

Képek színhűségének javítása statisztikai alapú módszerrel

Sebők-Tornai Bence

Témavezető: Dr. Várady Géza



Pécsi Tudományegyetem
Műszaki és Informatikai Kar

Biomedical Engineering MSc

2022 november

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Problémafelvetés	4
2.1. Növényélettani áttekintés	4
2.2. Növényfelügyeleti rendszer	6
2.3. Elvárások	7
3. Irodalomfeldolgozás	9
4. Anyag és módszerek	10
4.1. Eszközök	10
4.1.1. Drón	10
4.1.2. Fényképezőgép	11
4.1.3. RAW, azaz nyers képek	11
4.1.4. LEGO modell	11
4.1.5. X-Rite ColorChecker - általában	12
4.1.6. Fotódoboz	13
4.1.7. ColorMeter Pro színmérő	14
4.2. Szoftveres eszközök	15
4.2.1. DNG profilok, színkorrekció általános működése	15
4.2.2. ColorChecker Camera Calibration	15
4.2.3. Adobe Lightroom	16
4.2.4. Darktable	16
4.2.5. Python scriptek	16
4.2.6. Adatfeldolgozás	17
5. Eredmények	18
5.1. Kezdeti mérések	18
5.2. Színek, színlátás	20
5.3. Színterek, áttérés színterek között	21
5.4. Első ColorChecker tesztek	21

5.5. CIELAB színtér	23
5.6. ColorChecker tesztek újragondolva	25
5.7. ColorCheckerek kimérése	26
5.8. ColorChecker mérési eredmények értékelése, elvárások konkrétizálása az eredmények tekintetében	27
5.9. Új és régi ColorChecker párhuzamos vizsgálata a fotódobozban, színtkorrekció	29
5.10. Színtkorrekciós mátrix	38
6. Következtetések	40
7. Összegzés	42
8. Köszönetnyilvánítás	43

1. fejezet

Bevezetés

Számos kutatási téma és valós felhasználási folyamat során felmerül az igény színhelyes képi adatok feldolgozására. Ez nagyon egyszerűnek hangzik, ugyanis a köztudatban az él, hogy a fényképezőgépek és a videokamerák képe valóban a valós színeket mutatja. Ez részben nem rossz feltételezés, hiszen az ilyen eszközök nagy része el van látva olyan automatikusan és/vagy manuálisan működ-tethető fehéregyensúly-szabályozó mechanizmussal, amely a környezeti fényviszo-nyok hatására korrigálja a képek színezetét. Ennek a célja a szemnek és az em-beri érzékelésnek leginkább tetsző, élénk színeket tartalmazó képek készítése, valamint a megvilágításból adódó torzulások legnagyobb mértékű korrigálása. Habár az elmúlt ötven évben soha nem látott fejlődésen ment keresztül a fényké-pészet, megjelentek a digitális fényképezőgépek, és emellett a valós idejű képfel-dolgozási eljárások, algoritmusok is egyre finomabbá és finomabbá váltak, mégis az ezen eszközökkel készült képek igazi, valós színeinek rekonstruálása nagy nehézséget jelent. Elmondható, minél kifinomultabb a fényképe-zőgép vagy adott esetben a videokamera működése, annál jobban működik ez a képjavító automatizmus. Ennek ellenére, amikor valamilyen oknál fogva korlátozottak a lehetőségek - akár anyagi, akár méretbeli szempontból -, szükséges lehet egy tetszőleges eszközzel készült képen utólagosan elvégezni a színek rekonst-ruálását, lehetőleg a valós értékek visszaállítását. Itt csatolnék vissza a be-kezdés első mondatához: számos probléma megoldása során szükséges lehet ez. Ehhez működő, méghozzá pontosan, megbízhatóan és jól működő rendszerek-re, utófeldolgozó eljárásokra van szükség, mely nem egy adott technológiához kötött, azaz univerzálisan használható post-processing munkához. Célunk, hogy megalkossunk egy olyan statisztikai alapú eljárást, mely a beállításváltozta-tások és a fényviszonyok miatti torzulások kiszűrését magas hatékonysággal végzi, visszaállítva a képek valós színezetét. A dokumentumban részletesen is-mertetem az eljárás megalkotása során eddig elvégzett munkát, elért eredményeket.

