\ 378 \end{bmatrix} px$$

Végül a megvalósult programban annak érdekében, hogy detektálni lehessen, hogy a kurzor a gamuton belül helyezkedik-e el Excel segítségével egyenest illesztettem a gamutot határoló pontpárookra, ezek:

$$\begin{aligned} a(x) &= -6,6286x + 1601,3 \\ b(x) &= -0,3425x + 488,62 \\ c(x) &= 1,3663x - 63,31 \\ d(x) &= -0,1331x + 678,91 \end{aligned}$$

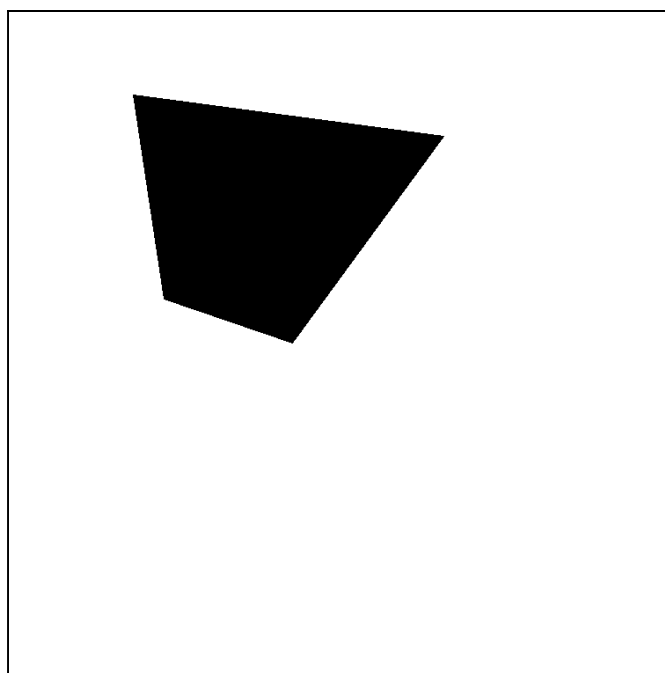
Ahhoz, hogy a gamuton belül legyen az adott pont:

$$y > a(x); y > b(x); y > c(x); y < d(x)$$



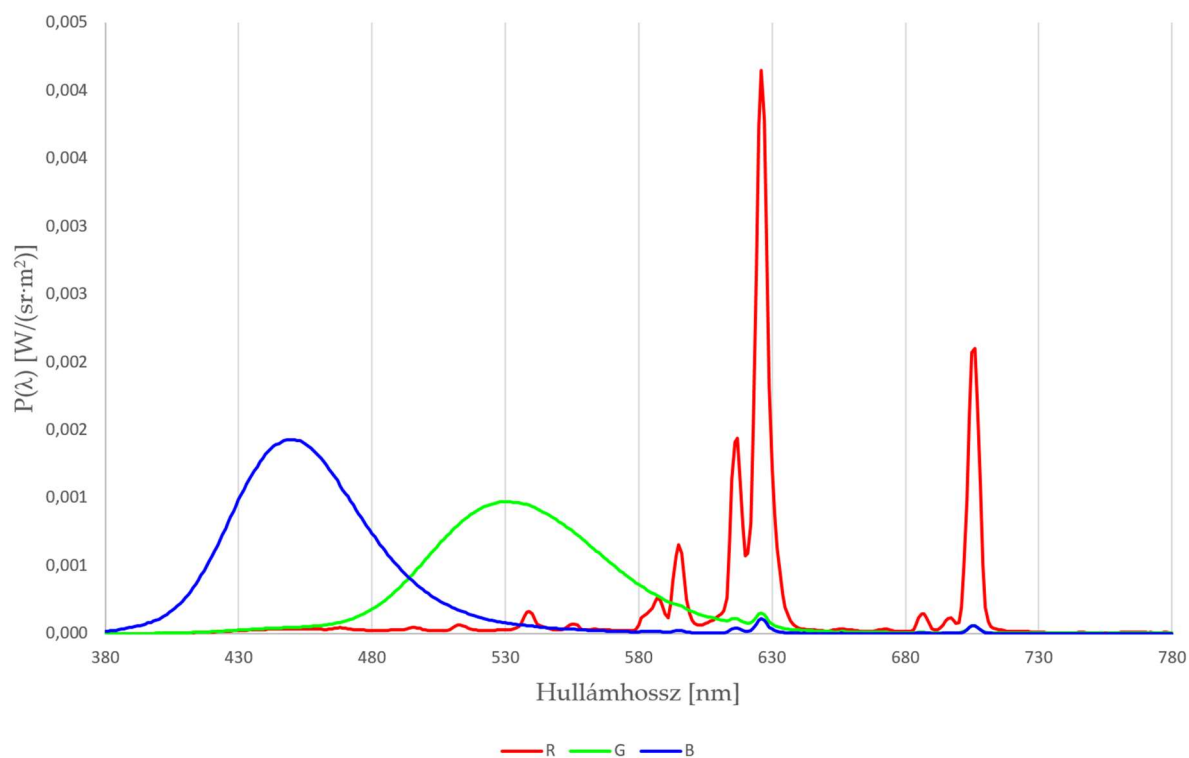
7. ábra: A kijelző gamut azon pontjai, melyeket színhelyesen képes megjeleníteni a kijelző adott fény-sűrűség értéken

Továbbá készült egy fekete-fehér maszk is (ld. 8. ábra), mely habár végül nem lett felhasználva, de a függvényekkel történő határolásnak megfelelő alternatíváját képezték volna.



8. ábra: a kijelző gamutot megjelenítő fekete-fehér maszk

Illetve Szabó Máté segítségével készültek a CRT kijelzőről mérések (ld 9. ábra) ismételtén a Konica-Minolta CS-1000 spektrométer segítségével.



9. ábra: CRT kijelző R, G, illetve B csatornáinak radiancia értékei maximális fényerőn

4. MÁSODIK FŐFELADAT

4.1. Vizuális kísérletek a fenti kísérleti terv alapján.

A vizuális kísérletek során minden mérésben résztvevő személy a 2 rendelkezésre álló különböző kabinszín mellett kellett, hogy kezdetben kb. 20 alkalommal válasszon ki akromatikus színpontot az adott háttérvilágítás mellett. Ezt követte egy CCT ellipszis teszt, illetve 2 db Trivector teszt. Egy mérés időtartama kb. 30 perc és 1,5 óra között mozgott. Az átlagos életkor 46,6 év volt, a tesztalanyok 48%-a nő, míg 52%-a férfi volt.

2. táblázat Ellipszis teszt eredmények fehérhez közeli háttérvilágítás esetén

Mérés sz.	$\overline{u'_w}$	$\overline{v'_w}$	Nagy teng. hossza	Tengelyek aránya	Nagy teng. szöghelyzet [°]
1	0,1973	0,4721	0,151	17,05	79,7
2	0,2278	0,4670	1,146	86,37	74,9
3	0,1951	0,4062	0,015	2,23	81,8
4	0,2115	0,4322	0,026	2,65	89,3
5	0,1902	0,4389	-	-	-
6	0,2003	0,4328	0,031	3,79	81,5
7	0,1903	0,4398	0,023	2,72	94,5
8	0,1998	0,3835	0,020	2,24	108,5
9	0,1926	0,4389	0,022	2,11	100,1
10	-	-	-	-	-
11	0,1903	0,4256	0,440	19,84	101,6
12	0,2337	0,5053	0,076	5,20	84,7
13	-	-	-	-	-
14	0,1984	0,4424	0,021	2,31	100,8
15	0,1869	0,4306	0,017	2,23	100,3
16	0,2044	0,4294	0,014	1,78	75,3
17	0,2306	0,4671	0,034	3,07	80,4
18	0,2004	0,4597	0,016	2,27	83,1
19	0,1842	0,4432	0,010	1,77	87,4
20	0,1710	0,4194	0,035	2,64	81,6
21	-	-	-	-	-
22	0,2008	0,4446	0,053	6,40	100,6
23	0,1744	0,4253	0,013	1,76	92,8

A mérésben résztvevő személyekhez tartozó átlagos akromatikus színpontok, illetve ezekből végzett ellipszis teszt eredmények fehérhez közeli háttérszínre (ld. 2. táblázat és 10. ábra).

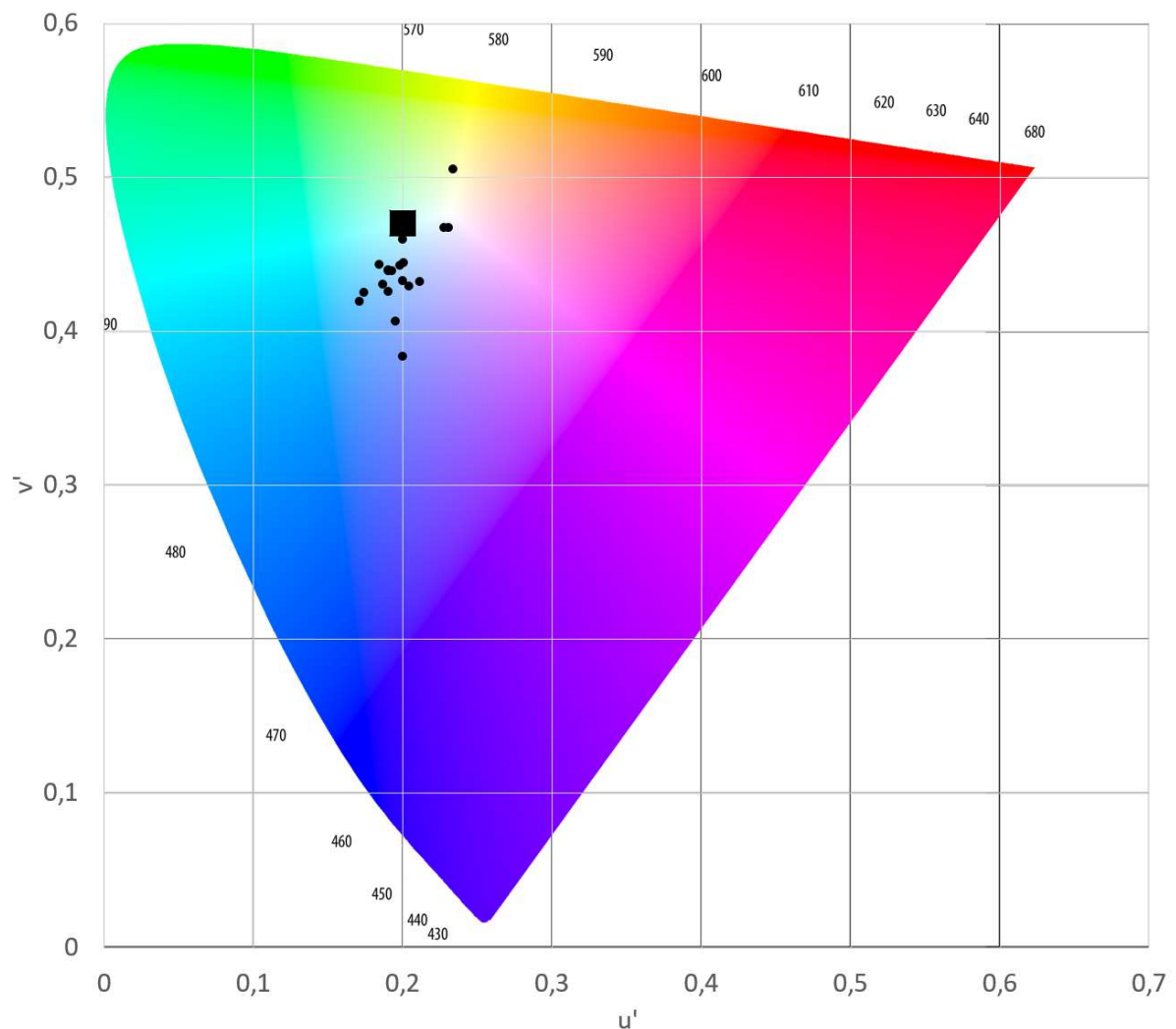
Az mérésenkénti átlagos akromatikus színpontok együttes átlaga és szórása eképpen:

$$\bar{\mathbf{r}} = \begin{bmatrix} 0,1990 \\ 0,4402 \end{bmatrix}; \sigma_u = 0,0162; \sigma_v = 0,025$$

A fehérhez közeli kabinszín várt kezdeti színekoordinátái, illetve az ettől való eltérése az átlagos színekoordinátáknak:

$$\mathbf{r}_{NW} = \begin{bmatrix} 0,2 \\ 0,47 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \mathbf{r} = \bar{\mathbf{r}} - \mathbf{r}_{NW} = \begin{bmatrix} -0,0010 \\ -0,0298 \end{bmatrix}$$

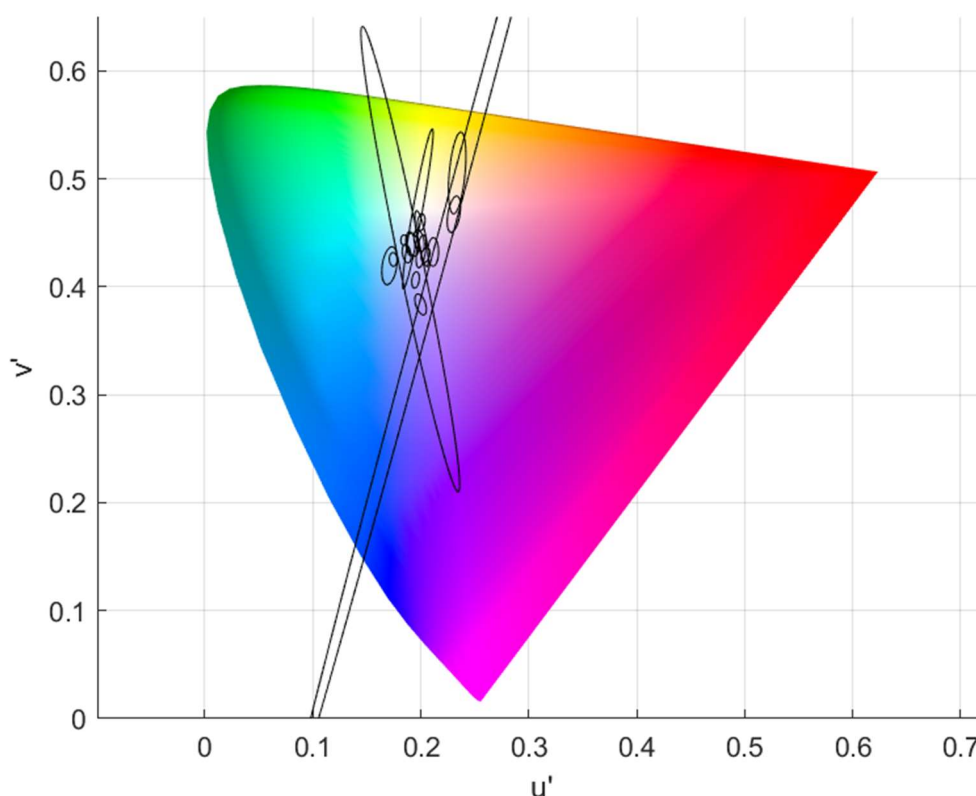


10. ábra: A mérésben résztvevő személyekhez tartozó személyenként átlagolt akromatikus színpontok ponttal, a mérés előtt számított fehérhez közeli kabinszín zölddel

Habár az eredményekből az látszik, hogy az átlagos akromatikus színpontokat reprezentáló vektorok átlaga nagyon közel helyezkedett el a számított kabinszínhez, ami

megalapozhatja a feltételezést, miszerint a mintában résztvevő személyek jól adaptálódtak a környezethez, de fontos kiemelni, hogy a kabinszín eltért a várttól, így ezt érdemes lehet méréssel ellenőrizni.

Az ellipszis tesztek során a képen látható (ld .11. ábra, illetve 8.2 bekezdés) eredmények születtek.



11. ábra: Ellipszis tesztek ugyanazon színdiagramon megjelenítve, fehérhez közeli adaptációs színre

Az átlagos értékekből (ld. 3. táblázat) kivettem jelen esetben a 2 kiugróan nagy ellipszist.

3. táblázat: Átlagolt ellipszis paraméterek, fehérhez közeli adaptációs színre

Átlagos nagytengetyhossz	Átlagos tengetyarány	Átlagos szöghelyzet [°]
0,051	3,825	90,838

A Trivector tesztek esetében a kiindulási pontok az adott személyre vonatkozó átlagos akromatikus pontból végzett ellipszis teszt főtengetyének egyenese mentén az adott személyre vonatkozó átlagos akromatikus ponttól vett $\pm 0,05$ távol elhelyezkedő színes háttérű pontok (ld 4 és 6. táblázat) voltak. Előfordult, hogy az adott személy olyan akromatikus színpontot állított, melyből vett Trivector színpont(ok) már a gamuton kívül helyezkedtek volna el, ilyen szituációkban az adott Trivector tesztre

nem került sor. A mérési idő csökkentése érdekében az akromatikus színpontban nem került sor Trivector tesztre, hanem annak értékeit az ellipszisek középpontjából adott irányú sugarába mutató vektorhosszaknak vettem az általam talált egyenlet (Nijsten, 2017) segítségével (ld. 7. táblázat). A Trivector tesztek számozással láttam el, ahol az első kettő jelöli a két külön mérést, melyek mindkettő vegyesen tartalmaz az akromatikus színponttól +0,05, illetve -0,05 távol elhelyezkedő háttérszíneket, továbbá a harmas számmal láttam el az ellipszis paramétereiből számított teszt értékeket.

4. táblázat: Trivector tesztek fehérhez közeli háttérszínnel

Mérés sz.	u'	v'	P1	D1	T1
1	0,1884	0,4229	0,0033	0,0035	0,0078
2	-	-	-	-	-
3	0,1880	0,3567	0,0023	0,0026	0,0067
4	0,2109	0,3822	0,0046	0,0036	0,0166
5	-	-	-	-	-
6	0,2000	0,3833	0,0036	0,0035	0,0051
7	0,1943	0,3899	0,0036	0,0029	0,0049
8	0,2151	0,3361	0,0047	0,0033	0,0177
9	0,2010	0,3890	0,0030	0,0046	0,0108
10	-	-	-	-	-
11	0,1831	0,3761	0,0090	0,0108	0,0310
12	0,2272	0,4515	0,0049	0,0059	0,0176
13	-	-	-	-	-
14	0,2078	0,3933	0,0047	0,0051	0,0105
15	0,1959	0,3814	0,0045	0,0043	0,0240
16	-	-	-	-	-
17	0,2223	0,4178	0,0064	0,0066	0,0145
18	0,1944	0,4101	0,0026	0,0026	0,0045
19	0,1860	0,4930	0,0033	0,0033	0,0061
20	0,1637	0,3699	0,0053	0,0051	0,0038
21	-	-	-	-	-
22	0,2100	0,3954	0,0026	0,0036	0,0175
23	0,1976	0,3513	0,0029	0,0040	0,0095

A Trivector tesztek esetében általánosságban (ld. 5. ábra) a Tritan konfúziós pont irányába lehetett a legmagasabb küszöbértéket tapasztalni, a mérések összességére vett átlag szerint 0,0160, míg a Protan és Deutan irányokba 0,0059; 0,0058. A konfúziós

pontok beállított színkoordinátái az alábbi táblázatban (ld. 5. táblázat) szerepelnek, melyeket a CCT szoftverében szerepeltek, mint korábban megadott értékek.

5. táblázat: P,D,T konfúziós pontok

	u'	v'
Protan	0,6579	0,5013
Deutan	-1,2174	0,7826
Tritan	0,2573	0,000

6. táblázat: Trivector tesztek fehérhez közeli háttérszínnel

Mérés sz.	u'	v'	P2	D2	T2
1	0,1840	0,4309	0,0036	0,0044	0,0197
2	0,2269	0,5170	0,0082	0,0035	0,0238
3	0,2022	0,4557	0,0044	0,0047	0,0074
4	0,2121	0,4822	0,0055	0,0029	0,0050
5	-	-	-	-	-
6	0,2077	0,4309	0,0046	0,0044	0,0109
7	0,1864	0,4896	0,0042	0,0062	0,0140
8	0,1840	0,4309	0,0410	0,0440	0,0850
9	0,1838	0,4389	0,0044	0,0045	0,0066
10	-	-	-	-	-
11	0,1971	0,4751	0,0137	0,0112	0,0738
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	0,1890	0,4915	0,0046	0,0035	0,0136
15	0,1780	0,4798	0,0062	0,0046	0,0168
16	0,2171	0,4777	0,0039	0,0046	0,0090
17	0,2390	0,5164	0,0067	0,0081	0,0162
18	0,2064	0,4101	0,0029	0,0026	0,0069
19	0,1819	0,3932	0,0023	0,0029	0,0039
20	0,1783	0,4689	0,0074	0,0080	0,0136
21	-	-	-	-	-
22	0,1917	0,4937	0,0063	0,0042	0,0176
23	0,1917	0,4512	0,0044	0,0035	0,0063

Fontos kiemelni, hogy míg az ellipszis teszt esetén mindig lehetőség nyílt a kívánt fénysűrűség ($10-18 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$) értékeken elvégezni a teszteket, addig erre a Trivector tesztek esetén nem volt mindig lehetőség, mivel olykor a kijelző gamuton kívül estek volna számos esetben a P,D,T irányba mutató színingerküszöb felmérésére szolgáló vektorok, ekkor a CCT minden esetben alacsonyabb maximális fénysűrűség szintet állított be, mint a kívánt $18 \left[\frac{cd}{m^2} \right]$. Fontos továbbá kiemelni, hogy a kezdeti paramétereknél adott volt, hogy színingerküszöböt adott irányba jelölő vektorok 6 diszkrét érték között váltakoztak, melyek minimuma 0,0020, maximuma pedig 0,1100 volt.