2. fejezet

Problémafelvetés

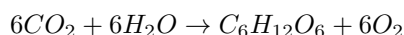
A PTE Műszaki és Informatikai karán külön kutatócsoport foglalkozik a drónok adta lehetőségek kiaknázásával, új eljárások fejlesztésével. A kutatócsoport témái között is akad olyan projekt, mely színi adatokat is fel tud használni a hatékonyságának növeléséhez. Ilyen például a drónos parlagfű dektektáló rendszer. A kiinduló ötlet a kutatáshoz ezáltal és azonban nem is a mérnöki területről származik, hanem a biológia, azon belül is a növényélettan tudományágból. (Ez a tény nem meglepő, hiszen manapság már szinte kivétel nélkül minden tudományterület ki tudja és többnyire ki is szeretné aknázni az informatikában rejlő lehetőségeket.) Az alapfelvetés az, hogy növények állapotáról visszajelzési értékkel bír az aktuális színezetük, mely taxononként egy tipikus értéket vesz fel. Eszerint, a növény színe az állapotának direkt indikátora lehet, mely alapján a metabolikus folyamataira lehet következtetni. Az eredeti kutatási cél egy olyan rendszer kifejlesztése, mely alkalmas nád növénycsoportulások monitorozására, azon belül is arra, hogy meghatározhassuk milyen hatékonysággal végzik a növények a fotoszintézist.

2.1. Növényélettani áttekintés

A növények életének egyik, ha nem a legjellemzőbb tulajdonsága a fotoautotóf metabolizmus, amely anyagcseretípus lehetővé teszi a növények számára szükséges minden szerves anyag felépítését szervetlen építőkövekből, miközben a fény, mint energiaforrás van jelen a folyamatban [11]. Ahhoz, hogy ezek az élőlények képesek legyenek erre, különleges és rájuk nézve egyedi sejtalkotóval kell, hogy rendelkezzenek. Ugyanis ahhoz, hogy a látható tartományú elektromágneses sugárzást abszorbeálni tudják, és annak energiáját kémiai kötésekkel tudják alakítani [11], nagyon bonyolult, más nem növényi eredetű prokarióta és eukarióta szerveződésben nem létező rendszer áll rendelkezésükre. Azokat a re-

akciókat, melyek a fény elnyelt energiája következtében jönnek létre, fotokémiai reakcióknak, más néven fotoszintézisnek nevezzük [11]. Ez a folyamat tehát kizárólagosan csak a növényi eredetű sejtekben játszódik le, gombákban és állati eredetű sejtekben nem. A fotoszintézis folyamata úgynevezett fotoszintetikus pigmentek segítségével történik, melyek amellet, hogy fotokémiai reakciókat képesek katalizálni a folyamatban, egyben a növények jellegzetes színét is adják [11].

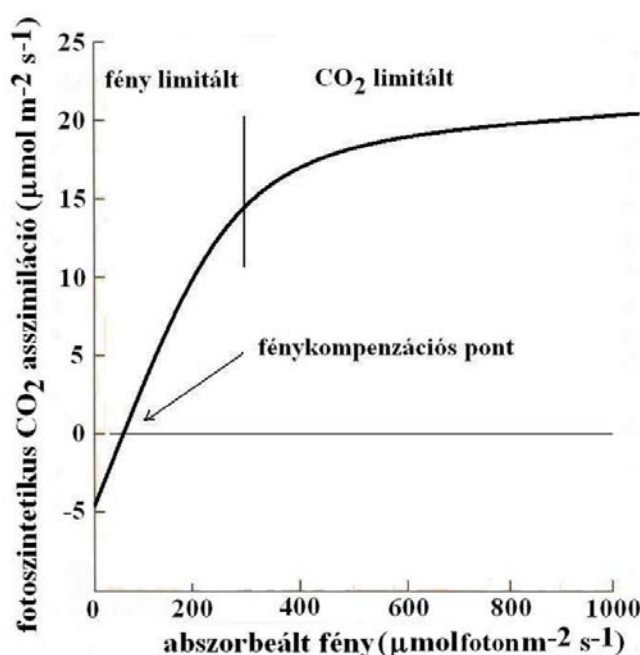
A folyamathoz elengedhetetlenül szükségesek tehát a légkörben megtalálható szervetlen anyagok, a talajból származó víz és a napfény. A folyamat eredményeként egy szerves vegyület, a glükóz jön létre, mely, mint energiaforrás nagyon fontos szerepet játszik a növények - és ezáltal a növényevő organizmusok - életében. A fotoszintézis folyamatának részletes leírása nem tartozik a jelen dokumentum keretei közé, azonban a folyamat leegyszerűsített egyenlete is alátámasztja az előbbi állítást:



Mindez fény hatására játszódik le. A Napból érkező fény egy részét a növények nem nyelik el, azaz nem használják el, mint energiát, hanem visszaverik [11], ennek, illetve a benne lévő pigmentek mennyiségének, típus szerinti arányának és állapotának következtében jön létre a valós, általunk látott színezetük. Ez alapvetően minden, különböző taxonba tartozó növény esetében más és más, adott rendszertani csoporton belül viszont közel azonos.