7. táblázat: Ellipszis alapján számított Trivector értékek fehérhez közeli fényforrás esetén

Mérés sz.	u'	v'	P3	D3	T3
1	0,1973	0,4721	0,3999	0,0088	0,0289
2	0,2278	0,4670	0,0141	0,0133	0,0413
3	0,1951	0,4062	0,0072	0,0069	0,0132
4	0,2115	0,4322	0,0101	0,0102	0,0254
5	-	-	-	-	-
6	0,2003	0,4328	0,0085	0,0082	0,0217
7	0,1903	0,4398	0,0083	0,0087	0,0222
8	0,1998	0,3835	0,0090	0,0104	0,0191
9	0,1926	0,4389	0,0103	0,0110	0,0217
10	-	-	-	-	-
11	0,1903	0,4256	0,0222	0,0247	0,3226
12	0,2337	0,5053	0,0147	0,0147	0,0621
13	-	-	-	-	-
14	0,1984	0,4424	0,0090	0,0097	0,0207
15	0,1869	0,4306	0,0078	0,0083	0,0173
16	0,2044	0,4294	0,0082	0,0077	0,0121
17	0,2306	0,4671	0,0114	0,0111	0,0286
18	0,2004	0,4597	0,0070	0,0069	0,0141
19	0,1842	0,4432	0,0055	0,0055	0,0092
20	0,1710	0,4194	0,0140	0,0135	0,0272
21	-	-	-	-	-
22	0,2008	0,4446	0,0006	0,0006	0,0034
23	0,1744	0,4253	0,0072	0,0074	0,0123

A mérésben résztvevő személyekhez tartozó átlagos akromatikus színpontokat (ld 8. táblázat), illetve az ezekből végzett ellipszis teszt eredmények zöld háttérszínre hasonlóan feltüntettem, mint fehérhez közeli háttérszín esetén.

8. táblázat: Ellipszis teszt eredmények zöld háttérvilágítás esetén

Mérés sz.	$\overline{u'_w}$	$\overline{v'_w}$	Nagy teng. hossza	Tengelyek aránya	Nagy teng. Szöghelyzet [°]
1	0,1801	0,4466	0,016	1,79	72,0
2	0,0971	0,3769	0,014	1,58	105,0
3	0,1675	0,4041	0,011	1,93	102,0
4	-	-	-	-	-
5	0,1683	0,4001	0,024	3,14	86,6
6	0,1769	0,4226	0,013	1,61	83,8
7	0,2018	0,4233	0,014	1,62	91,4
8	0,1908	0,4247	0,016	1,40	79,3
9	0,1629	0,4340	0,015	2,06	93,8
10	-	-	-	-	-
11	0,1544	0,4132	4,307	266,80	103,8
12	0,2052	0,4804	0,053	4,44	90,7
13	0,1599	0,3971	0,019	3,28	94,7
14	0,1871	0,4300	0,017	1,53	104,2
15	0,1633	0,4104	0,017	1,53	104,2
16	0,1875	0,4322	0,012	1,84	88,3
17	0,2161	0,4645	0,022	1,49	61,6
18	0,1743	0,4698	0,011	1,66	85,3
19	0,1853	0,4452	0,008	1,26	70,5
20	0,1555	0,4036	0,022	2,30	94,4
21	-	-	-	-	-
22	0,1735	0,4292	0,018	2,41	100,8
23	0,1952	0,4012	0,012	2,06	78,5

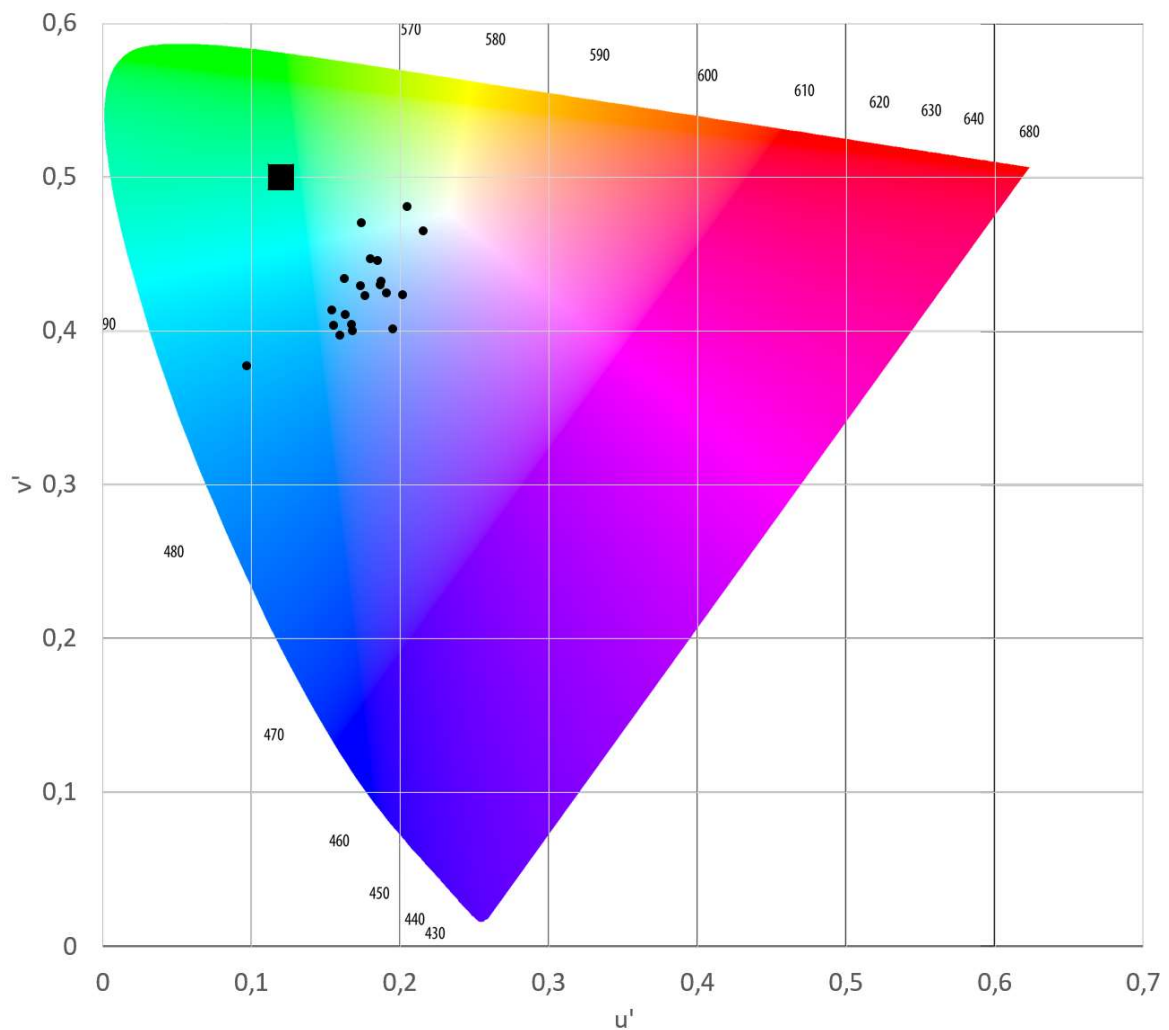
Zöld háttérszín esetén a mérésben résztvevő tesztalanyok fehér színészlelete nem tudott alkalmazkodni (ld. 12. ábra) az adaptációs környezethez, továbbá az eredményül kapott pontthalmaz szórása is nagyobb volt, mint a fehérhez közeli adaptációs szín esetén. Érdekesség, hogy a személyenkénti átlagos akromatikus pontokat tartalmazó pontthalmaz sokkalta inkább a kék felé tolódott, mintsem a zöld irányába. Ez

véleményem szerint azzal magyarázható, hogy a megadott LED paraméterekben kék komponens is található.

$$\bar{\mathbf{r}} = \begin{bmatrix} 0,1751 \\ 0,4255 \end{bmatrix}; \sigma_u = 0,024397; \sigma_v = 0,02571$$

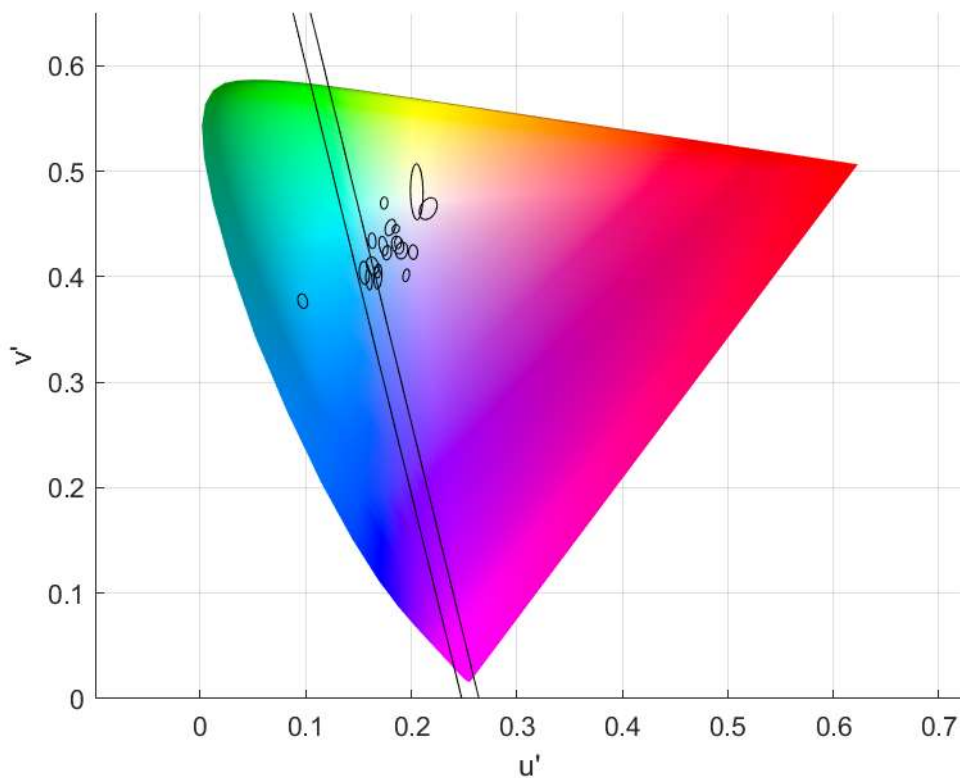
$$\mathbf{r}_{\text{zöld}} = \begin{bmatrix} 0,12 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \mathbf{r} = \bar{\mathbf{r}} - \mathbf{r}_{\text{zöld}} = \begin{bmatrix} 0,0551 \\ -0,0745 \end{bmatrix}$$



12. ábra A mérésben résztvevő személyekhez rendelt átlagos akromatikus színpontok körrel, illetve a kabin megvilágításához számított zöld szín négyzettel

Zöld színkamra beállítás esetén ellipszis tesztek során jellemzően a MacAdam ellipszisek méretüket tekintve kisebbek voltak, mint fehérhez közeli fényforrásnál (ld. 13. ábra, illetve 8.3. bekezdés).



13. ábra Ellipszis teszt eredmények zöld háttérvilágítás esetén

Jelen esetben csak 1 kiugró érték volt található az adatok között, ezt az átlagos értékek (ld. 9. táblázat) számításakor nem vettem figyelembe.

9. táblázat: Átlagolt ellipszis paraméterek, fehérhez közeli adaptációs színre

Átlagos nagytengetyhossz	Átlagos tengelyarány	Átlagos szöghelyzet [°]
0,0176	2,0482	88,7956

Összehasonlítva a fehérhez közeli fényforrásoknál kapott értékekkel a tengelyhosszok:

$$\frac{\overline{l_{NW}}}{\overline{l_{Zöld}}} = 2,8978$$

Az átlagos tengelyarányok hányadosa a két különféle adaptációs színre:

$$\frac{k_{NW}}{k_{Zöld}} = 1,8675$$

Illetve a két átlagos szöghelyzet közötti eltérés:

$$\Delta\theta = \theta_{NW} - \theta_{Zöld} = 2,042 [^{\circ}]$$

Mindez alapján feltételezhető, hogy zöld háttérszín esetén az akromatikus színpontban kisebb színdiszkriminációs küszöbértékek várhatóak.

A zöld adaptációs környezetben végzett Trivector tesztek (ld. 10. és 11. táblázat) esetén kisebb átlagos színdiszkriminációs küszöbértékeket lehetett tapasztalni. Számszerűsítve a Tritan irányban 0,0119, a Deutan irányban 0,0044 illetve a Protan irányban 0,0042.

10. táblázat: Trivector teszt eredmények zöld háttérvilágítás, illetve színes háttérű CCT színinger esetén

Mérés sz.	u'	v'	P1	D1	T1
1	0,1647	0,3991	0,0046	0,0033	0,0111
2	0,1815	0,3756	0,0033	0,0047	0,0166
3	0,1779	0,3552	0,0026	0,0029	0,0054
4	-	-	-	-	-
5	0,1654	0,3502	0,0023	0,0029	0,0126
6	0,1715	0,3729	0,0045	0,0030	0,0045
7	0,2030	0,3733	0,0026	0,0041	0,0064
8	0,1815	0,3756	0,0036	0,0030	0,0108
9	0,1660	0,3840	0,0044	0,0050	0,0104
10	-	-	-	-	-
11	0,1663	0,3646	0,0070	0,0067	0,0349
12	0,2057	0,4303	0,0063	0,0075	0,0185
13	0,1494	0,4460	0,0032	0,0039	0,0132
14	0,1906	0,3393	0,0038	0,0041	0,0141
15	0,1755	0,3620	0,0036	0,0041	0,0121
16	0,1860	0,3823	0,0032	0,0033	0,0057
17	0,1877	0,4205	0,0038	0,0036	0,0095
18	0,1708	0,4199	0,0026	0,0026	0,0039
19	0,1687	0,4452	26,0000	26,0000	46,0000
20	0,1592	0,3537	0,0030	0,0029	0,0094
21	-	-	-	-	-
22	0,1829	0,3801	0,0026	0,0023	0,0042
23	0,1645	0,3763	0,0026	0,0029	0,0064

11. táblázat: Trivector teszt eredmények zöld háttérvilágítás, illetve színes háttérű CCT színinger esetén

Mérés sz.	u'	v'	P2	D2	T2
1	0,2000	0,4738	0,0042	0,0044	0,0178
2	-	-	-	-	-
3	0,1571	0,4530	0,0036	0,0023	0,0088
4	-	-	-	-	-
5	0,1713	0,4500	0,0057	0,0065	0,0164
6	0,1823	0,4723	0,0047	0,0050	0,0092
7	0,2006	0,4733	0,0046	0,0033	0,0096
8	0,2000	0,4738	0,0056	0,0072	0,0117
9	0,1600	0,4839	0,0046	0,0043	0,0077
10	-	-	-	-	-
11	0,1425	0,4618	0,0060	0,0087	0,0467
12	0,2045	0,5304	0,0080	0,0066	0,0307
13	0,1702	0,3481	0,0042	0,0033	0,0111
14	0,1835	0,4889	0,0056	0,0049	0,0124
15	0,1510	0,4590	0,0042	0,0060	0,0064
16	0,1889	0,4822	0,0029	0,0036	0,0069
17	0,2353	0,5085	0,0074	0,0092	0,0103
18	0,1784	0,5196	0,0052	0,0036	0,0107
19	0,2020	0,4923	0,0023	0,0029	0,0033
20	0,1518	0,5013	0,0067	0,0071	0,0109
21	-	-	-	-	-
22	0,1642	0,4783	0,0030	0,0023	0,0088
23	0,1844	0,4743	0,0026	0,0036	0,0043

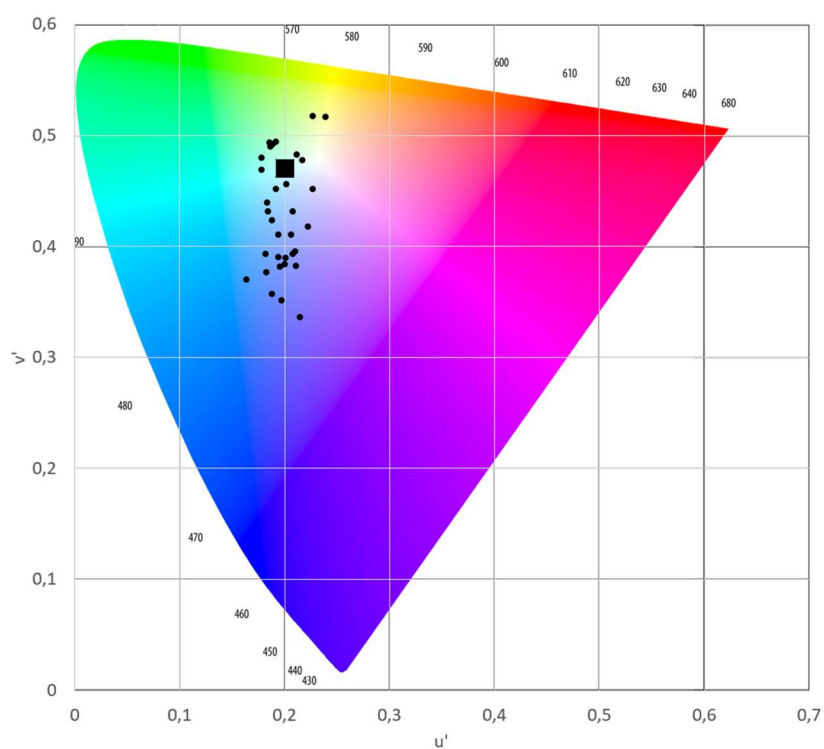
Zöld háttérszín esetén a mérésben résztvevők jelentős része olyan ellipszistesztet produkált, melynél a korábban említett módszerrel számított színes háttérű színpontok a kijelző gamuton belül helyezkedtek el, kivéve 1 esetet, amikor is kizárólagosan csak 1 Trivector pontban lehetett mérést végezni.

Fontos továbbá kiemelni, hogy a mérések amennyiben meghaladták a 1,5 óra időtartamot, akkor a tesztalanyoknak a 2. adaptációs színnel végzett feladatokhoz kevesebb türelmük volt.

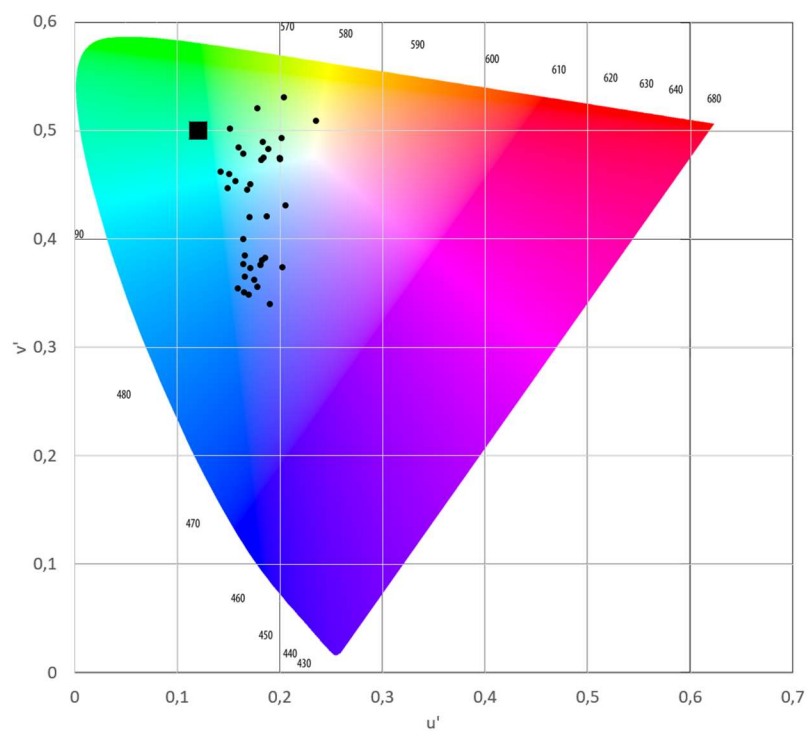
12. táblázat: Illesztett Ellipszisből számított Trivector értékek zöld háttérvilágítás és akromatikus háttér esetén

Mérés sz.	u'	v'	P3	D3	T3
1	0,1801	0,4466	0,0096	0,0090	0,0132
2	0,0971	0,3769	0,0089	0,0097	0,0138
3	0,1675	0,4041	0,0056	0,0061	0,0108
4	-	-	-	-	-
5	0,1683	0,4001	0,0077	0,0076	0,0182
6	0,1769	0,4226	0,0085	0,0084	0,0126
7	0,2018	0,4233	0,0085	0,0086	0,0135
8	0,1908	0,4247	0,0117	0,0114	0,0151
9	0,1629	0,4340	0,0072	0,0075	0,0143
10	-	-	-	-	-
11	0,1544	0,4132	0,0162	0,0184	3,3692
12	0,2052	0,4804	0,0119	0,0122	0,0488
13	0,1599	0,3971	0,0059	0,0062	0,0173
14	0,1871	0,4300	0,0111	0,0119	0,0169
15	0,1633	0,4104	0,0111	0,0120	0,0170
16	0,1875	0,4322	0,0063	0,0064	0,0110
17	0,2161	0,4645	0,0163	0,0152	0,0189
18	0,1743	0,4698	0,0068	0,0068	0,0107
19	0,1853	0,4452	0,0067	0,0065	0,0077
20	0,1555	0,4036	0,0095	0,0100	0,0206
21	-	-	-	-	-
22	0,1735	0,4292	0,0076	0,0083	0,0184
23	0,1952	0,4012	0,0063	0,0059	0,0103

A mérésben résztvevő személyekhez tartozó Trivector tesztek színpontjait a két különböző fényforrás esetén ponthalmazokként ábrázoltam (ld. 14. és 15. ábra).



14. ábra: Trivector teszthez használt színes háttérű pontok, fehérhez közeli háttérvilágításnál, pont-halmazként ábrázolva.



15. ábra: Trivector teszthez használt színes háttérű pontok, fehérhez közeli háttérvilágításnál, pont-halmazként ábrázolva

5. ÖSSZEFOGLALÁS, EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

5.1. Eredmények

Annak érdekében, hogy vizsgálható legyen a kapcsolat az adaptációs színeltolódás és a színdiszkriminációs képesség között, a kisméretű csoportteszt ment végbe 22 résztvevővel. A teszt környezet magába foglalt egy LED-ekkel felszerelt színkamrát, mely 5 különböző színű LED fényforrást tartalmazott (Vörös, Zöld, Kék, Fehér, Borostyán), ezzel 2 adaptációs környezetet szolgáltatva. A mérések sötét szobában zajlottak.

A résztvevők 3 feladatot kaptak. Először kör alakú színingereket kaptak egy NEC MultiSync FP2141^{SB} kijelzőn. A színinger színe a kurzor pozíciójától függött, ami a háttérszint a CIE 1976 UCS szerint állította. Az adott akromatikus színpontokkal egy átlagos akromatikus színpont érték került számításra minden mérésben résztvevő személynél. Az adott CIE 1976 UCS szíenkoordinátákkal minden résztvevőnek Cambridge Colour Test méréseket kellett végrehajtania. A színdiszkriminációs küszöbértékekhez tartozó ellipszis tesztekét csinálták a tesztalanyok az akromatikus színpontban.

Végül színes háttérpontok számítottak $\pm 0,05$ távolságra az akromatikus színponttal az ellipszis főtengelyével megegyező egyenes mentén. Az adott színes színpontokkal 2 különálló Trivector test zajlott. Miután minden teszt lezajlott, a tesztalanyok kaptak 2 percet, hogy egy új fajta adaptációs környezetet megszokhasson a látásuk, és ismételtel elvégezdhessék a tesztekét. Minden résztvevő kb. 1-1,5 órát töltött a tesztek összességével. Voltak esetek, amikor adatvesztésből, illetve szintévesztés lehetőségéből adódóan az adathalmazba nem kerültek be az adott értékek.

Az színdiszkriminációs ellipszis paraméterek lehetőséget teremtettek egy harmadik, akromatikus pontba eső Trivector teszt érték számítására. A eredmények azt mutatták, hogy a mérésben résztvevők zöld háttérvilágítás esetén nem tudtak adaptálódni az adaptációs környezet fényére, de könnyen alkalmazkodott látásuk fehérhez közeli fényforrás esetén. Annak ellenére, hogy zöld adaptációs színinger esetén kisebb ellipszisek keletkeztek, a Trivector tesztek mindhárom irányban nagyobb értékeket mutattak a színes CCT háttérszín pontokból.

Végül az ellipszis paraméterek ábrázolásra kerültek a CIE 1976 UCS diagramokon.

A mérési eredményekből ami a leginkább szembe tűnő, hogy zöld háttérszín esetén jobb színdiszkriminációs képességgel rendelkeztek a tesztalanyok. Az ellipszistesztek esetén az ellipszisek hossza közel harmada volt, mint fehérhez közeli háttérszín esetén, a Trivector tesztek során viszont mind a P, D, illetve T irányú átlagos küszöbértékek szignifikánsan nagyobbak voltak színes háttérszínek esetén. Számszerűsítve:

13. táblázat: ábra A mérés során kiadódó átlagos Trivector értékek.

	P	D	T
Fehérhez közeli	0,0059	0,0058	0,0160
Zöld	0,6708	0,6710	1,1911

Továbbá fény derült arra is, hogy az általam számított zöld háttérszínhez nem adaptálódott a tesztalanyok látása, a fehérhez közeli fényforráshoz pedig igen.

5.2. Javaslatok/Következtetések/Tanulságok

A mérés során összességében a legfontosabb tanulság, hogy érdemesebb olyan mérést összeállítani, amely 1 óránál rövidebb idő alatt teljesíthető. Amennyiben a tesztalanyok egy fiatalabb korcsoportba tartoznak, ez valószínűsíthetően kivitelezhető lett volna itt is. Továbbá a különböző méréstípusok egy környezetbe történő integrálásával is értékes időt lehetne megtakarítani, mivel a bemeneti paraméterek számolásával, a kabinszín átállításával, illetve a tesztparaméterek megadásával egy mérés során akár 5-10 perc is eltelhetett.

Fontos megjegyezni, hogy a tájékoztató adatlap (ld. 8.1 bekezdés) nagyban segítette a mérések hatékonyabb lebonyolítását, bár az adatlapra a még nem az adott fénysűrűség értékhez rendelt kijelző gamut került, ezért ez okozhatott némi bizonytalanságot.

6. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. A.Yebra, J. J. J., 2001. Chromatic discrimination in relation to luminance level. *Color research and application*, 26(2), p. 9.
2. Ágnes Urbin, B. V. N., 2021. Chromatic Discrimination Thresholds as a Function of Color Differences and Cone Excitations. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*.
3. Fairchild, M. D., 2013. *Color Appearance Models*
4. Jennifer A. Veitch, S. A. F. & K. W. H., 2019. Judging the Scientific Quality of Applied Lighting Research. *LEUKOS*, p. 18.
5. Kort, Y. A. d., 2019. Tutorial: Theoretical Considerations When Planning Research on Human Factors in Lighting. *LEUKOS*, p. 12.
6. Mark D. Fairchild, P. L., 1992. Illuminants, Chromatic Adaptation to Natural and Incandescent. *ScienceDirect*, p. 9.
7. Michael A. Webster, J. A. W., 2000. Interactions between chromatic adaptation and contrast adaptation in color appearance. *ScienceDirect*, p. 16.
8. Nabeela Hasrod, A. R., 2015. Colour vision: A review of the Cambridge Colour Test and other colour testing methods. *African Vision and Eye Health*, p. 7.
9. Shvevell, S. K., 1999. The Time Course of Chromatic Adaptation. *COLOR research and application*, p. 4.
10. Sivadó, D., 2024. *Mérési útmutató*
11. Werner, A., 2003. The spatial tuning of chromatic adaptation. *ScienceDirect*, p. 13.
12. Nijsten, S., 2017. <https://www.quora.com/How-do-I-find-the-radius-of-an-ellipse-at-a-given-angle-to-its-axis>. [Online].
13. MathWorks 2023. Május 31. <https://www.mathworks.com/help/>

7. SUMMARY

In order to examine the relationship between adaptive shift and chromatic discrimination, a small group test was conducted with 22 participants. The test environment included a light chamber, equipped with LED light sources of 5 different colors (Red, Green, Blue, White, Amber), giving 2 different kinds of adapting background. The measurements were conducted in a dark room.

Participants were given 3 tasks. First, they were given circular shaped colored stimuli on a NEC MultiSync FP2141^{SB} screen. The color of the stimulus depended on the cursor position, which set the background color according to the CIE 1976 UCS. With the achromatic color points given an average achromatic color point value was calculated for each participant. With the given CIE 1976 UCS color coordinates, each participant were given the task to perform Cambridge Colour Test measurements. The discrimination ellipses were measured in the given average achromatic points. Finally colored background points were calculated in $\pm 0,05$ distance from the average achromatic point in the direction of the major-axis of the discrimination ellipse. With the given points 2 separate Trivector tests were conducted. After each test has been completed, subjects were given 2 minutes to adapt to the second type of surround. Then the same set of measurements occurred. Each participant spent about 1-1,5 hours to complete all the tests. There were some occurrences of data loss, and possibilities of color blindness resulting the exclusion of data from the data set.

From the discrimination ellipse parameters an additional third Trivector test result were calculated in the average achromatic color point. Test results showed that test subjects were unable to adapt to the given green adapting background, but easily adapted to the near white surround. Even though under green adapting background participants presented smaller discrimination ellipses, the Trivector test results were greater.

Finally the discrimination ellipse parameters were plotted separately on CIE 1976 UCS diagrams.

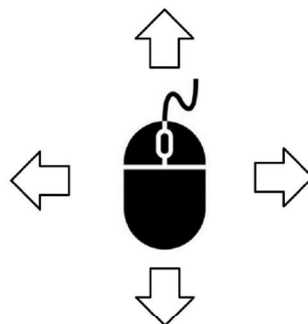
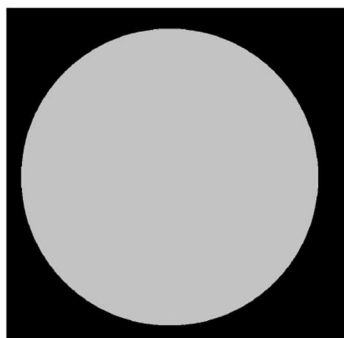
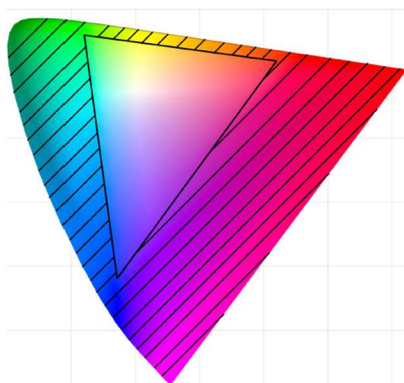
Keywords: *adaptive shift, chromatic discrimination, chromatic adaptation*

8. MELLÉKLETEK

8.1. Mérés során használt tájékoztató adatlap

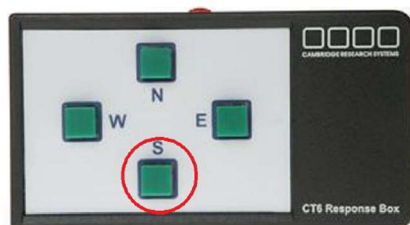
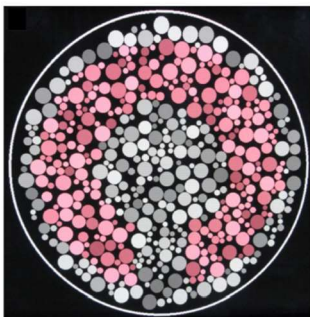
1. típusú feladat

Az alább látható színdiagramon állíthatók a színek az egér segítségével. Szürke színt kell a kijelzőn beállítani. A szürke színárnyalatot tartalmazó háromszög elhagyása esetén a program hangjelzést ad ki.

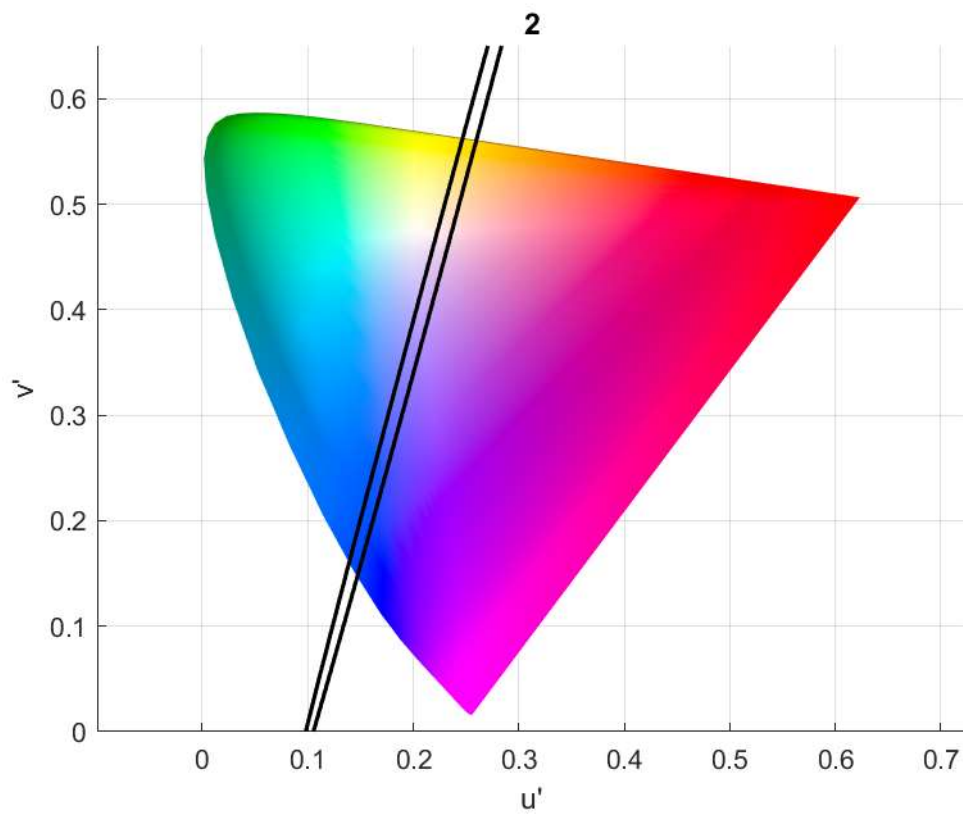
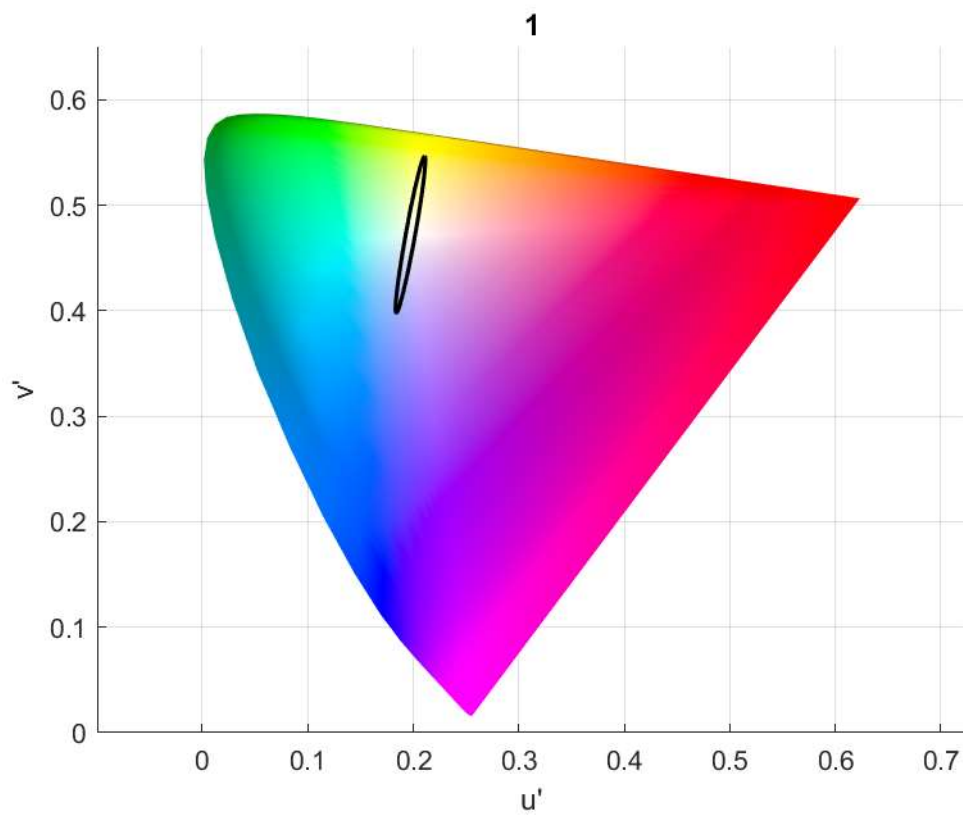


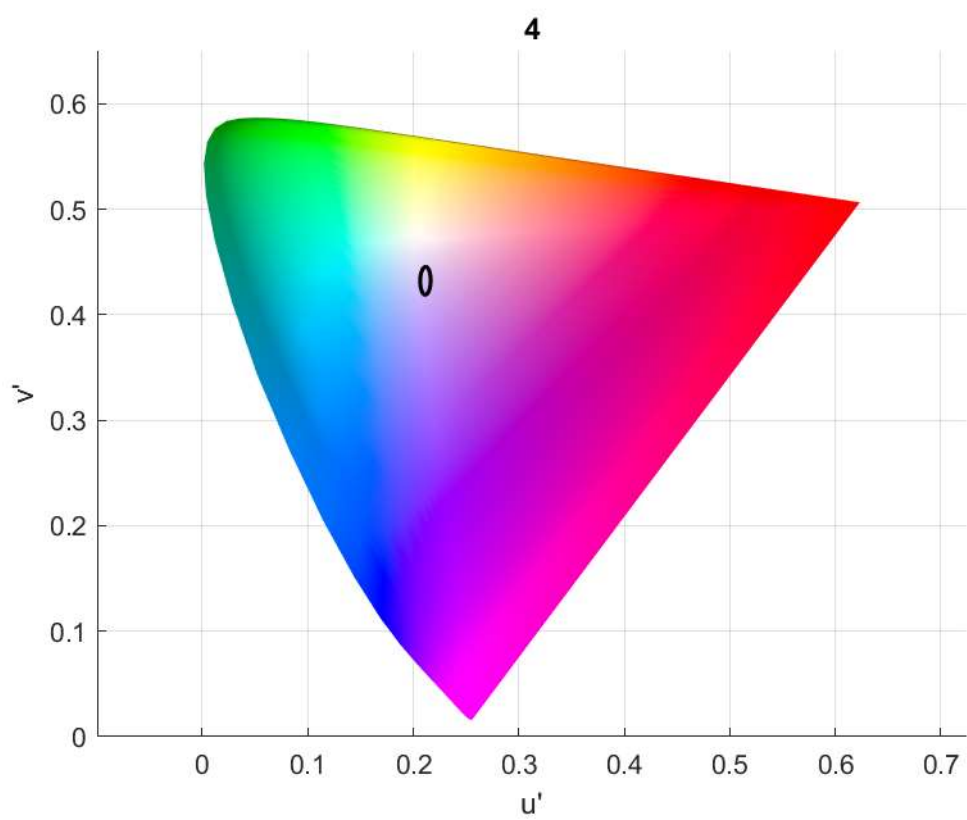
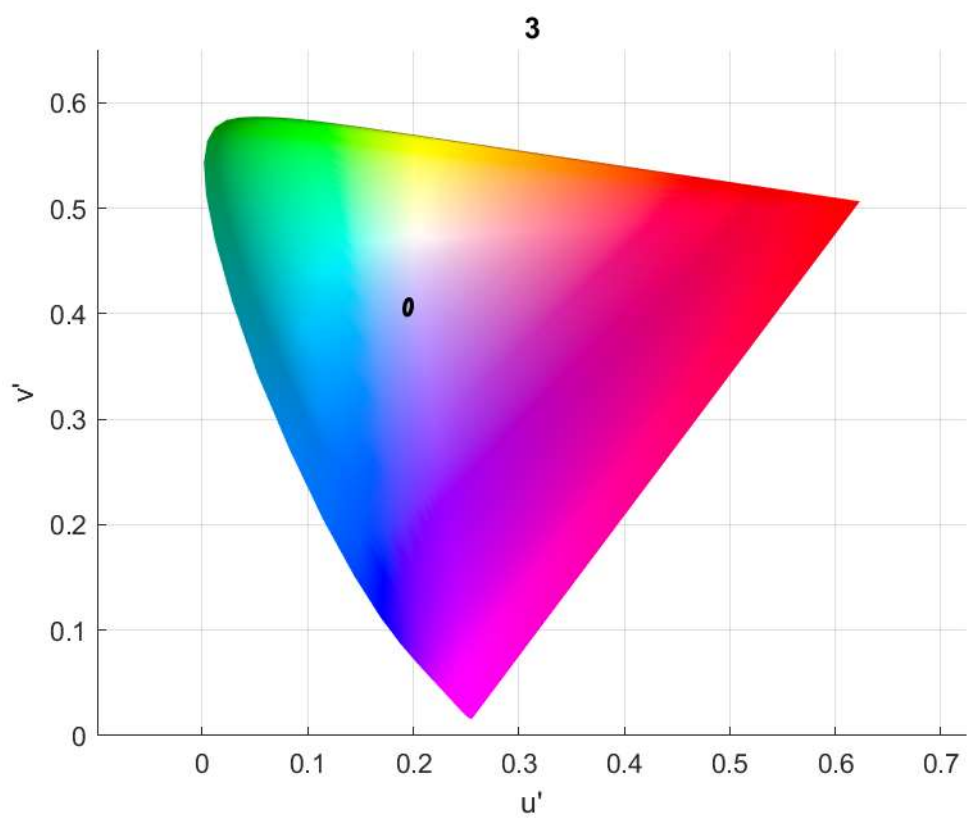
2. típusú feladat

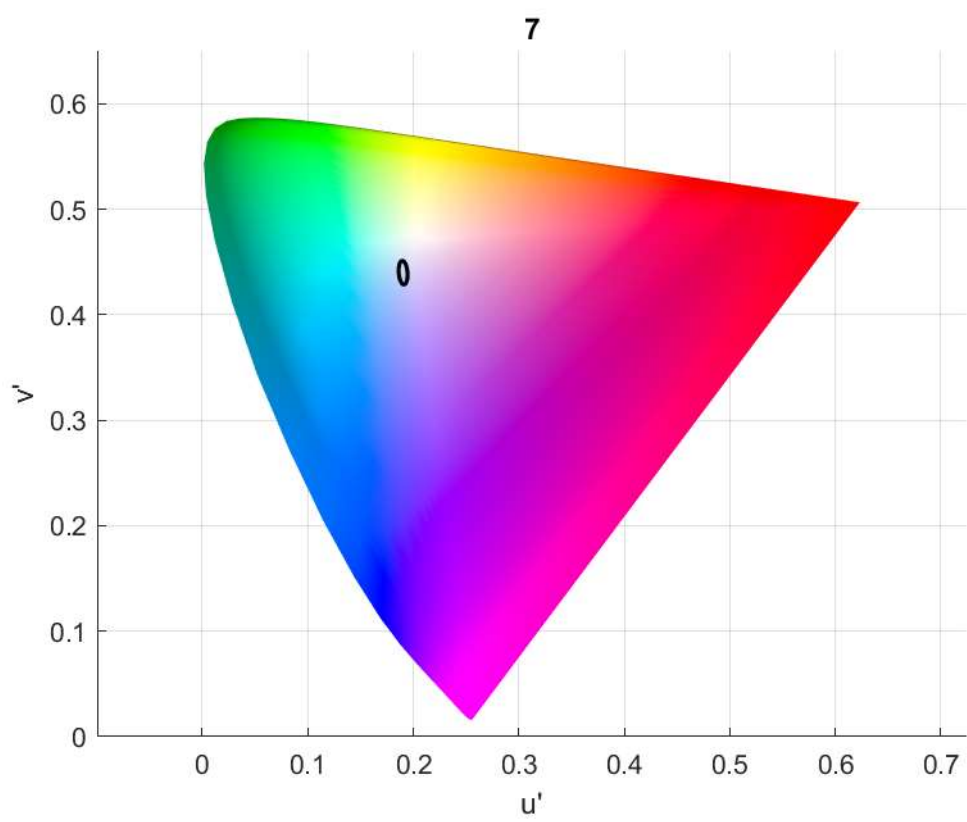
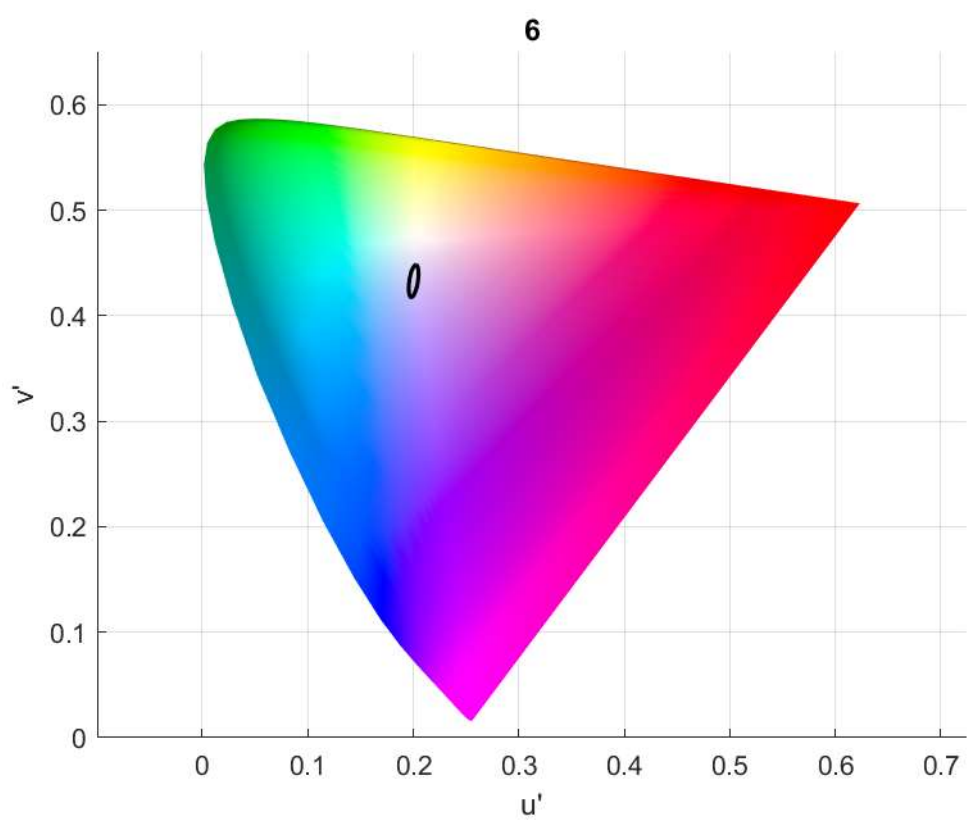
A C betűvel megegyező irányú gombot kell nyomni ('N' oldal néz a kijelző felé), például:

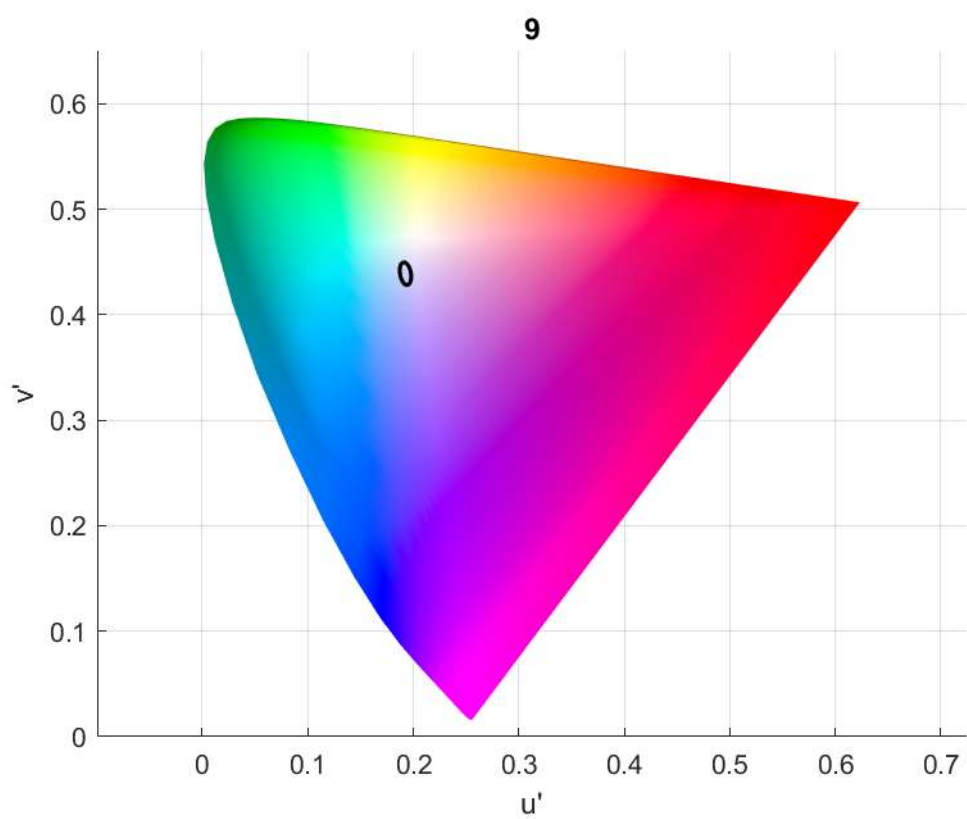
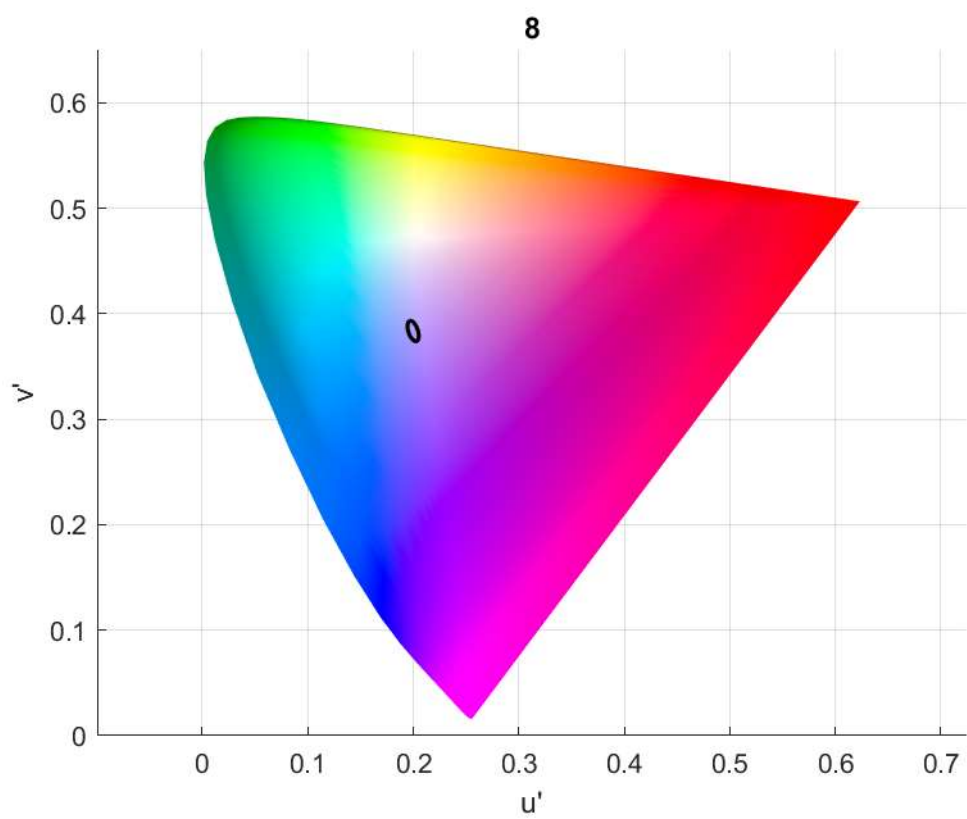