Aki látott, vagy akár gondozott már növényeket tudhatja, hogy mennyit számít a növények színe. Már a szobanövényeken is megfigyelhetőek a gondozásból, illetve annak megváltozásából adódó változások, melyek hatással vannak a levelek szerkezetére, állására, és nem utolsó sorban a fotoszintézis folyamatának hatékonyságára. A fény és a megfelelő táptalaj kiemelten fontos a növények számára [11]. Megfigyelhető, hogy a nem egyenletes fényben lévő növények helyzetváltoztatást végeznek a fény irányába, annak érdekében, hogy minél hatékonyabban működhessenek az anyagcsere folyamataik. Ezen túl szerkezeti változások is történnek a növényi sejtekben, ugyanis a beeső fény abszorpcióját a növények a kloroplasztiszok helyzetének megváltoztatásával is képesek befolyásolni [11]. Ez természetesen a fényvisszaverési képességükben is változást jelent, amely egyértelműen hatással lesz a növény színezetére. Ezen túl, a tényezők megváltozásának következtében fellépő kémiai reakciók is hatással vannak a színezetre.

A fény, mint katalizátor az egyik legkritikusabb tényezője a fotoszintézisnek, ugyanis hiányában a folyamat nem mehet végbe. Alapvetően elmondható, hogy a fotoszintetikusan megkötött CO_2 és felhasznált H_2O mennyisége nagy mértékben függ a rendelkezésre álló fény mennyiségétől [11], ezáltal a fotoszintézis folyamata függ az építőelemek mennyiségétől. Természetesen a talaj szervesanyag tartalma is nagyon fontos a növekedési és létfenntartási folyamatok kapcsán, azonban a fent leírt folyamat a növények fő fiziológiai jellemzője. Látható, hogy a növények színe valóban alapvető indikátora az állapotuknak, azon belül is a vízfelhasználásnak, ezáltal a fotoszintézis, mint folyamat hatékonyságának.



2.1. ábra. A fotoszintetikus CO_2 -asszimiláció és a fényintenzitás összefüggése (forrás: A növényi anyagcsere élettana, 2013: 126. oldal)

2.2. Növényfelügyeleti rendszer

Ahogy azt már korábban említettem nád növénycsoportosulások monitorozására alkalmas rendszer kifejlesztése a cél. Miért pont nád? Környezetmérnökök felvetése szerint a nád nagyon jól alkalmazható szennyvíztisztítási folyamat elvégzésére [6]. Adott egy megfelelően kiépített nádas terület, amelyet úgy alakítottak ki, hogy meghatározott mennyiségű szennyvizet rá lehessen vezetni. Miután ez megtörténik, a növény elkezd felhasználni a vizet a folyadékból [6], mely a már előbb megismert fotoszintetikus folyamatok egyik alkotóeleme.

Ahogy az előző fejezetben részletesen kifejtettem, a növények fiziológiai működéséből adódóan az oxigén előállítás mellett vizet is párologtatnak a környezetbe. Ha megfelelő hatékonysággal működik ez a rendszer, akkor a szennyvízből a növényzet felhasználja a vizet, aminek egy részét a párologtatás útján - tiszta víz formájában - visszajuttatja a környezetbe. Minél hatékonyabban működik a fotoszintézis folyamata a növényekben, annál nagyobb hatékonysággal végzik a párologtatást, ezáltal a szennyvíz tisztítását. Erről a hatékonyságról és általános állapotról pedig részben a növények színezete ad kiértékelhető visszajelzést.

2.3. Elvárások

Ahhoz, hogy a színi adatok monitorozására alkalmas rendszert létre tudjunk hozni, támasztanunk kell néhány alapvető elvárást, melyet a kész produktumnak teljesítenie kell mind hardveresen, mind szoftveresen. A hardveres elvárásokat a környezeti tényezők definiálják. Fizikai térbeli kiterjedésének következtében a nádasok monitorozására nem feltétlenül elegendő egy egyszerű digitális vagy DSLR (Digital Single Lens Reflex) fényképezőgép egy állvánnyal felszerelve, hanem egy olyan eszközre lenne szükség, amely megfelelően magasból, akár több tíz méterről képes felvételeket készíteni - mindezt megfelelően jó felbontásban. Erre kiválóan alkalmasnak tűnek a manapság népszerű drónok. Nem elhanyagolható a képek minősége sem, ezért ez is egy fontos szempont az eszközök kiválasztásakor.