8.2. Ellipszis tesztek fehérhez közeli háttérvilágítás esetén.

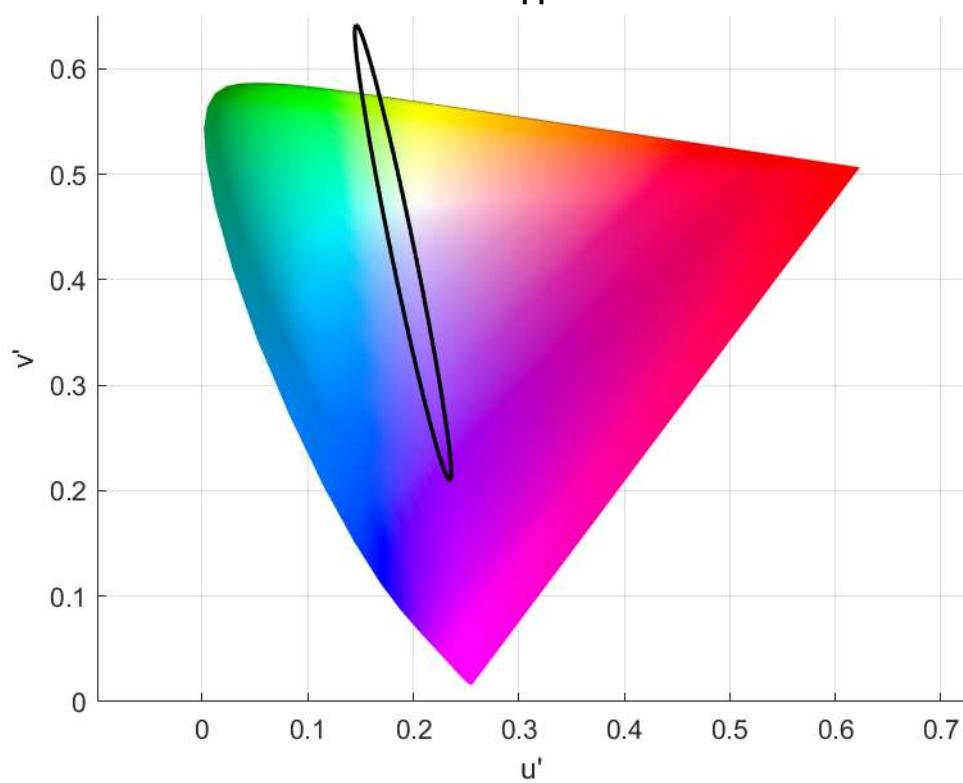




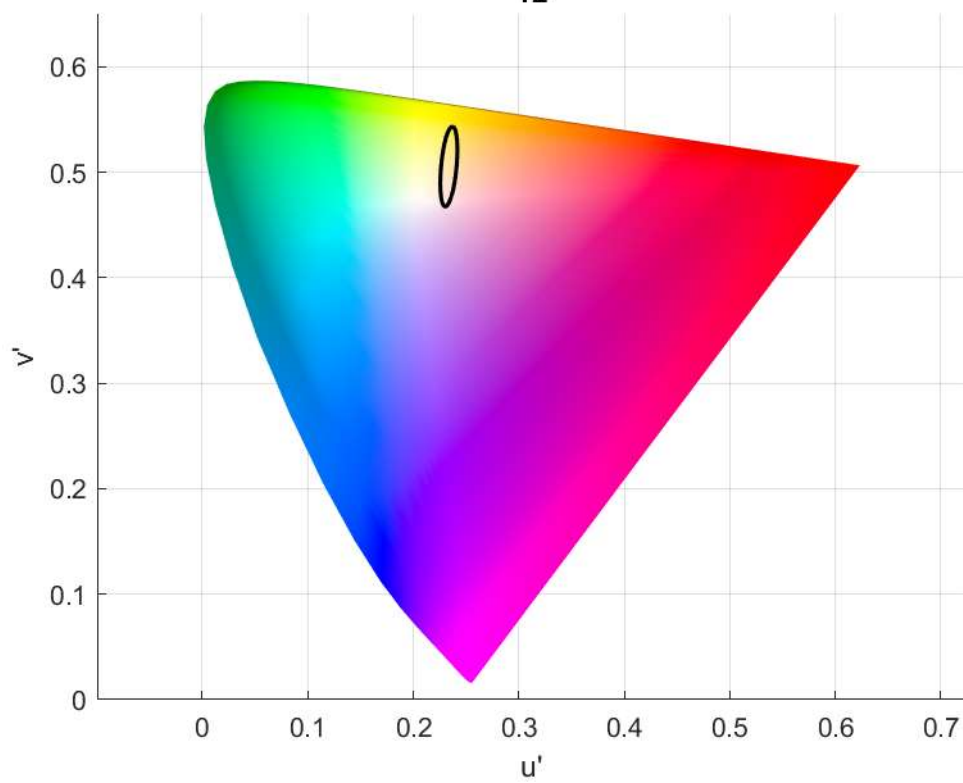




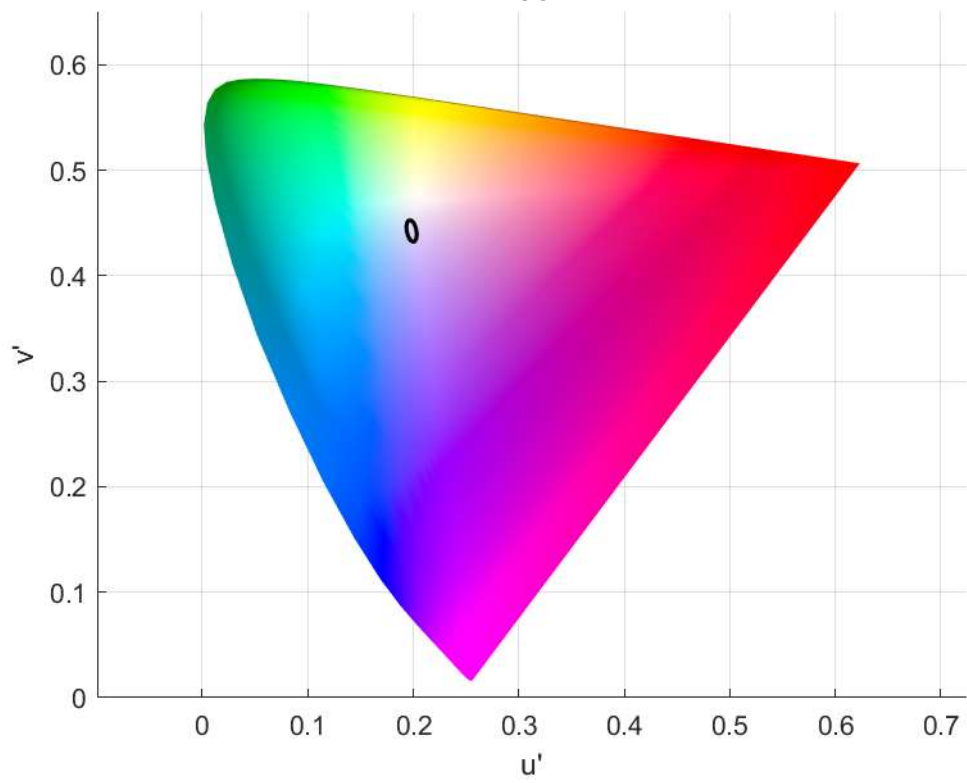
11



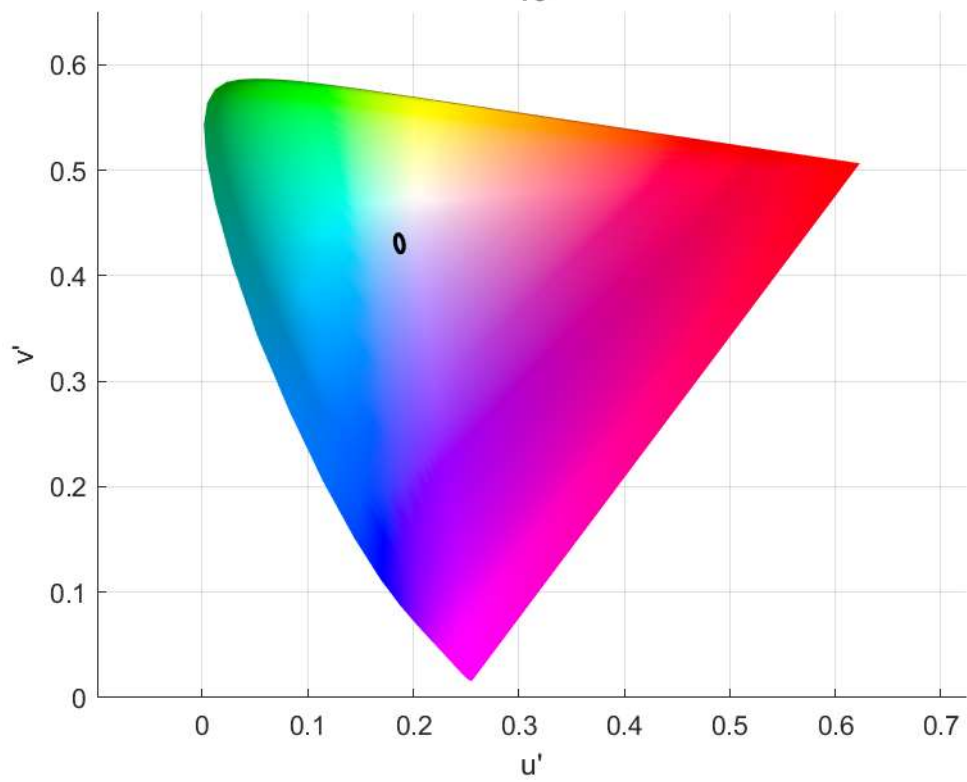
12



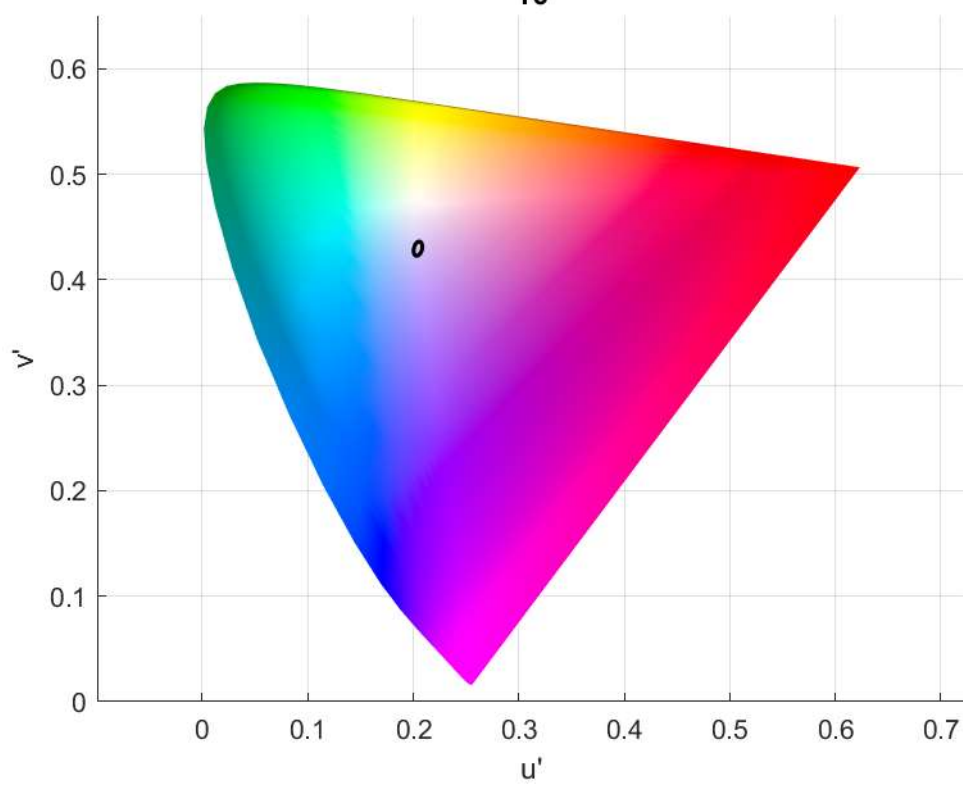
14



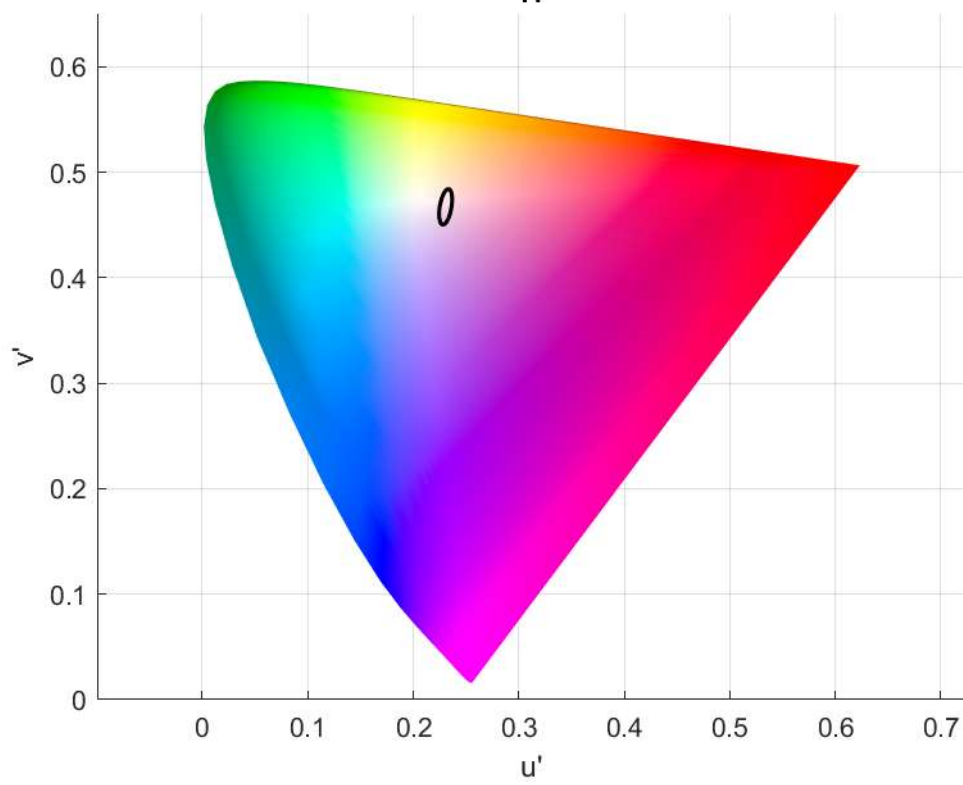
15



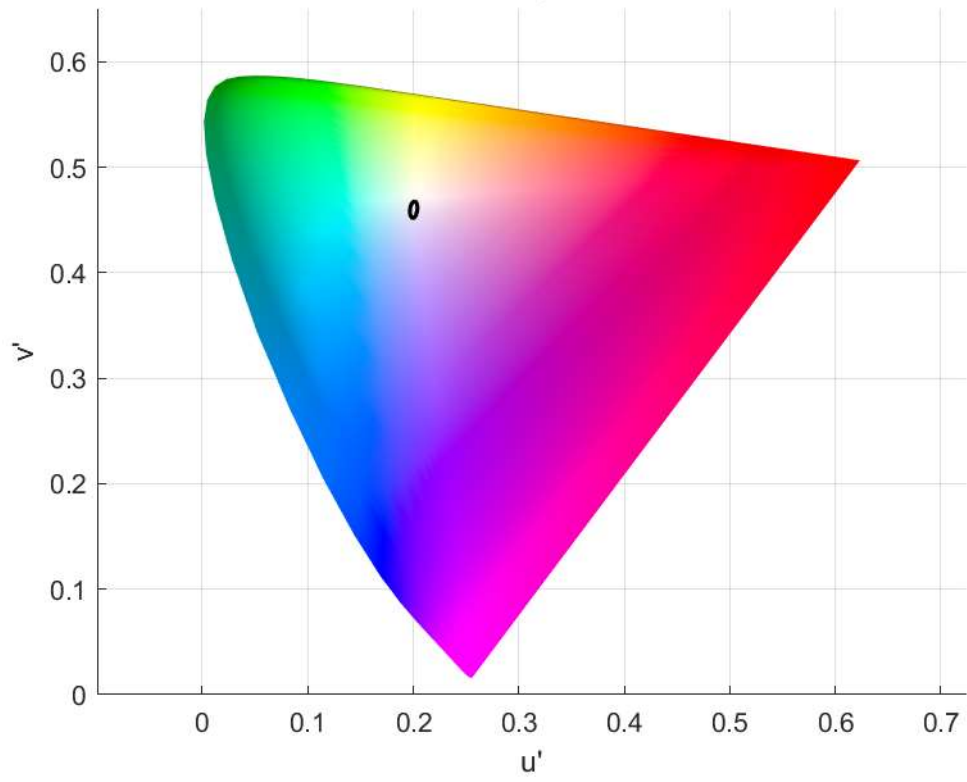
16



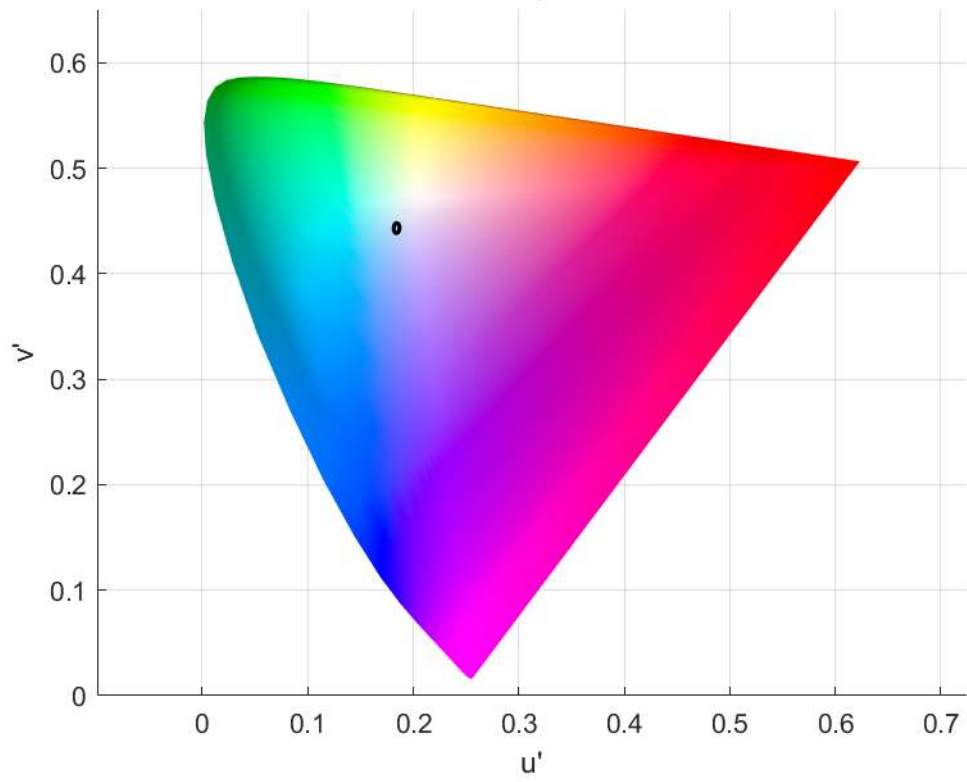
17



18

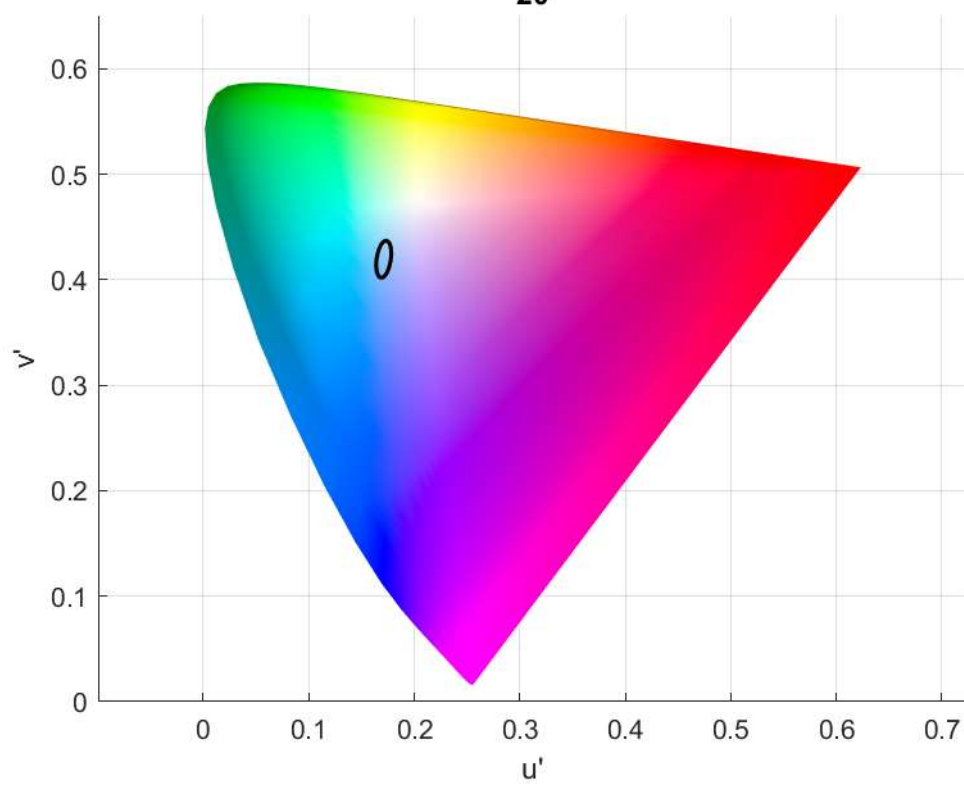


19

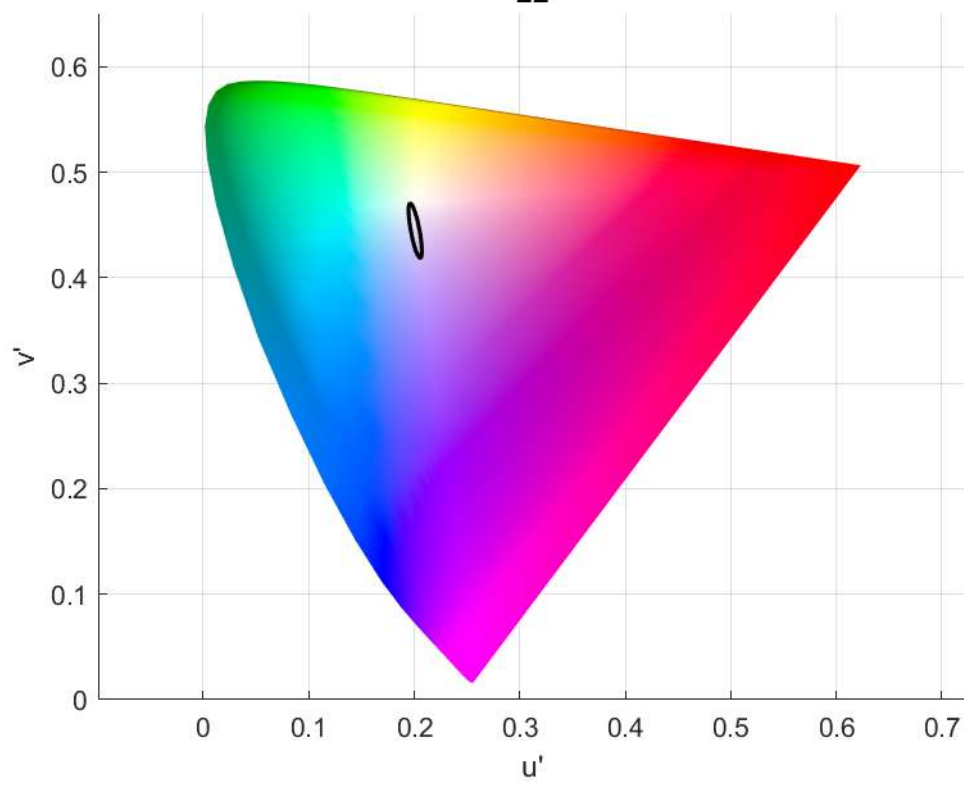


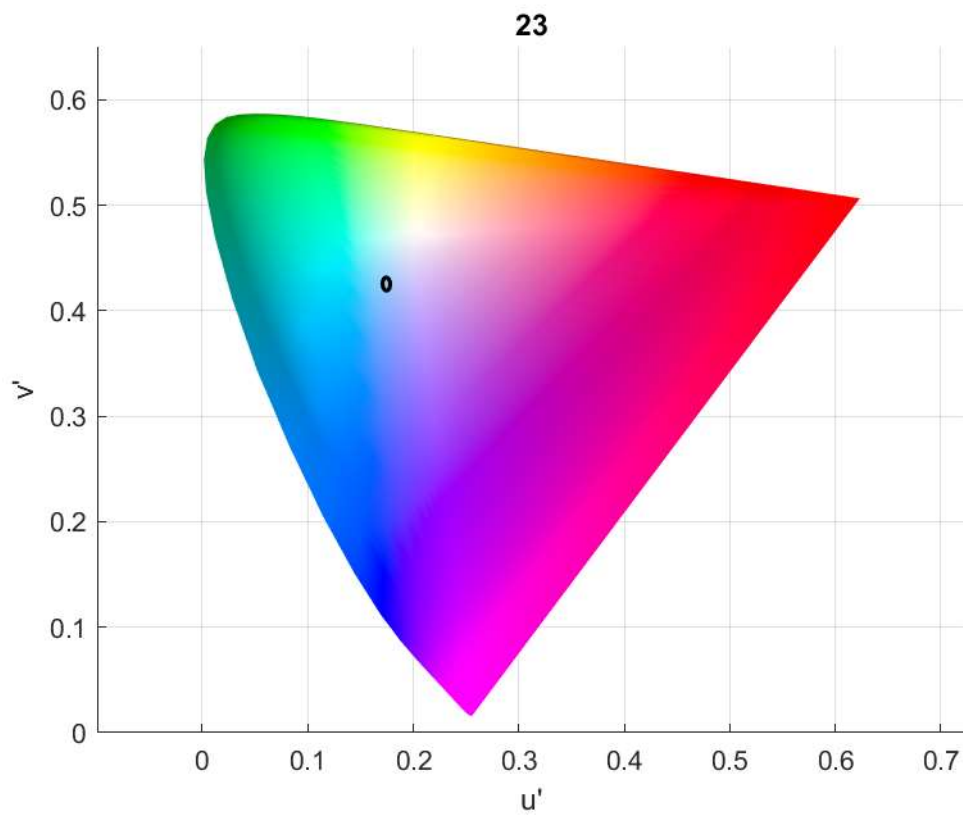
41

20

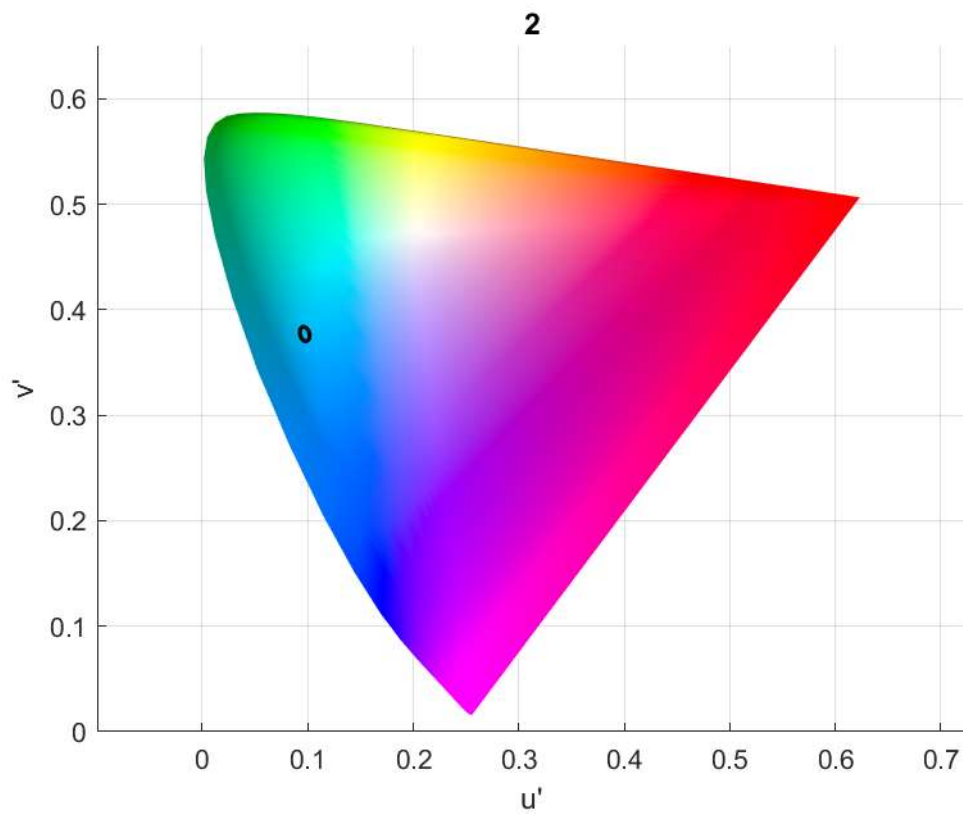
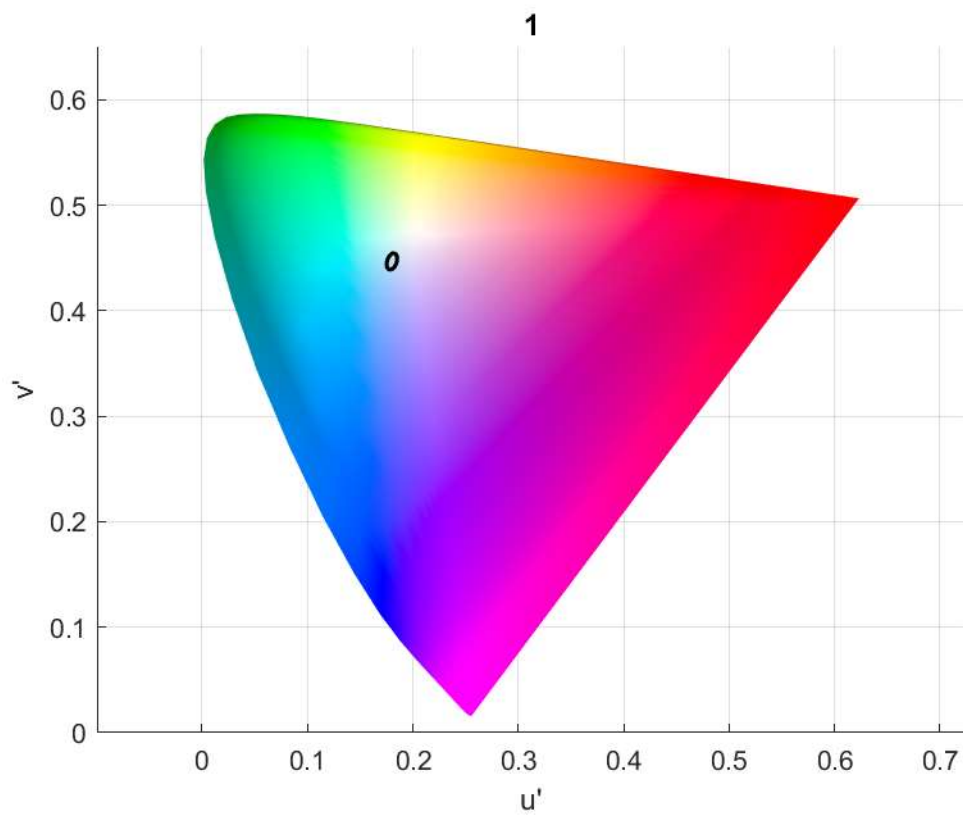


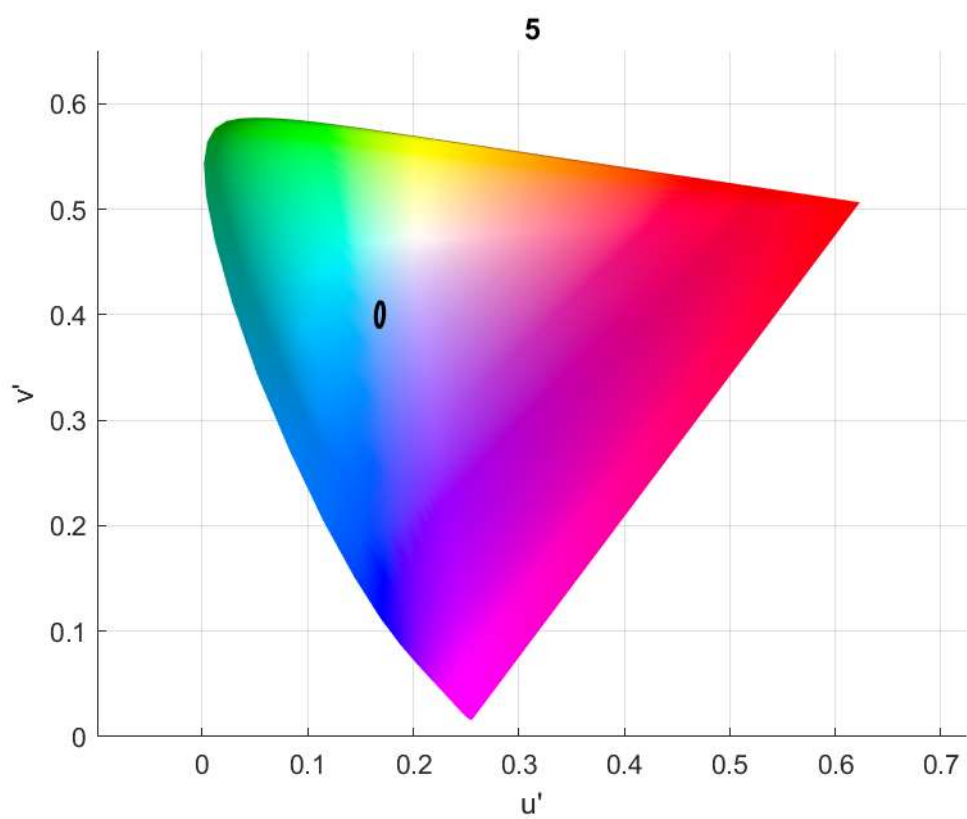
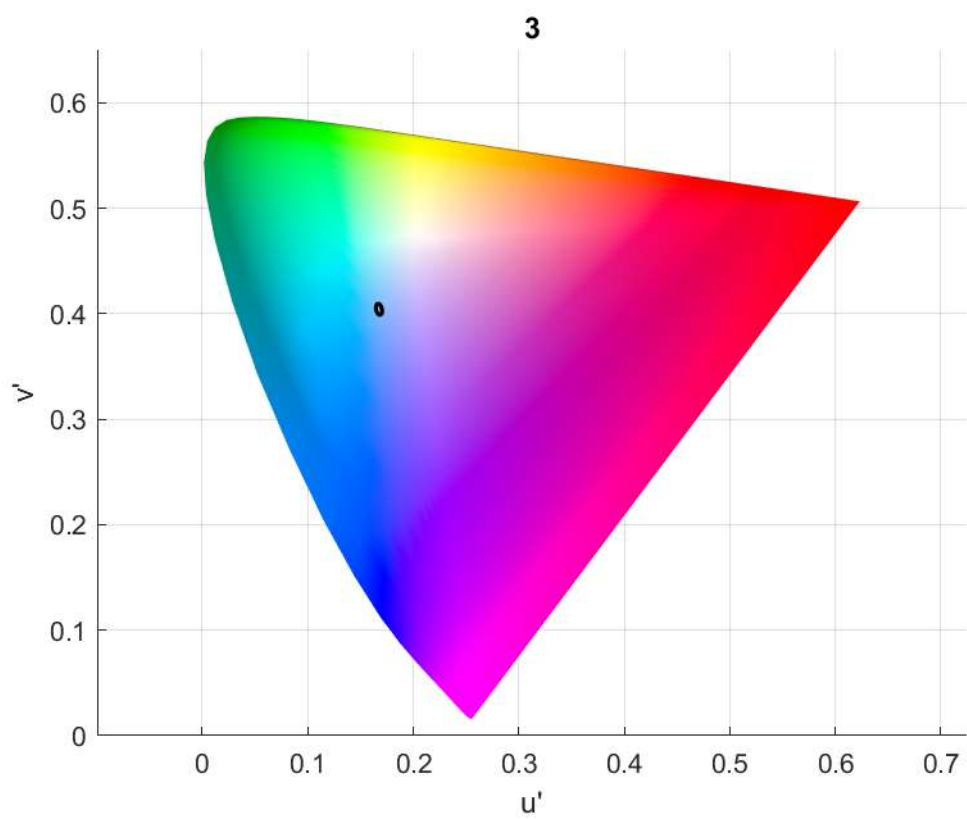
22