Arra is figyelni kell, ha drónt használunk fel egy feladat megoldásához, hogy ne legyen túl nehéz és bonyolult az elkészített, felszerelendő célrendszer. Ennek nagyon egyszerű okai vannak:

- a drónon korlátozott mennyiségben lehet plusz dolgokat elhelyezni a felvételi lehetőségek hiánya, vagy alacsony száma miatt, valamint
- minél több eszközt szerelünk fel a drónra, annál jobban megnöveljük a tömegét, ezáltal annál kevesebb időt lehet valós feladatmegoldással, azaz repüléssel eltölteni.

Ezen megfontolásokat figyelembe véve hardveresen minél egyszerűbb eszközt kell megalkotni a feladat megoldásához. A legjobb megoldás az, ha a drón saját videokameráját használjuk a felvételek elkészítéséhez. Így plusz kamera felszerelése nem szükséges, ezáltal tömegnövekedéssel nem kell számolni, így a repülési idő nem csökken. Azonban mindez csak akkor lehetséges, ha a szóban forgó drón kamerája megfelelő minőségű képet szolgáltat.

Szoftveres szempontból is nagyon érdekes a probléma. Elképzelhető, hogy szükséges lehet a valós idejű feldolgozás - mondjuk egy objektum követési feladat során -, azonban egy ilyen növényfelügyeleti rendszernél ez nem feltétlenül elvárás. Így, elegendő a felvételek elkészítése után, post-processing lépésként elvégezni a színtkorrekciót. És itt fogalmazódik meg a fő probléma: a színtkorrekciós eljárás. Szükséges egy jól működő és megbízható metódus, amely képes a színek közel valós értékeinek a visszaállítására, ezáltal lehetőség nyílik a felügyelt növények állapotának meghatározására.

De mégis mit tekintünk valós színezetnek? Hogyan tudjuk egyáltalán a színtkorrekciót már meglévő eljárások felhasználásával tanulmányozni? Megvalósítható egyáltalán a valós színezet visszaállítása? Mindezen kérdésekre keressük a választ, mely során elvégzett munkánkról a következő fejezetekben írok részletesen.

3. fejezet

Irodalomfeldolgozás

A kutatás során több megközelítést is megvizsgáltam, igyekeztem építeni kutatócsoportunk korábbi feltételezéseire, eredményeire.

Várady G. munkájában (Color information correction of images using light-weight camera systems, Pollack Periodica, 2018) a színtkorrekciót a kamera elé szerelt LED-ek színeinek torzulásával tanulmányozza, kiiktatva ezzel a Color-Checkert, mint lehetséges korlátozó tényezőt. Ez a megközelítés működőképes, azonban szabad ég alatt, változó megvilágítási viszonyok között nem garantálható a sikeressége.

A. Caglayan és munkatársai (A Plant Recognition Approach Using Shape and Color Features in Leaf Images, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2013) levelek formája és színe alapján készített MI alapú eljárásokat. A színek vizsgálatát hisztogramok vizsgálatával, elemzésével oldották meg.

V. Senthilkumaran munkájában (Color Correction Using Color Checkers, Department of Applied Mathematics and Computational Sciences, ICCAP 2021, 2021) készített egy eljárást, mely jó eredményt ért el a színtkorrekcióban, azonban ez sem képes a ColorChecker kihagyásával elvégezni a folyamatot.

A feldolgozás során kiderült, hogy még hiányzik egy olyan eljárás, mely a tág környezetben jól működik és nem szükséges hozzá a ColorChecker, vagy egyéb színtkorrekciós eszköz. Részeredmények viszont már elérhetőek a témában.

4. fejezet

Anyag és módszerek

4.1. Eszközök

A kutatás mind hardveres, mind szoftveres részről megoldandó problémák sorával állított szembe bennünket. Összességében elmondható, hogy volt egy alapvető elképzelésünk, melyet meg szerettünk volna valósítani, azonban az idő közben kijövő eredmények ezen elképzelések és szempontok folyamatos korrigálásához és változtatásához vezetett el bennünket. Ebből a szempontból meglehetősen agilis szemléletmód jellemzi a munkánkat - az eredmények tükrében készítjük elő az újabb méréseket, melyek eredményeit a megfelelő értelmezés és következtetések levonása után fel tudunk használni a következő tesztelési fázisban, és így tovább.

4.1.1. Drón

A kutatásunk során szerencsére nem jelentett nagy nehézséget a drón kiválasztása. Abban a szerencsés helyzetben vagyunk, hogy a karunk több ilyen eszközzel is rendelkezik, ezek közül az előbb felsorolt szempontok alapján a választás a DJI Mavic 2 Pro típusú quadcopterre esett. 1"-os CMOS szenzorral szerelt, 77°-os betekintési szögű lencse erősíti a rendszert. Videofelvételt 4K, 2.7K és FullHD felbontásban tud rögzíteni, azonban ami méginkább fontos: RAW, azaz nyers és JPEG formátumú képek rögzítése is lehetséges a kamerával, még hozzá 10 bites színmélységgel. Ez az útfeldolgozás szempontjából meglehetősen jó funkciónak bizonyul, melyről egy kicsit később szeretnék részletesen írni. Nagy hatótávolsága (maximálisan 18 km) mellett az üzemidejében (akár 31 perc repüléssel töltött idő) is nagyon jónak bizonyul. GPS koordináták alapján is képes pozícionálni a helyzetét [8], ami szintén hasznos funkció az ilyen célú alkalmazási lehetőségeknél.