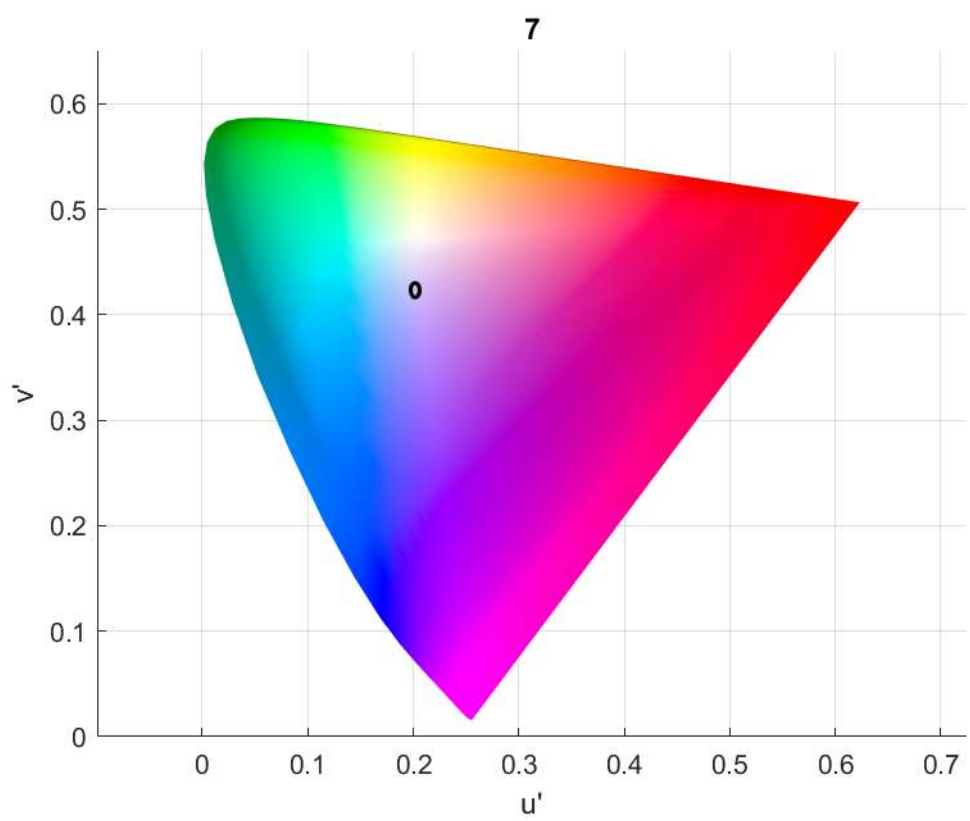
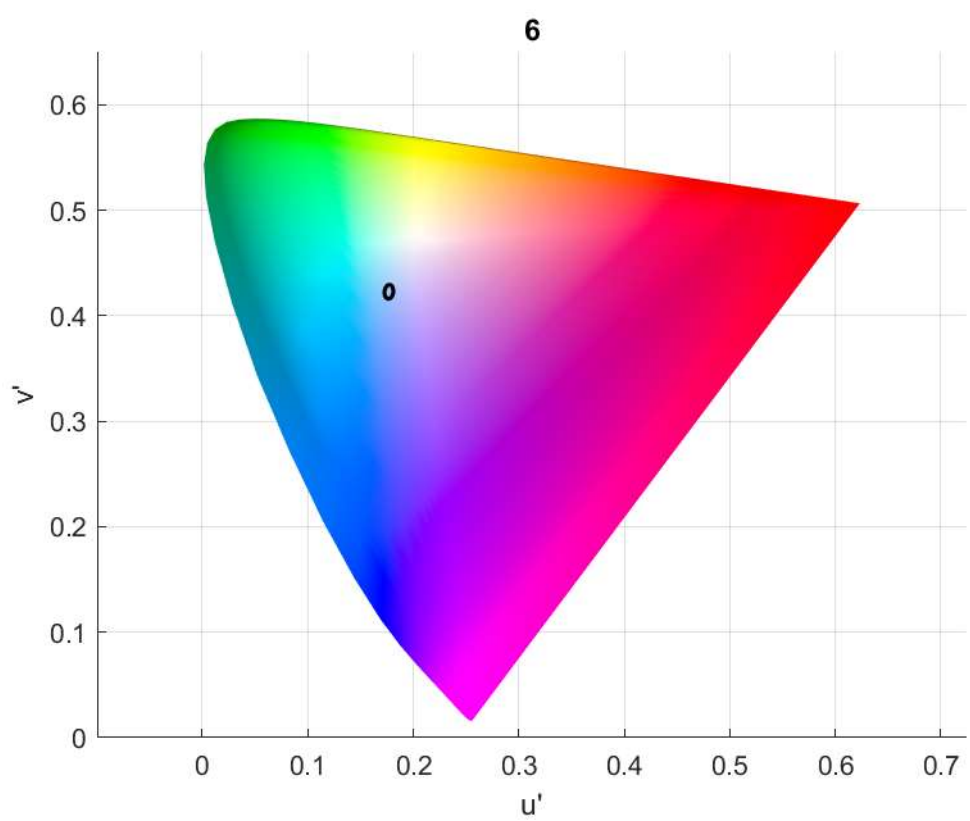


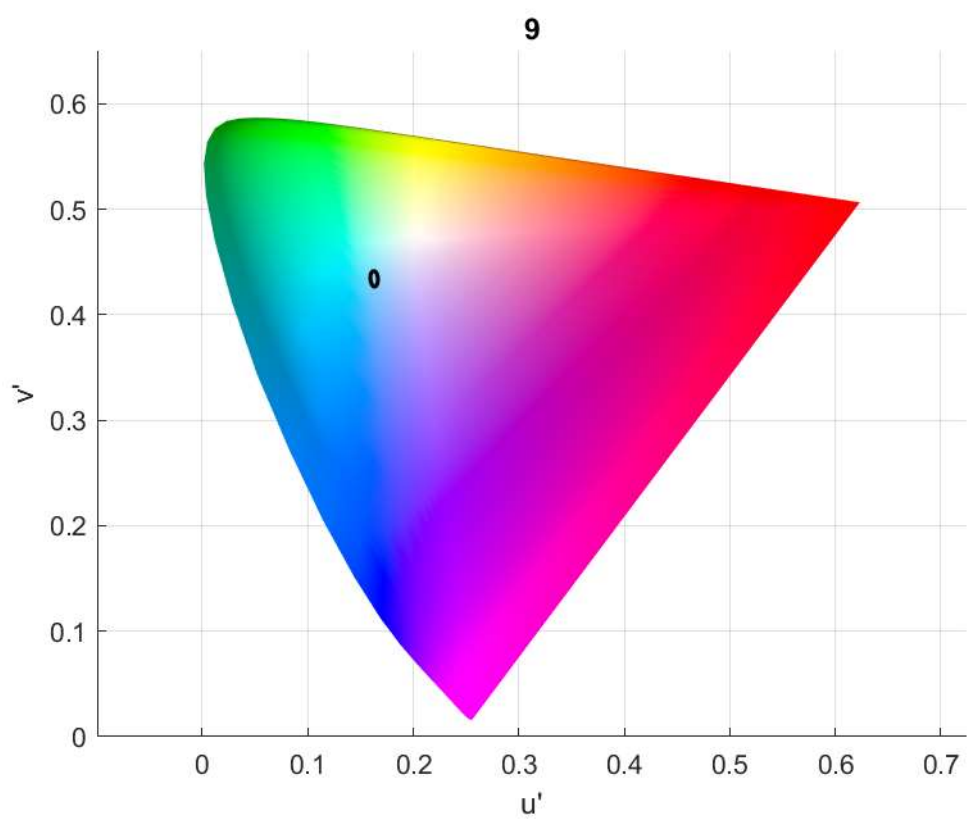
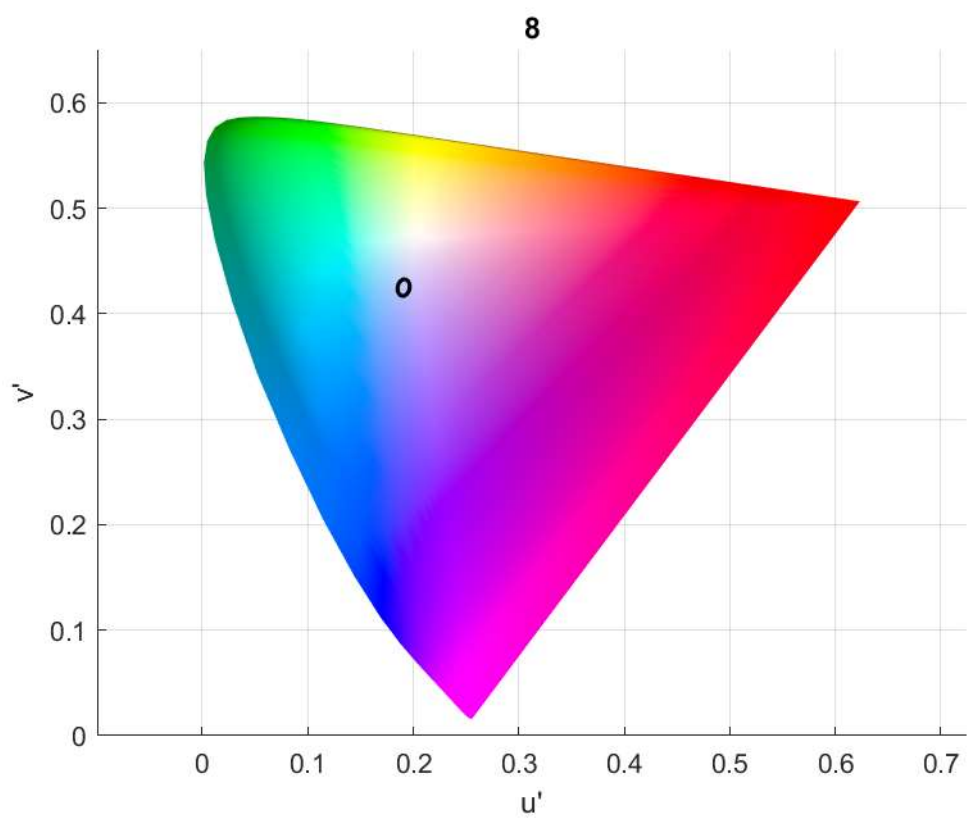


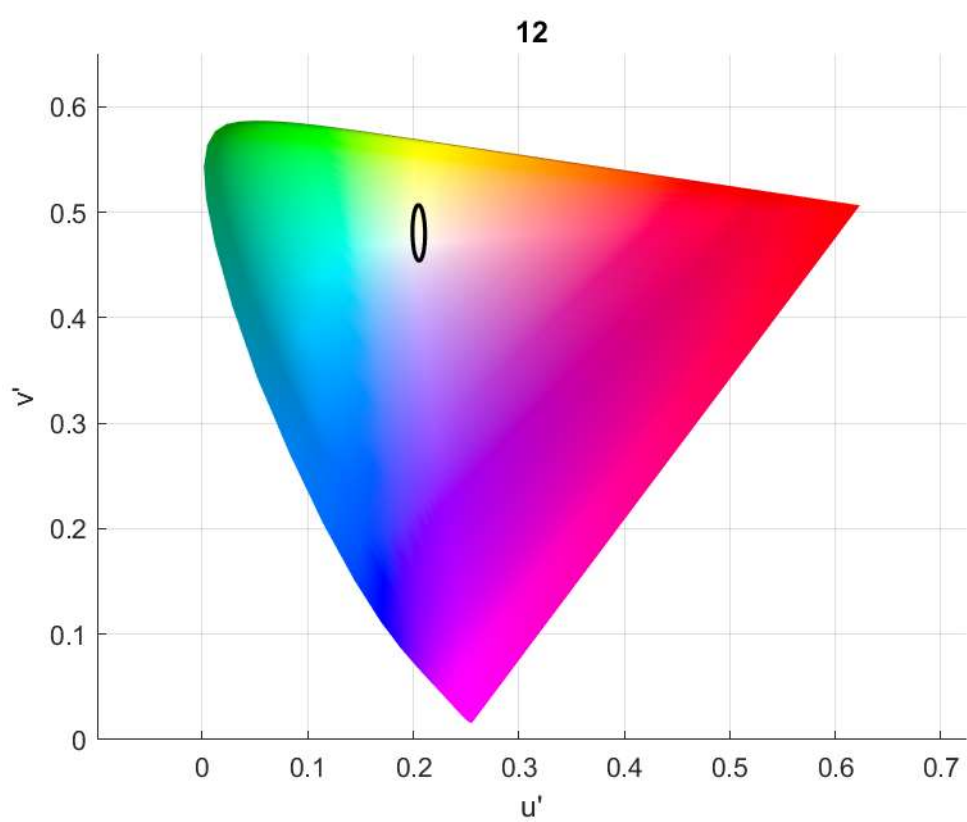
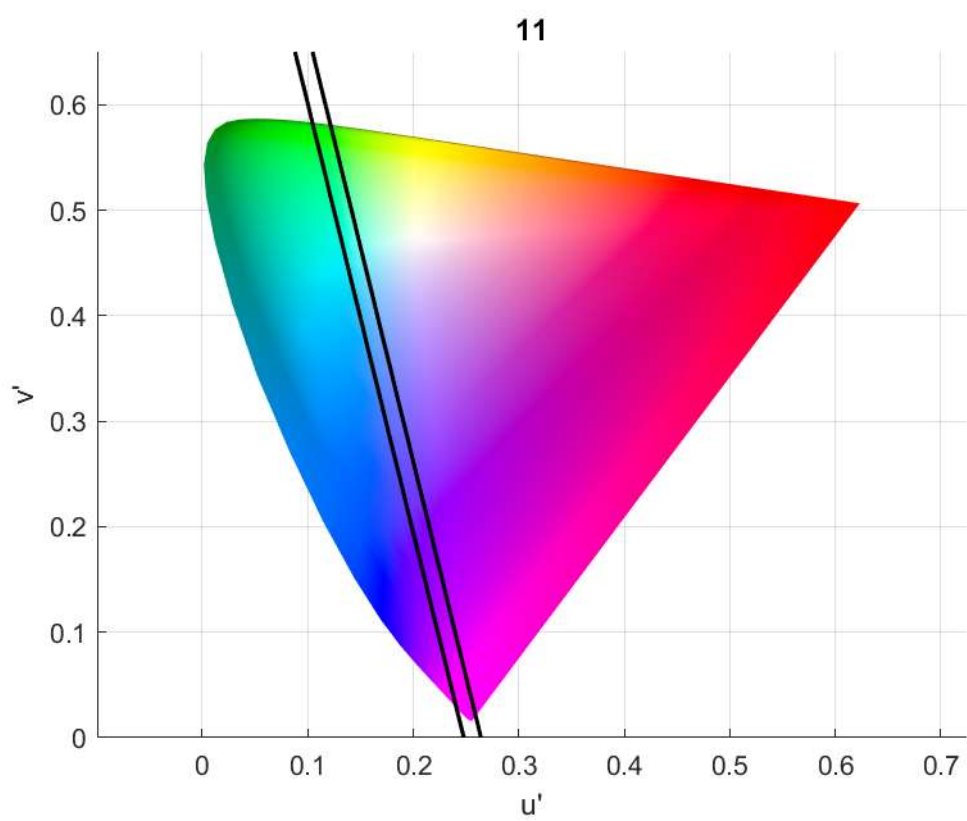
8.3. Ellipszis tesztek zöld háttérvilágítás esetén.