4.1.2. Fényképezőgép

A munka első és talán leghosszadalmasabb szakaszában az adatgyűjtés és a mért adatok elemzése a fő cél. Mivel jelenleg az elsődleges célunk az elérhető szíinkorrektíós eljárás(ok) megértése, ezért a munka ezen szakaszában nincs még szükség drónos felvételkészítésre. A felvételek elkészítésére egy általános DSLR fényképezőgépet, egy képstabilizátor nélküli CANON EF-S 18-55 mm III-as objektívvel szerelt CANON 2000D gépházat használtunk, mely hasonlóképpen képes mind RAW, mind JPEG formátumú képek akár egyidejű elkészítésére is. Így a feldolgozás szempontjából sokkal valósabb képet kaphatunk a háttérben végbemenő folyamatokról.

4.1.3. RAW, azaz nyers képek

Az úgynevezett RAW formátumú, vagyis nyers képek valójában rengeteg adatot jelentenek, mintsem egy valós képet. Ezek az adatok közvetlenül a kamera szenzorából érkeznek [9], a régi fényképezési eljárások során a még elő nem hívott, tekercsen lévő negatívval lehet a legjobban analógiát találni. Ez a formátum tömörítetlenül tárolja a szenzorról érkező pixelértékeket, valamint a használt fényképezőgéppel kapcsolatos meta-adatokat [9]. Ez a formátum tehát nagyon sok adatot tartalmaz, amiből el lehet készíteni, "elő lehet hívni" a képeket. Leggyakoribb RAW formátumok közé tartozik például a .DNG (Digital Negative), a .CR2 (Canon által létrehozott) és a .NEF (Nikon által létrehozott).

4.1.4. LEGO modell

A színi adatok elemzéséhez egy nagyon jó modell lehet a LEGO. Ennek számos oka is van, melyek a következők:

- a LEGO mind színben, mind formában és felépítésben nagyon szigorú szabványok szerint definiált, ami számos előnnyel jár.
 - Ennek következtében a kísérletek könnyen reprodukálhatóak lesznek bármikor a jövőben - elég csak összeválogatni a szín-, és méretazonos elemeket,
 - valamint a színi definíciók a mérésekben minden helyzetben azonos eredményekre kell, hogy vezessenek.
- Strapabírósági szempontok alapján is nagyon jó választás a LEGO, mint modellalkotó összetevő.

4.1.5. X-Rite ColorChecker - általában

A mérésekhez szükséges volt először a szokásos, szabvány, referencia alapú színkorrekciók vizsgálatára. A munka során az általunk, és számos szakmabeli fotós által színkorrekciós etalon eszköznek tartott, az X-rite által gyártott ColorChecker Passport Photo 2 típusú, kifejezetten fényképészeti célokra kifejlesztett színkorrekcióhoz használható palettáját használjuk. Az alapvető célja az eszköznek az, hogy a segítségével vissza lehessen állítani a fényképek eredeti színezetét [4], a közel valós színi értékek rekonstrukálásával. (A gyártó kínál megjelenítőkhöz és nyomtatókhoz tartozó kalibrációs szoftvereket is [4], melyek a fényképnymtatás, fényképszerkesztés során a színhelyesség minőségi javulásához járulnak hozzá.)

Az eszköz alapvetően a fehéregyensúly megfelelő beállításához, illetve a színkorrekció elvégzéséhez használható fel, ennek következtében két elkülönülő részből áll. A felső rész a megvilágítási fényviszonyokból származó alapvető torzulások korrigálására való, mely a színhőmérsékletből adódó változtatásokat egységesen végzi el az egész képen. Az alsó rész 24, a CIE (Nemzetközi Világítás-technikai Társaság) által szabványosított, a természetben gyakran előforduló színeket tartalmaz. Ezek között szerepel például az égszínkék, a növényzöld, a sötét és fehér bőrszínek, de ugyanúgy megtalálhatóak az RGB vörös, zöld és kék, valamint a CMYK cián, magenta és sárga színei is.



4.1. ábra. Az X-Rite ColorChecker Passport 2, annak két része.