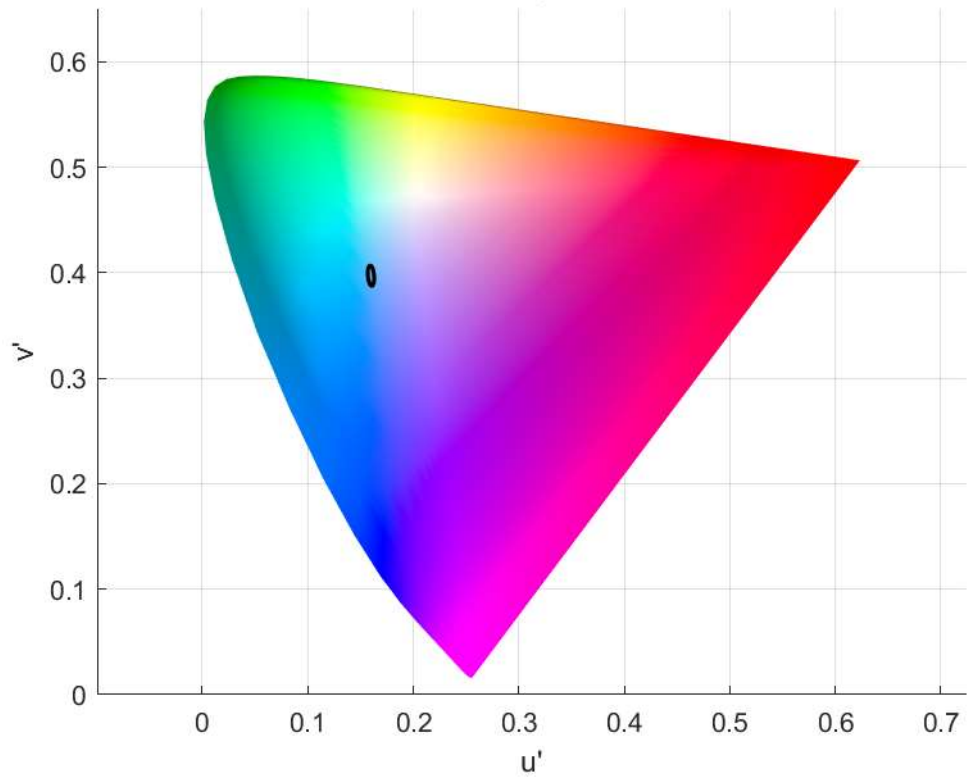




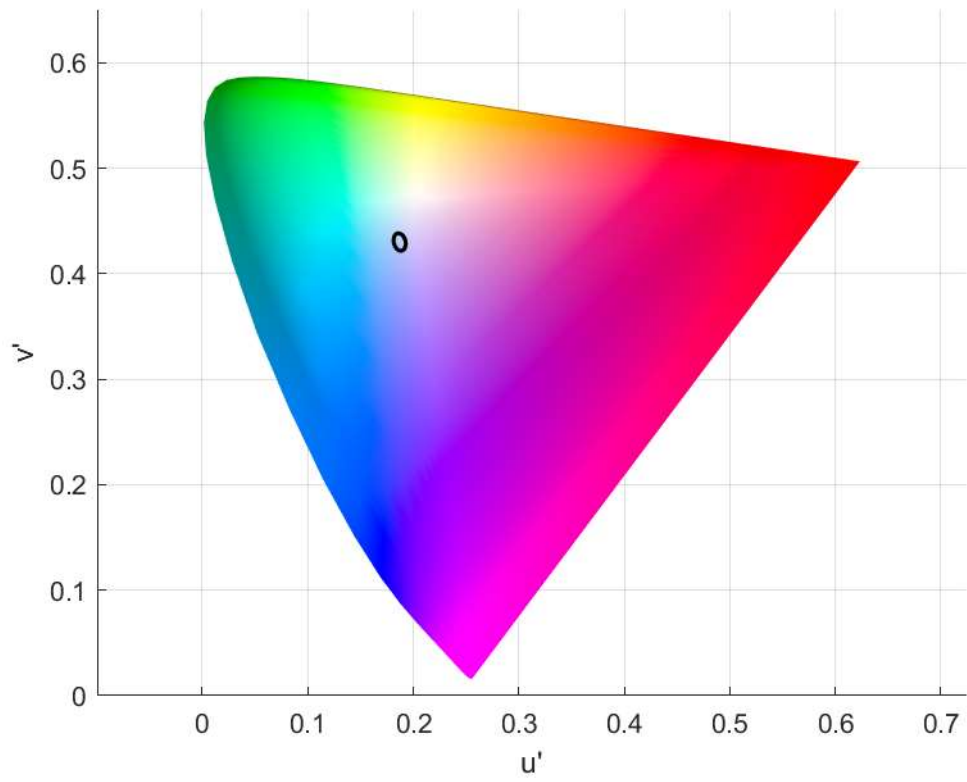




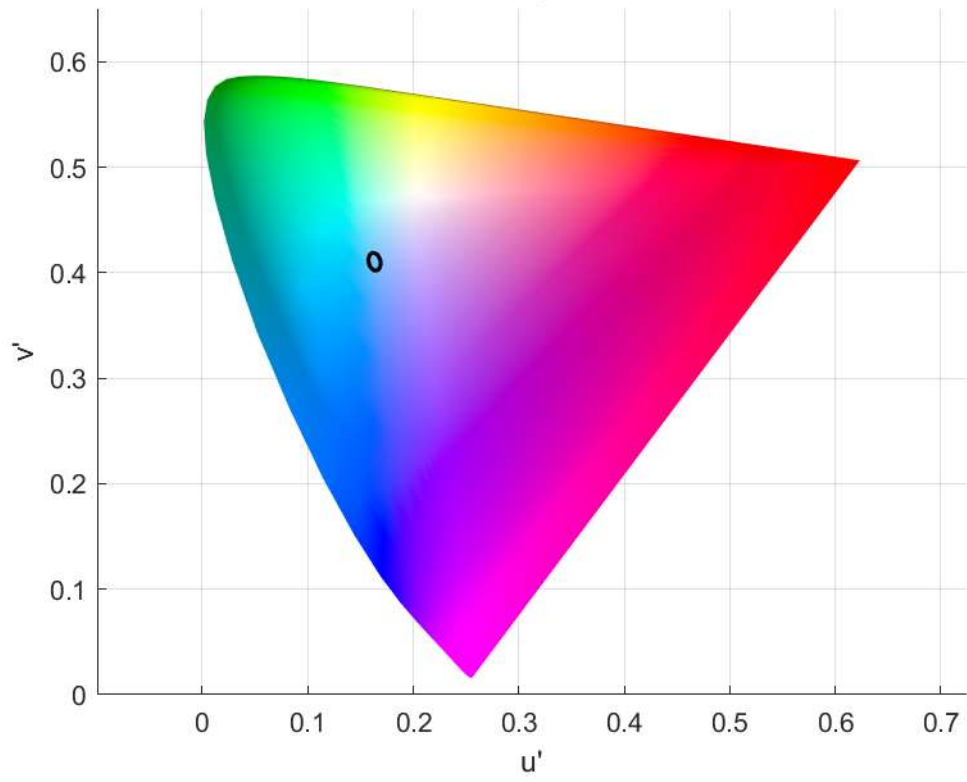
13



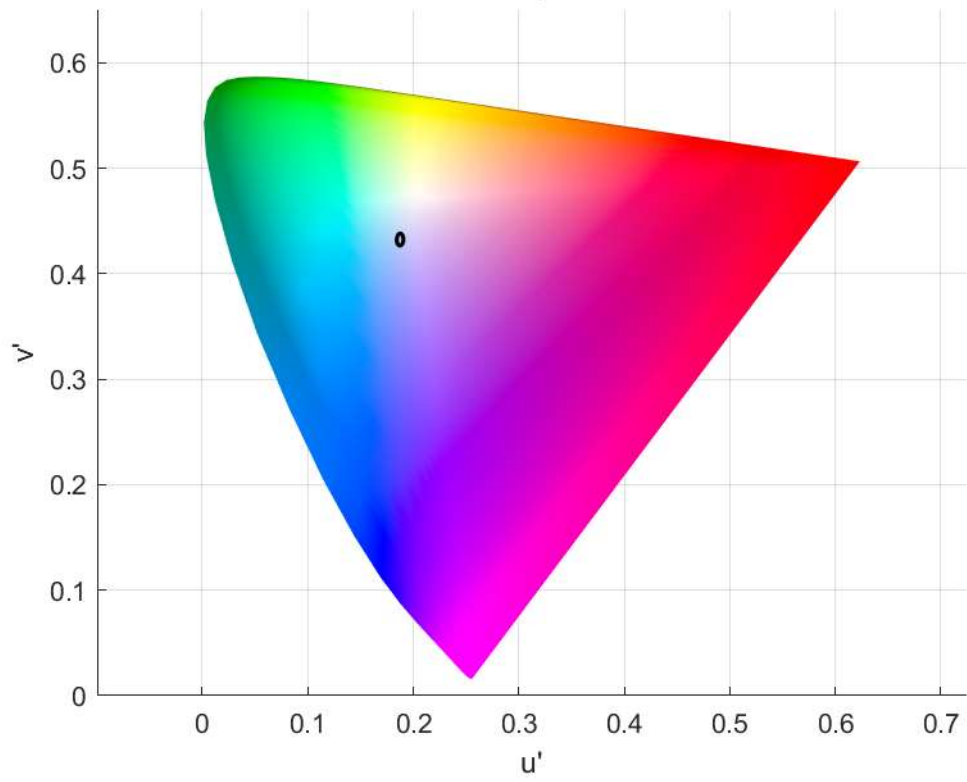
14



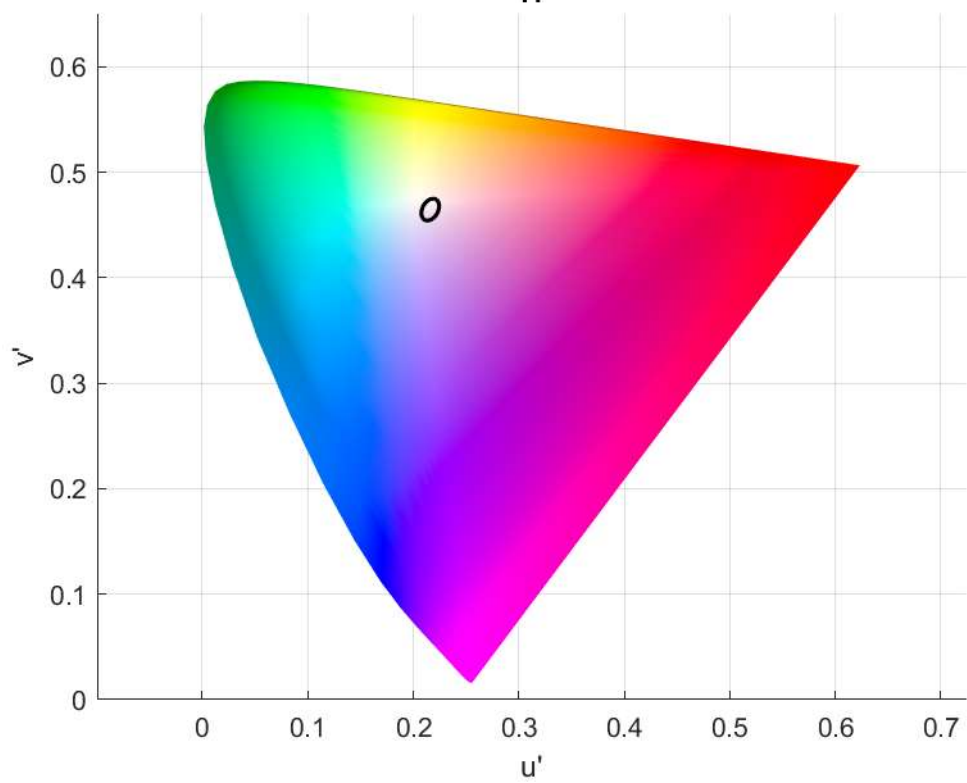
15



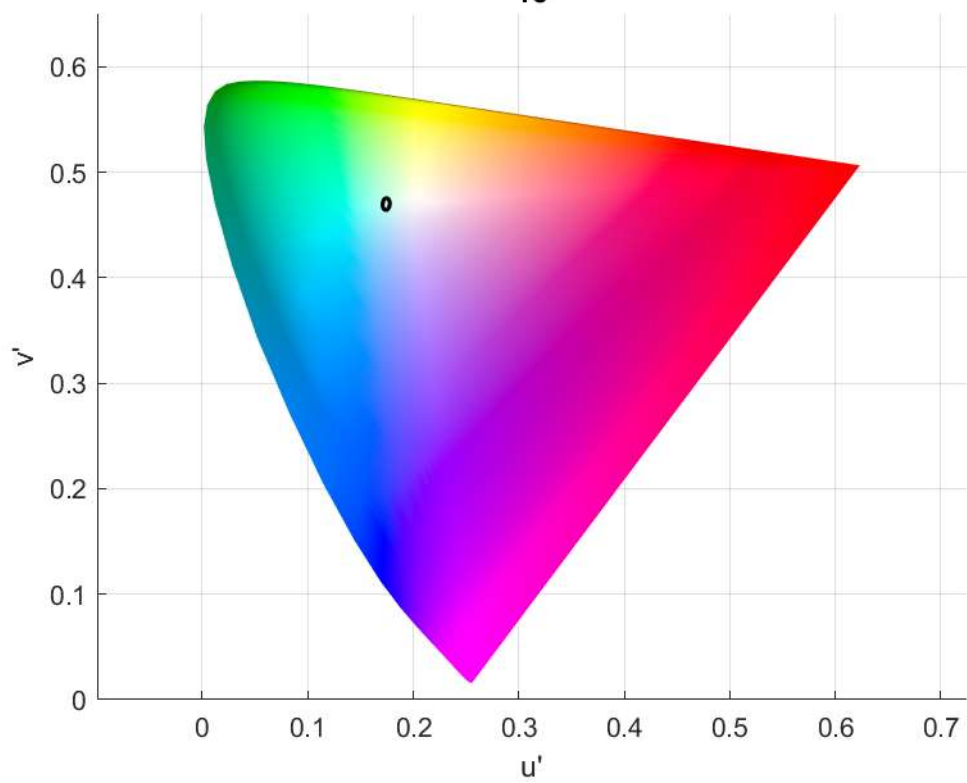
16



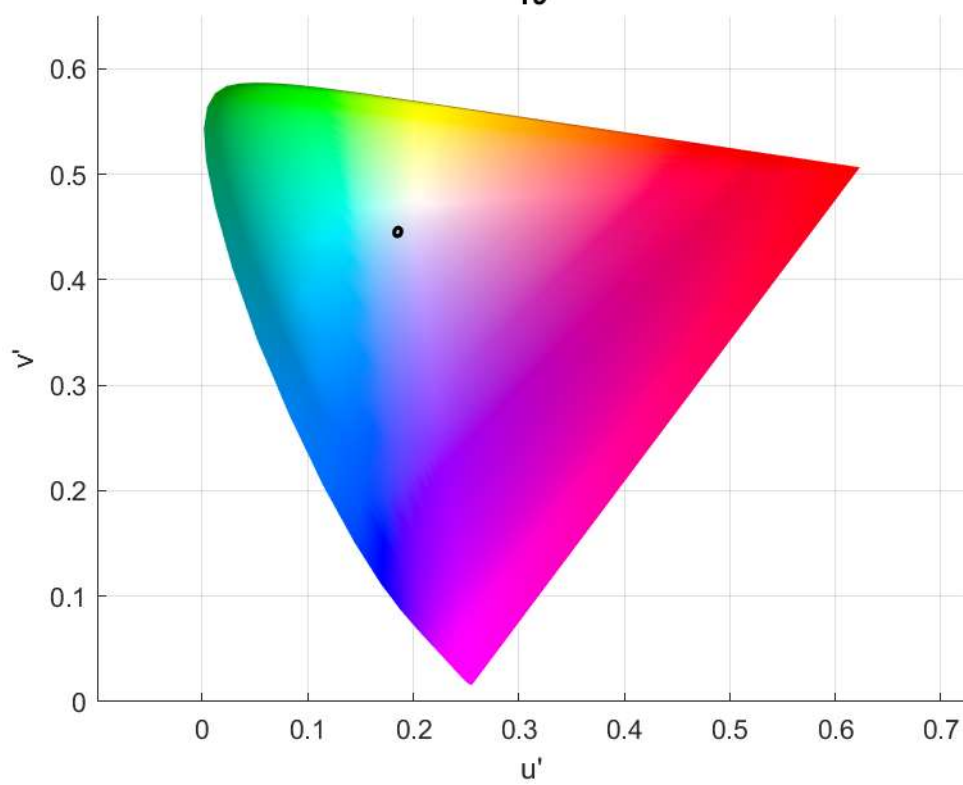
17



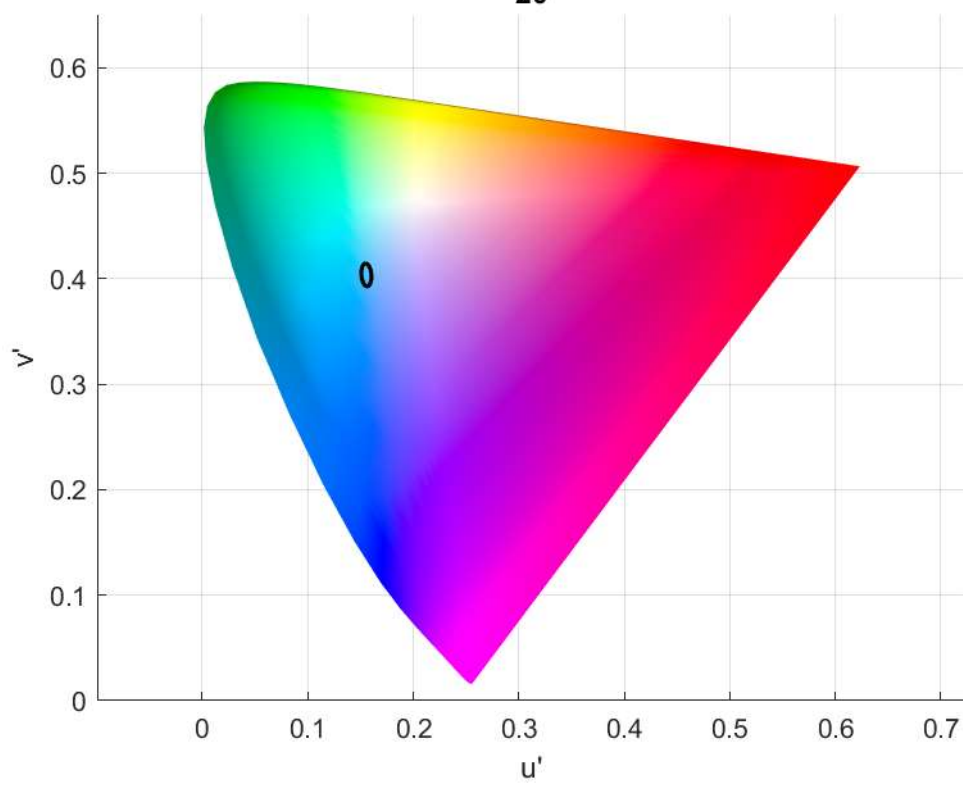
18

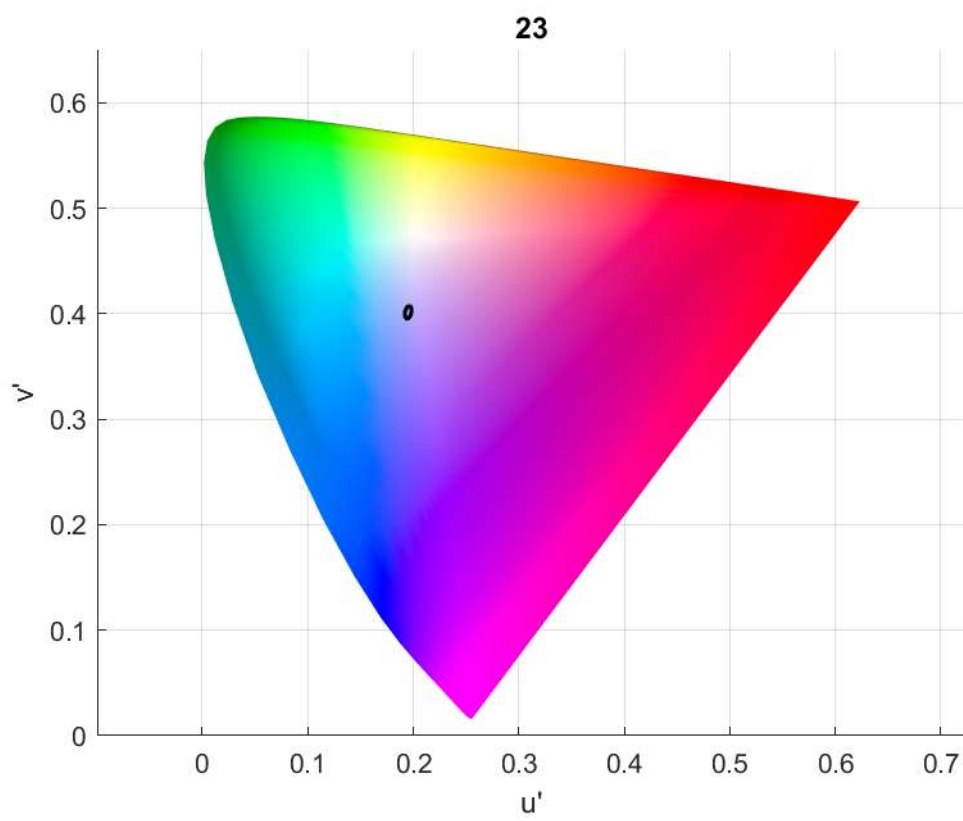


19



20





8.4. Kabin LED csatornák radiancia értékei(Sivadó Domonkos) és $V(\lambda)$ szűrő

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	$V(\lambda)$ $\left[\frac{cd}{W}\right]$
380	0,00000	0,00018	0,00007	0,00000	0,00000	0,0002
381	0,00000	0,00079	0,00001	0,00000	0,00000	0,0002
382	0,00079	0,00021	0,00003	0,00001	0,00001	0,0003
383	0,00051	0,00009	0,00029	0,00012	0,00010	0,0003
384	0,00001	0,00005	0,00018	0,00000	0,00085	0,0003
385	0,00000	0,00000	0,00001	0,00002	0,00010	0,0004
386	0,00004	0,00000	0,00000	0,00000	0,00040	0,0005
387	0,00046	0,00018	0,00020	0,00002	0,00000	0,0005
388	0,00000	0,00009	0,00062	0,00002	0,00019	0,0006
389	0,00000	0,00044	0,00025	0,00015	0,00058	0,0007
390	0,00000	0,00009	0,00008	0,00003	0,00000	0,0008
391	0,00000	0,00022	0,00039	0,00002	0,00015	0,0009
392	0,00000	0,00007	0,00016	0,00007	0,00048	0,0010
393	0,00019	0,00003	0,00063	0,00000	0,00101	0,0012
394	0,00042	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0014
395	0,00023	0,00017	0,00002	0,00001	0,00000	0,0015
396	0,00013	0,00008	0,00004	0,00000	0,00000	0,0018
397	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00068	0,0019
398	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,0022
399	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0025
400	0,00031	0,00007	0,00000	0,00000	0,00000	0,0028
401	0,00000	0,00023	0,00000	0,00000	0,00022	0,0031
402	0,00016	0,00000	0,00000	0,00000	0,00013	0,0035
403	0,00000	0,00035	0,00000	0,00000	0,00000	0,0038
404	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0042
405	0,00000	0,00041	0,00000	0,00000	0,00000	0,0047
406	0,00014	0,00038	0,00000	0,00000	0,00013	0,0051
407	0,00007	0,00089	0,00000	0,00000	0,00015	0,0056
408	0,00026	0,00093	0,00000	0,00012	0,00005	0,0062
409	0,00001	0,00101	0,00000	0,00004	0,00000	0,0068
410	0,00020	0,00157	0,00000	0,00019	0,00000	0,0074
411	0,00012	0,00179	0,00000	0,00031	0,00000	0,0081
412	0,00007	0,00257	0,00000	0,00052	0,00008	0,0090
413	0,00005	0,00248	0,00002	0,00075	0,00000	0,0098
414	0,00011	0,00285	0,00019	0,00093	0,00000	0,0108

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
415	0,00000	0,00281	0,00079	0,00133	0,00000	0,0118
416	0,00001	0,00328	0,00094	0,00169	0,00023	0,0128
417	0,00005	0,00377	0,00160	0,00222	0,00023	0,0140
418	0,00010	0,00384	0,00249	0,00287	0,00000	0,0151
419	0,00014	0,00370	0,00290	0,00364	0,00000	0,0163
420	0,00005	0,00419	0,00422	0,00432	0,00000	0,0175
421	0,00007	0,00424	0,00564	0,00529	0,00000	0,0186
422	0,00023	0,00423	0,00737	0,00651	0,00000	0,0196
423	0,00000	0,00468	0,00944	0,00769	0,00029	0,0207
424	0,00000	0,00478	0,01186	0,00904	0,00008	0,0217
425	0,00016	0,00497	0,01480	0,01049	0,00007	0,0227
426	0,00005	0,00451	0,01843	0,01228	0,00029	0,0236
427	0,00000	0,00485	0,02269	0,01423	0,00000	0,0246
428	0,00000	0,00485	0,02741	0,01632	0,00000	0,0255
429	0,00006	0,00485	0,03322	0,01868	0,00000	0,0264
430	0,00000	0,00491	0,04013	0,02118	0,00003	0,0273
431	0,00001	0,00481	0,04802	0,02415	0,00007	0,0283
432	0,00006	0,00475	0,05683	0,02715	0,00006	0,0294
433	0,00032	0,00475	0,06737	0,03069	0,00000	0,0304
434	0,00000	0,00481	0,08004	0,03474	0,00000	0,0315
435	0,00000	0,00470	0,09328	0,03912	0,00000	0,0326
436	0,00004	0,00470	0,10883	0,04418	0,00000	0,0337
437	0,00000	0,00482	0,12726	0,04991	0,00000	0,0347
438	0,00000	0,00463	0,14799	0,05632	0,00000	0,0358
439	0,00007	0,00455	0,17159	0,06408	0,00003	0,0369
440	0,00002	0,00455	0,19808	0,07251	0,00015	0,0379
441	0,00032	0,00466	0,22745	0,08195	0,00000	0,0388
442	0,00007	0,00464	0,26142	0,09207	0,00003	0,0398
443	0,00000	0,00469	0,30058	0,10354	0,00004	0,0406
444	0,00008	0,00459	0,34492	0,11534	0,00000	0,0415
445	0,00000	0,00476	0,39501	0,12714	0,00004	0,0424
446	0,00005	0,00493	0,45374	0,13861	0,00026	0,0433
447	0,00005	0,00509	0,51824	0,14906	0,00000	0,0441
448	0,00000	0,00519	0,58733	0,15817	0,00006	0,0450
449	0,00002	0,00529	0,66795	0,16525	0,00029	0,0459
450	0,00017	0,00524	0,75432	0,16997	0,00013	0,0468
451	0,00000	0,00554	0,84645	0,17132	0,00008	0,0477

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	$V(\lambda)$ $\left[\frac{cd}{W}\right]$
452	0,00000	0,00569	0,93858	0,16997	0,00019	0,0487
453	0,00000	0,00584	1,03071	0,16626	0,00001	0,0498
454	0,00000	0,00613	1,12285	0,15986	0,00040	0,0509
455	0,00024	0,00628	1,20346	0,15244	0,00036	0,0521
456	0,00020	0,00683	1,27256	0,14333	0,00000	0,0534
457	0,00000	0,00683	1,32438	0,13389	0,00017	0,0549
458	0,00013	0,00728	1,35893	0,12478	0,00000	0,0564
459	0,00026	0,00768	1,37621	0,11635	0,00016	0,0581
460	0,00003	0,00818	1,37045	0,10826	0,00003	0,0600
461	0,00009	0,00863	1,34741	0,10151	0,00028	0,0626
462	0,00009	0,00923	1,30135	0,09578	0,00028	0,0653
463	0,00019	0,00973	1,24953	0,09038	0,00014	0,0680
464	0,00003	0,01072	1,18043	0,08600	0,00003	0,0709
465	0,00000	0,01152	1,11133	0,08195	0,00001	0,0739
466	0,00000	0,01222	1,04223	0,07858	0,00006	0,0770
467	0,00007	0,01327	0,96737	0,07487	0,00000	0,0803
468	0,00012	0,01426	0,89252	0,07116	0,00000	0,0837
469	0,00000	0,01596	0,82342	0,06779	0,00001	0,0872
470	0,00001	0,01716	0,76584	0,06475	0,00010	0,0910
471	0,00000	0,01880	0,70826	0,06172	0,00000	0,0949
472	0,00000	0,02045	0,66219	0,05868	0,00004	0,0990
473	0,00007	0,02289	0,61037	0,05565	0,00001	0,1034
474	0,00000	0,02484	0,56718	0,05295	0,00004	0,1079
475	0,00000	0,02753	0,52515	0,05059	0,00001	0,1126
476	0,00000	0,03047	0,48714	0,04890	0,00001	0,1175
477	0,00006	0,03357	0,44971	0,04721	0,00000	0,1227
478	0,00000	0,03686	0,41401	0,04587	0,00000	0,1280
479	0,00000	0,04095	0,38004	0,04485	0,00000	0,1335
480	0,00000	0,04534	0,34837	0,04418	0,00000	0,1390
481	0,00005	0,05038	0,31785	0,04350	0,00000	0,1447
482	0,00001	0,05636	0,28964	0,04317	0,00034	0,1505
483	0,00000	0,06185	0,26315	0,04317	0,00015	0,1565
484	0,00000	0,06883	0,23896	0,04317	0,00002	0,1627
485	0,00000	0,07681	0,21766	0,04350	0,00002	0,1693
486	0,00003	0,08529	0,19751	0,04418	0,00019	0,1762
487	0,00000	0,09477	0,18023	0,04485	0,00000	0,1836
488	0,00000	0,10524	0,16411	0,04553	0,00004	0,1913