Az eszköz segítségével tehát megpróbáljuk kielemezni a színekorekciót végző programok működését, amely tapasztalatok alapján el fogjuk tudni készíteni a saját algoritmusunkat. Későbbi méréseink során párhuzamosan használtuk a karunkon elérhető, régebben (2017/18-ban) megvásárolt eszközt, valamint egy nemrég beszerzett 2019-es verziót, ennek okáról a későbbiekben részletesebben fogok írni.

Ez az eszköz alapvetően sok fejtörést okozott nekünk, ugyanis a kezdeti mérések alapján úgy tűnt, hogy nem működik megfelelően a sokak által etalonnak tekintett eszköz, a szintén sokak által etalonnak tartott programban történő felhasználása valós értékeket megcélzó színekorekcióra.

4.1.6. Fotódoboz

A kutatást részben támogató Huawei Technologies Hungary Kft. támogatásával nemrég sikerült beszerezniünk egy fotódobozt, mely segítségével elérhetjük azt a régóta vágyott állapotot, hogy a képeinket állandó körülmények között, azonos megvilágításban, standardizálva tudjuk elkészíteni. Igaz, hogy az eszköz alap fényforrása nem a D65-ös napszimulátor, hanem egy 2*30 Wattos, egyenként 63 db LED-et tartalmazó lámpa pár, azonban egyfajta állandóságot és viszonyíthatóságot ez az eszköz is nyújt az összehasonlításaink során. A fényforrások színtőmérséklete megközelítőleg 5500 K körül van, mely a D55-ös standard megvilágítási viszonyoknak felel meg.



4.2. ábra. Nemrég beszerzett fotódoboz, melyben a képeinket készítjük (forrás: <https://studioeszkozok.hu/fotodoboz-fotosator-hjlt301-80x80cm-3-hatterrel-2x30w-led-dimmelhető-fenyeroval-890>)

4.1.7. ColorMeter Pro színmérő

Ugyancsak a Huawei Technologies Hungary Kft. támogatásával néhány hónappal ezelőtt be tudtunk szerezni egy ColorMeter Pro típusú kézi színmérő eszközt. Nagyon praktikus, mérete nagyjából megegyezik egy kisebb pohár méretével. Az eszközhöz nagyon jó okostelefonos és PC-s alkalmazás is jár, melyek segítségével nagyon egyszerűen tudjuk kezelni a lemért színi adatokat, akár táblázatos formátumban is lehetőségünk van az eredmények exportálására. Az eszköz számos színtérben (RGB, CIE-Lab, XYZ, stb.) képes megadni a mérések eredményét, valamint színek közötti különbség számítására is kitűnően alkalmas a szabvány CIE metrikák (ΔE^*_{ab} , ΔE^*_{94} , ΔE^*_{00}) felhasználásával. Kitűnő ismétlődésséggel rendelkezik, a mérési idő mindösszesen 1 másodperc. Az eszköz nagyon fontos feladatot lát el a projekt során, mely részleteire a későbbiekben szeretnék kitérni.



4.3. ábra. Nemrég beszerzett ColorMeter Pro színmérő (forrás: <https://colormanagement.hu/shop/meromuszerek-szinmeres/spektrokolorimetek/colormeter-pro/>)

4.2. Szoftveres eszközök

A szoftveres eszközök túlnyomó többsége jelen fázisban az adatgyűjtést kiszolgáló eljárásokra korlátozódik. Az adatgyűjtés és megfelelő adatelemzés viszont az egyik legkritikusabb pontja az egész folyamatnak, mely sokkal több időt vesz igénybe, mint amire előzőleg számítottunk. Ennek háttérében áll az is, hogy a mérések során nem várt eredmények is születtek, melyek általánosságban arra késztettek minket, hogy újragondoljuk a koncepciónkat, az egész eljárás lényegét.

4.2.1. DNG profilok, színtkorrekció általános működése

Alapvetően a DNG profiloknak nagyon egyszerű céljuk van: a színtkorrekció megkönnyítése. Az egész folyamat az adatgyűjtéssel, azaz a fényképezéssel kezdődik. Ilyenkor, a fényképezőgépen a környezeti megvilágítási viszonyoknak általunk legjobban passzolónak megítélt manuális fehéregyensúly-beállítással készítjük el a képeket, annak érdekében hogy minden felvételnek ugyanaz legyen az említett beállítása. Azonos megvilágításban és beállítással kell elkészíteni a képeket, amelyeket később korrigálni szeretnénk, majd ugyanazon körülmények és beállítások mellett készíteni kell egy képet a ColorCheckerről is. Ezen kép alapján fog elkészülni a DNG profil, mely tartalmazza azokat a változtatásokat, melyeket el kell végezni azért, hogy a palettán lévő színek a lehető legközelebb kerüljenek az eredeti és kívánt értékeikhez. Evidens, ha azonos megvilágításban készültek a képek, akkor mindegyiken ugyanazokat a korrekciókat kell elvégezni a feldolgozás során annak érdekében, hogy mindegyiken a valós értékeket kapjuk vissza. Ezekkel a DNG profilokkal tehát nagyon könnyen elvégezhető az összes, azonos körülmények között elkészített további kép színtkorrekciója is.