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
489	0,00004	0,11671	0,14971	0,04654	0,00002	0,1994
490	0,00003	0,12918	0,13704	0,04789	0,00000	0,2080
491	0,00005	0,14265	0,12553	0,04958	0,00003	0,2171
492	0,00001	0,15811	0,11459	0,05126	0,00000	0,2267
493	0,00005	0,17507	0,10480	0,05362	0,00000	0,2369
494	0,00000	0,19402	0,09616	0,05598	0,00000	0,2475
495	0,00010	0,21347	0,08810	0,05868	0,00000	0,2586
496	0,00000	0,23492	0,08004	0,06138	0,00000	0,2702
497	0,00014	0,25936	0,07370	0,06475	0,00000	0,2823
498	0,00001	0,28480	0,06679	0,06812	0,00004	0,2951
499	0,00000	0,31223	0,06104	0,07183	0,00004	0,3086
500	0,00004	0,34215	0,05557	0,07588	0,00003	0,3230
501	0,00000	0,37358	0,05079	0,07993	0,00000	0,3384
502	0,00001	0,40749	0,04624	0,08397	0,00005	0,3547
503	0,00002	0,44340	0,04221	0,08836	0,00010	0,3717
504	0,00006	0,48131	0,03852	0,09274	0,00000	0,3893
505	0,00013	0,51872	0,03541	0,09713	0,00000	0,4073
506	0,00001	0,56361	0,03196	0,10151	0,00000	0,4256
507	0,00012	0,60849	0,02931	0,10623	0,00000	0,4443
508	0,00000	0,65338	0,02712	0,11095	0,00000	0,4634
509	0,00000	0,69827	0,02482	0,11568	0,00000	0,4829
510	0,00005	0,74815	0,02274	0,12073	0,00006	0,5030
511	0,00009	0,79803	0,02090	0,12546	0,00000	0,5236
512	0,00000	0,84291	0,01917	0,12984	0,00000	0,5445
513	0,00000	0,88780	0,01779	0,13456	0,00007	0,5657
514	0,00000	0,93768	0,01630	0,13928	0,00003	0,5870
515	0,00000	0,97758	0,01497	0,14400	0,00000	0,6082
516	0,00001	1,02247	0,01388	0,14873	0,00014	0,6293
517	0,00003	1,05738	0,01278	0,15311	0,00003	0,6503
518	0,00000	1,09230	0,01180	0,15749	0,00004	0,6709
519	0,00000	1,12222	0,01100	0,16188	0,00000	0,6908
520	0,00000	1,14716	0,01025	0,16626	0,00001	0,7100
521	0,00000	1,16711	0,00939	0,17065	0,00000	0,7282
522	0,00000	1,17709	0,00875	0,17469	0,00000	0,7455
523	0,00000	1,18706	0,00818	0,17874	0,00008	0,7620
524	0,00000	1,18208	0,00760	0,18279	0,00004	0,7778
525	0,00000	1,17709	0,00697	0,18684	0,00000	0,7932

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
526	0,00000	1,16711	0,00656	0,19088	0,00031	0,8081
527	0,00000	1,14716	0,00616	0,19459	0,00029	0,8225
528	0,00000	1,12721	0,00574	0,19830	0,00000	0,8363
529	0,00000	1,09729	0,00545	0,20167	0,00012	0,8495
530	0,00000	1,06736	0,00523	0,20538	0,00033	0,8620
531	0,00000	1,03245	0,00470	0,20876	0,00012	0,8738
532	0,00000	0,99254	0,00453	0,21213	0,00034	0,8850
533	0,00003	0,95264	0,00425	0,21550	0,00023	0,8955
534	0,00002	0,91274	0,00406	0,21921	0,00048	0,9054
535	0,00000	0,87284	0,00384	0,22225	0,00077	0,9149
536	0,00007	0,83294	0,00368	0,22562	0,00074	0,9237
537	0,00003	0,79304	0,00354	0,22899	0,00098	0,9321
538	0,00008	0,75314	0,00330	0,23236	0,00114	0,9399
539	0,00001	0,71324	0,00318	0,23540	0,00103	0,9472
540	0,00000	0,67832	0,00307	0,23843	0,00158	0,9540
541	0,00012	0,64341	0,00293	0,24147	0,00197	0,9603
542	0,00011	0,60849	0,00278	0,24450	0,00237	0,9660
543	0,00007	0,57358	0,00267	0,24754	0,00255	0,9713
544	0,00000	0,54365	0,00255	0,25024	0,00305	0,9760
545	0,00005	0,51373	0,00252	0,25327	0,00362	0,9803
546	0,00000	0,48480	0,00242	0,25631	0,00370	0,9841
547	0,00022	0,45737	0,00225	0,25934	0,00471	0,9874
548	0,00003	0,43143	0,00217	0,26238	0,00537	0,9903
549	0,00004	0,40649	0,00220	0,26541	0,00650	0,9928
550	0,00003	0,38255	0,00208	0,26845	0,00749	0,9950
551	0,00013	0,35911	0,00201	0,27148	0,00853	0,9967
552	0,00006	0,33766	0,00193	0,27452	0,00999	0,9981
553	0,00002	0,31672	0,00185	0,27755	0,01169	0,9991
554	0,00006	0,29677	0,00186	0,28059	0,01338	0,9997
555	0,00018	0,27831	0,00186	0,28363	0,01517	1,0000
556	0,00025	0,26036	0,00170	0,28666	0,01786	0,9999
557	0,00001	0,24390	0,00175	0,28970	0,02050	0,9993
558	0,00006	0,22794	0,00162	0,29273	0,02356	0,9983
559	0,00018	0,21297	0,00161	0,29610	0,02719	0,9969
560	0,00011	0,19901	0,00165	0,29914	0,03157	0,9950
561	0,00018	0,18554	0,00155	0,30217	0,03629	0,9926
562	0,00014	0,17307	0,00156	0,30521	0,04189	0,9897

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	$V(\lambda)$ $\left[\frac{cd}{W}\right]$
563	0,00023	0,16160	0,00164	0,30824	0,04807	0,9864
564	0,00019	0,15113	0,00157	0,31094	0,05466	0,9827
565	0,00025	0,14115	0,00149	0,31398	0,06268	0,9786
566	0,00030	0,13217	0,00145	0,31701	0,07210	0,9741
567	0,00019	0,12369	0,00138	0,32005	0,08200	0,9692
568	0,00010	0,11571	0,00138	0,32308	0,09378	0,9639
569	0,00028	0,10823	0,00127	0,32578	0,10697	0,9581
570	0,00028	0,10125	0,00130	0,32848	0,12252	0,9520
571	0,00034	0,09477	0,00119	0,33151	0,13996	0,9455
572	0,00028	0,08878	0,00126	0,33421	0,15975	0,9385
573	0,00043	0,08280	0,00128	0,33725	0,18284	0,9312
574	0,00040	0,07781	0,00115	0,34062	0,20923	0,9235
575	0,00022	0,07232	0,00124	0,34399	0,23939	0,9154
576	0,00040	0,06783	0,00112	0,34399	0,27427	0,9070
577	0,00029	0,06334	0,00113	0,34737	0,31338	0,8983
578	0,00041	0,05935	0,00123	0,35074	0,35862	0,8892
579	0,00048	0,05486	0,00108	0,35411	0,40951	0,8798
580	0,00039	0,05137	0,00098	0,35411	0,46842	0,8700
581	0,00049	0,04798	0,00102	0,35748	0,53251	0,8599
582	0,00048	0,04484	0,00121	0,36086	0,60791	0,8494
583	0,00044	0,04190	0,00103	0,36086	0,68802	0,8386
584	0,00043	0,03910	0,00104	0,36423	0,77756	0,8276
585	0,00049	0,03651	0,00105	0,36423	0,88594	0,8163
586	0,00062	0,03417	0,00105	0,36760	0,99904	0,8048
587	0,00056	0,03207	0,00104	0,36760	1,13099	0,7931
588	0,00086	0,02978	0,00096	0,37097	1,28179	0,7812
589	0,00126	0,02773	0,00094	0,37097	1,44201	0,7692
590	0,00227	0,02609	0,00090	0,37434	1,62580	0,7570
591	0,00287	0,02439	0,00089	0,37434	1,82372	0,7448
592	0,00499	0,02274	0,00089	0,37434	2,02636	0,7324
593	0,00795	0,02135	0,00091	0,37772	2,22428	0,7200
594	0,01263	0,01985	0,00085	0,37772	2,39865	0,7075
595	0,01784	0,01860	0,00083	0,37772	2,52588	0,6949
596	0,02549	0,01746	0,00083	0,37772	2,58243	0,6822
597	0,03542	0,01651	0,00085	0,38109	2,55887	0,6695
598	0,04752	0,01551	0,00090	0,38109	2,45048	0,6567
599	0,06091	0,01456	0,00101	0,38109	2,27141	0,6438

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
600	0,07667	0,01352	0,00076	0,38109	2,04050	0,6310
601	0,09481	0,01272	0,00086	0,38109	1,78131	0,6182
602	0,11468	0,01202	0,00092	0,38109	1,52213	0,6053
603	0,13607	0,01112	0,00077	0,37772	1,28179	0,5925
604	0,16004	0,01037	0,00080	0,37772	1,06502	0,5796
605	0,18682	0,00978	0,00080	0,37772	0,88123	0,5668
606	0,21555	0,00933	0,00069	0,37772	0,73043	0,5540
607	0,24837	0,00863	0,00070	0,37434	0,60320	0,5411
608	0,28293	0,00838	0,00075	0,37434	0,50423	0,5284
609	0,32397	0,00773	0,00069	0,37434	0,41658	0,5156
610	0,36932	0,00723	0,00062	0,37097	0,34495	0,5030
611	0,41900	0,00693	0,00062	0,37097	0,28463	0,4905
612	0,47515	0,00653	0,00072	0,36760	0,23609	0,4780
613	0,53778	0,00613	0,00058	0,36760	0,19745	0,4657
614	0,60690	0,00579	0,00063	0,36423	0,16541	0,4534
615	0,68249	0,00534	0,00064	0,36423	0,14043	0,4412
616	0,76456	0,00504	0,00064	0,36086	0,11923	0,4291
617	0,85527	0,00474	0,00062	0,35748	0,10179	0,4170
618	0,95246	0,00441	0,00063	0,35748	0,08718	0,4050
619	1,05613	0,00421	0,00059	0,35411	0,07493	0,3930
620	1,17060	0,00400	0,00078	0,35074	0,06456	0,3810
621	1,29371	0,00378	0,00073	0,34737	0,05608	0,3689
622	1,42761	0,00368	0,00066	0,34737	0,04854	0,3568
623	1,56800	0,00338	0,00063	0,34399	0,04166	0,3448
624	1,71270	0,00320	0,00063	0,34062	0,03610	0,3328
625	1,84877	0,00331	0,00063	0,33725	0,03139	0,3210
626	1,96756	0,00287	0,00067	0,33388	0,02700	0,3093
627	2,05179	0,00288	0,00062	0,33084	0,02314	0,2979
628	2,07987	0,00278	0,00046	0,32713	0,01951	0,2866
629	2,04315	0,00241	0,00063	0,32342	0,01696	0,2756
630	1,93732	0,00248	0,00057	0,31971	0,01475	0,2650
631	1,77750	0,00227	0,00062	0,31634	0,01282	0,2548
632	1,57664	0,00211	0,00047	0,31263	0,01093	0,2449
633	1,35850	0,00218	0,00055	0,30858	0,00966	0,2353
634	1,14252	0,00192	0,00047	0,30487	0,00877	0,2261
635	0,94598	0,00200	0,00055	0,30082	0,00792	0,2170
636	0,77752	0,00194	0,00056	0,29712	0,00688	0,2082

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
637	0,63713	0,00192	0,00043	0,29307	0,00627	0,1995
638	0,52267	0,00184	0,00039	0,28902	0,00547	0,1912
639	0,42764	0,00166	0,00050	0,28497	0,00518	0,1830
640	0,35204	0,00152	0,00056	0,28059	0,00457	0,1750
641	0,28941	0,00153	0,00047	0,27654	0,00432	0,1672
642	0,23758	0,00148	0,00040	0,27250	0,00400	0,1596
643	0,19589	0,00129	0,00045	0,26845	0,00328	0,1523
644	0,16069	0,00128	0,00042	0,26440	0,00311	0,1451
645	0,13239	0,00140	0,00042	0,26002	0,00314	0,1382
646	0,10864	0,00127	0,00038	0,25597	0,00303	0,1315
647	0,08941	0,00135	0,00041	0,25159	0,00231	0,1250
648	0,07343	0,00123	0,00054	0,24720	0,00230	0,1188
649	0,06026	0,00122	0,00054	0,24316	0,00283	0,1128
650	0,04989	0,00103	0,00063	0,23843	0,00234	0,1070
651	0,04212	0,00102	0,00048	0,23405	0,00229	0,1015
652	0,03520	0,00098	0,00042	0,23000	0,00238	0,0962
653	0,03002	0,00100	0,00036	0,22562	0,00235	0,0911
654	0,02505	0,00094	0,00034	0,22157	0,00198	0,0863
655	0,02311	0,00130	0,00059	0,21786	0,00421	0,0816
656	0,02376	0,00190	0,00055	0,21483	0,00801	0,0771
657	0,02101	0,00182	0,00055	0,21078	0,00792	0,0728
658	0,01857	0,00197	0,00044	0,20673	0,00754	0,0687
659	0,01667	0,00193	0,00042	0,20235	0,00683	0,0648
660	0,01505	0,00202	0,00033	0,19830	0,00716	0,0610
661	0,01311	0,00186	0,00034	0,19459	0,00735	0,0574
662	0,01166	0,00177	0,00049	0,19054	0,00697	0,0540
663	0,01063	0,00162	0,00025	0,18650	0,00702	0,0507
664	0,00972	0,00161	0,00026	0,18279	0,00679	0,0475
665	0,00857	0,00157	0,00020	0,17874	0,00622	0,0446
666	0,00765	0,00155	0,00033	0,17469	0,00636	0,0418
667	0,00734	0,00165	0,00026	0,17098	0,00617	0,0391
668	0,00695	0,00159	0,00060	0,16727	0,00646	0,0366
669	0,00652	0,00156	0,00033	0,16323	0,00646	0,0342
670	0,00596	0,00153	0,00041	0,15986	0,00580	0,0320
671	0,00583	0,00142	0,00035	0,15615	0,00542	0,0300
672	0,00572	0,00126	0,00038	0,15244	0,00565	0,0281
673	0,00536	0,00153	0,00043	0,14906	0,00561	0,0263

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
674	0,00525	0,00148	0,00034	0,14569	0,00551	0,0247
675	0,00490	0,00166	0,00049	0,14198	0,00547	0,0232
676	0,00460	0,00147	0,00031	0,13861	0,00504	0,0218
677	0,00449	0,00133	0,00028	0,13557	0,00533	0,0205
678	0,00419	0,00138	0,00031	0,13220	0,00523	0,0193
679	0,00441	0,00124	0,00030	0,12917	0,00533	0,0181
680	0,00438	0,00123	0,00037	0,12613	0,00485	0,0170
681	0,00421	0,00136	0,00043	0,12310	0,00437	0,0159
682	0,00397	0,00128	0,00025	0,12006	0,00476	0,0148
683	0,00415	0,00144	0,00031	0,11702	0,00490	0,0138
684	0,00410	0,00125	0,00024	0,11433	0,00476	0,0128
685	0,00395	0,00138	0,00039	0,11129	0,00443	0,0119
686	0,00421	0,00118	0,00030	0,10859	0,00415	0,0111
687	0,00428	0,00110	0,00021	0,10590	0,00415	0,0103
688	0,00393	0,00125	0,00020	0,10320	0,00453	0,0095
689	0,00419	0,00130	0,00028	0,10050	0,00409	0,0088
690	0,00378	0,00129	0,00020	0,09780	0,00418	0,0082
691	0,00384	0,00102	0,00006	0,09544	0,00434	0,0076
692	0,00417	0,00114	0,00042	0,09308	0,00385	0,0071
693	0,00413	0,00126	0,00026	0,09072	0,00372	0,0066
694	0,00395	0,00109	0,00003	0,08836	0,00389	0,0061
695	0,00382	0,00122	0,00021	0,08600	0,00372	0,0057
696	0,00359	0,00116	0,00022	0,08397	0,00351	0,0053
697	0,00378	0,00103	0,00019	0,08195	0,00314	0,0050
698	0,00380	0,00101	0,00020	0,07959	0,00306	0,0047
699	0,00393	0,00087	0,00013	0,07757	0,00336	0,0044
700	0,00400	0,00109	0,00007	0,07554	0,00376	0,0041
701	0,00363	0,00087	0,00029	0,07386	0,00341	0,0038
702	0,00376	0,00108	0,00007	0,07183	0,00320	0,0036
703	0,00339	0,00126	0,00029	0,06981	0,00331	0,0034
704	0,00348	0,00120	0,00025	0,06812	0,00348	0,0031
705	0,00367	0,00108	0,00020	0,06644	0,00287	0,0029
706	0,00380	0,00108	0,00015	0,06441	0,00295	0,0027
707	0,00326	0,00078	0,00022	0,06307	0,00320	0,0026
708	0,00354	0,00100	0,00034	0,06138	0,00274	0,0024
709	0,00348	0,00106	0,00015	0,05969	0,00330	0,0022
710	0,00376	0,00116	0,00018	0,05801	0,00307	0,0021

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
711	0,00341	0,00106	0,00024	0,05632	0,00361	0,0020
712	0,00335	0,00087	0,00008	0,05497	0,00319	0,0018
713	0,00309	0,00095	0,00000	0,05329	0,00253	0,0017
714	0,00348	0,00081	0,00016	0,05194	0,00326	0,0016
715	0,00330	0,00116	0,00000	0,05025	0,00280	0,0015
716	0,00326	0,00076	0,00028	0,04890	0,00216	0,0014
717	0,00354	0,00089	0,00033	0,04755	0,00261	0,0013
718	0,00324	0,00077	0,00012	0,04620	0,00268	0,0012
719	0,00307	0,00091	0,00014	0,04485	0,00243	0,0011
720	0,00307	0,00107	0,00008	0,04384	0,00262	0,0010
721	0,00298	0,00110	0,00008	0,04249	0,00280	0,0010
722	0,00328	0,00084	0,00021	0,04148	0,00257	0,0009
723	0,00311	0,00086	0,00015	0,04047	0,00277	0,0009
724	0,00333	0,00079	0,00021	0,03946	0,00339	0,0008
725	0,00309	0,00087	0,00050	0,03845	0,00334	0,0007
726	0,00300	0,00058	0,00019	0,03710	0,00245	0,0007
727	0,00305	0,00053	0,00004	0,03609	0,00253	0,0006
728	0,00339	0,00077	0,00011	0,03507	0,00246	0,0006
729	0,00348	0,00065	0,00025	0,03440	0,00261	0,0006
730	0,00302	0,00067	0,00015	0,03342	0,00330	0,0005
731	0,00326	0,00125	0,00012	0,03258	0,00238	0,0005
732	0,00320	0,00069	0,00029	0,03160	0,00254	0,0005
733	0,00341	0,00120	0,00022	0,03089	0,00237	0,0004
734	0,00346	0,00116	0,00027	0,03005	0,00201	0,0004
735	0,00339	0,00107	0,00027	0,02934	0,00252	0,0004
736	0,00341	0,00107	0,00050	0,02856	0,00285	0,0003
737	0,00335	0,00078	0,00042	0,02776	0,00259	0,0003
738	0,00348	0,00072	0,00009	0,02705	0,00302	0,0003
739	0,00382	0,00099	0,00018	0,02631	0,00243	0,0003
740	0,00382	0,00106	0,00000	0,02560	0,00261	0,0002
741	0,00371	0,00064	0,00000	0,02492	0,00216	0,0002
742	0,00402	0,00087	0,00000	0,02448	0,00271	0,0002
743	0,00393	0,00087	0,00004	0,02381	0,00268	0,0002
744	0,00369	0,00085	0,00004	0,02314	0,00287	0,0002
745	0,00421	0,00105	0,00010	0,02263	0,00241	0,0002
746	0,00421	0,00106	0,00003	0,02209	0,00259	0,0002
747	0,00413	0,00107	0,00033	0,02165	0,00269	0,0001

λ [nm]	Vörös $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Zöld $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Kék $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Fehér $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	Borostyán $\left[\frac{W}{sr \cdot m^2}\right]$	V(λ) $\left[\frac{cd}{W}\right]$
748	0,00443	0,00084	0,00038	0,02094	0,00380	0,0001
749	0,00421	0,00110	0,00007	0,02044	0,00207	0,0001
750	0,00462	0,00143	0,00017	0,01997	0,00227	0,0001
751	0,00415	0,00106	0,00002	0,01953	0,00281	0,0001
752	0,00432	0,00104	0,00003	0,01912	0,00256	0,0001
753	0,00454	0,00106	0,00003	0,01855	0,00229	0,0001
754	0,00447	0,00102	0,00002	0,01818	0,00246	0,0001
755	0,00475	0,00108	0,00010	0,01777	0,00322	0,0001
756	0,00382	0,00172	0,00001	0,01737	0,00328	0,0001
757	0,00505	0,00113	0,00001	0,01706	0,00224	0,0001
758	0,00482	0,00127	0,00035	0,01659	0,00332	0,0001
759	0,00458	0,00105	0,00018	0,01632	0,00378	0,0001
760	0,00482	0,00114	0,00020	0,01592	0,00316	0,0001
761	0,00482	0,00098	0,00000	0,01558	0,00265	0,0001
762	0,00432	0,00073	0,00028	0,01534	0,00324	0,0001
763	0,00488	0,00081	0,00030	0,01504	0,00377	0,0000
764	0,00592	0,00092	0,00040	0,01467	0,00348	0,0000
765	0,00490	0,00085	0,00000	0,01457	0,00334	0,0000
766	0,00553	0,00061	0,00000	0,01413	0,00351	0,0000
767	0,00510	0,00125	0,00008	0,01396	0,00279	0,0000
768	0,00551	0,00115	0,00020	0,01373	0,00323	0,0000
769	0,00665	0,00134	0,00000	0,01349	0,00266	0,0000
770	0,00700	0,00083	0,00000	0,01319	0,00388	0,0000
771	0,00596	0,00097	0,00012	0,01295	0,00351	0,0000
772	0,00555	0,00093	0,00003	0,01251	0,00228	0,0000
773	0,00516	0,00112	0,00000	0,01261	0,00195	0,0000
774	0,00529	0,00068	0,00005	0,01228	0,00262	0,0000
775	0,00594	0,00143	0,00050	0,01224	0,00251	0,0000
776	0,00609	0,00163	0,00009	0,01194	0,00304	0,0000
777	0,00628	0,00090	0,00016	0,01180	0,00365	0,0000
778	0,00644	0,00131	0,00000	0,01177	0,00410	0,0000
779	0,00698	0,00102	0,00000	0,01164	0,00386	0,0000
780	0,00646	0,00137	0,00000	0,01123	0,00294	0,0000