4.2.2. ColorChecker Camera Calibration

Az X-Rite saját gyártású szoftvere kiválóan alkalmas a DNG profilok létrehozására. A szoftverben be kell tölteni egy képet, amely az X-rite ColorCheckert tartalmazza. Ezután a szoftver, abban az esetben, ha egyértelműen kivehető a képen, akkor automatikusan, ellenkező esetben emberi beavatkozás segítségével lokalizálja a színpalettát, illetve annak elemeit. Megvizsgálja a torzulásokat az elemek színezetében, majd kikalkulál egy korrekciós lépéssorozatot, mely a színi adatok visszaállításához szükséges az eltérések alapján. Az eredményt DNG profil formájában menti el a program, melyet fényképszerkesztő programokkal be tudunk tölteni, illetve alkalmazni is tudjuk a felvételeinken.

4.2.3. Adobe Lightroom

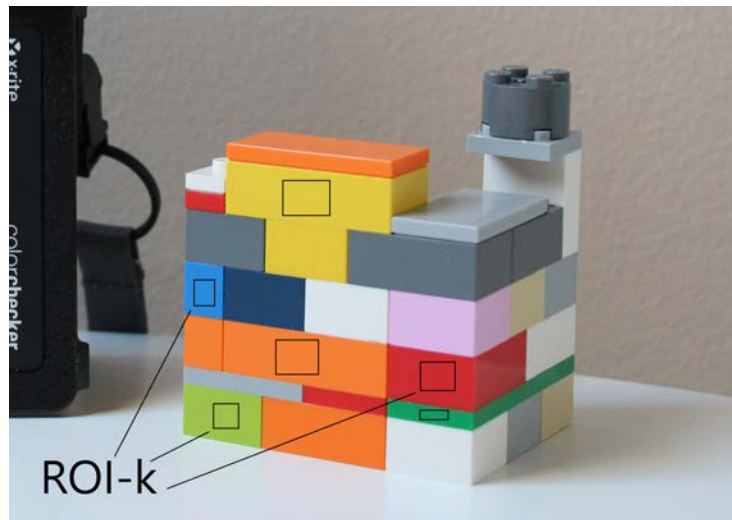
A fotós szakmai berkekben közkedvelt, post-processing eszközök tekintetében sokak által etalonnak számító Adobe Lightroom fantázianévre hallgató szoftverének a színekorrekciós funkcióját használjuk, illetve ennek a programnak és eljárásnak is elemezzük a működését. A már előbb említett DNG profilok segítségével képes a program elvégezni a színi adatok javítását, a jó esetben közel eredeti értékek visszaállítását. A program képes a ColorChecker Camera Calibration által generált DNG profilok implementálására is, azonban van egy saját beépített modulja, amely képes az előző szoftverhez hasonlóan legenerálni az adott képhez tartozó DNG profilt. A program a kiválasztott profil által definiált korrekciókat elvégzi a gyűjteményünkben lévő összes képen, majd úgymond előhívja a képeket és elmenti .JPEG, .PNG, vagy egy tetszőlegesen kiválasztott formátumban. Korlátozó tényező azonban a folyamat megfigyelhetőségében és elemezhetőségében, hogy mi valójában csak a korrekció végeredményét, vagyis az előhívott képet látjuk, miközben magába a folyamatba, annak működésébe nem látunk bele (egyszerű és érthető okokból), holott az lenne a legjobb a kutatás szempontjából.

4.2.4. Darktable

Az Adobe Lightroom alkalmazása mellett felfigyeltünk egy nyílt forráskódú, folyamatosan és nagy gonddal továbbfejlesztett képszerkesztő és feldolgozó alkalmazásra, a darktable-re. A szoftver szintűgy kitűnően alkalmas nyers (RAW formátumú) képek feldolgozására, mint a Lightroom. Meglehetősen felhasználóbarát, nagymértékben testreszabható kezelőfelülettel rendelkezik. Eszköztára van olyan kiterjedt, mint a Lightroom készlete, feldolgozási ideje azonban sok esetben sokkal kisebb. Ami viszont a szoftvert kifejezetten alkalmassá teszi a képeink módosítására az, hogy lebegőpontos értékekkel dolgozik, mely következtében a létrehozott képek információtartalom szempontjából jól illeszkednek a tudományos megfigyelések világába.

4.2.5. Python scriptek

A képeket melyekkel dolgozunk, köztük azokat, melyeken nem végeztünk korrekciót, valamint azokat, amelyek már túlestek a színekorrekción, elemzésnek vetjük alá. Az eddigi munkáink során 8-biten tárolt színeket tartalmazó, PNG formátumú képeket jelentenek. Definiálunk úgynevezett ROI-kat (region of interest), melyek olyan területei a képeknek, amelyeken vizsgálatokat szeretnénk folytatni. Ezek kijelölése manuálisan történik, minden egyes mérési elrendezés tekintetében, mely meglehetősen időigényes feladat a számos elrendezés mellett.



4.4. ábra. ROI-k a LEGO modellen

A definiált ROI-k színadatait egyedileg írt Python scriptek segítségével olvassuk ki. A nyelv kiválasztásának kézenfekvő oka volt: kiválóan alkalmas tudományos számítások, kifejezetten mátrixműveletek elvégzésére, így képfeldolgozási problémák megoldására az egyik legjobb választás. A képekre valójában tekinthetünk egy $n \times m$ -es mátrixként, aminek elemein különböző műveleteket végzünk el, miközben a manipulációt végezzük. Minden egyes mátrixelem egy 3 elemű adattagot tartalmaz, mely az adott képpont R, G, B, azaz vörös, zöld és kék színösszetevőjét reprezentálja. A kinyert adatokat Excel munkafüzetekbe mentjük a későbbi feldolgozás megkönnyítése érdekében.

4.2.6. Adatfeldolgozás

A folyamat egyik legfontosabb része a helyes és körültekintő adatfeldolgozás. Ennek elérése érdekében kezdtük elkészíteni a felvételeket. Az adatfeldolgozás során kinyert eredmények tükrében határozzuk meg a soron következő mérés megvalósításának menetét, körülményeit. Ezáltal az adatfeldolgozás általánoságban, valamint a kinyert adatok tulajdonságai az idő előrehaladtával változnak. Az eredmények ismertetésénél különösebb figyelmet szeretnék szentelni az adatfeldolgozás részre, valamint az eredmények interpretálására.

5. fejezet

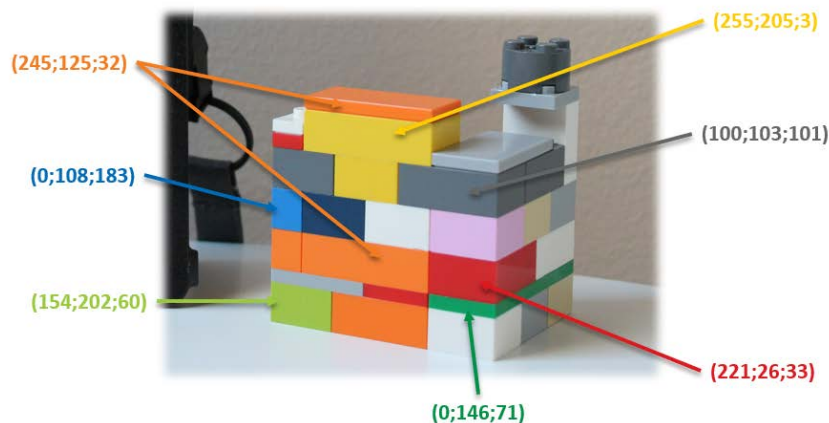
Eredmények

Az eredményeink tekintetében elmondható, hogy minél mélyebbre ássuk magunkat a színkorrekció világába, annak megértésébe, annál inkább bonyolultabbá válik a folyamatok és az eredmények értelmezése, ezáltal maga a probléma is. A munkánk során sokszor tapasztaltuk, hogy nem teljesen azokat az eredményeket kaptuk, amire éppen számítottunk, ezáltal újra és újra végig kellett gondolnunk, hogy mi lehet az eltérés oka, mi állhat az eredmények másságának hátterében. Ennek egyszerű oka az, hogy mint a mérnökök általában, minden folyamat működésének hátterét szeretnénk megérteni. A hozzáállásunknak és kíváncsiságunknak köszönhetően azonban meglehetősen szerteágazott a vizsgálatunk a témában, sok esetben eléggé eltávolodva az alap koncepciótól. A megértés érdekében azonban a sok vizsgálat nagyon fontos volt, a következtetések levonása természetesen egyetlen esetben sem maradt el.

5.1. Kezdeti mérések

A legelső méréseket a LEGO modellen végeztük el a ColorChecker és a Lightroom színkorrekciós eljárásának felhasználásával.

Mindenek előtt megkerestük a LEGO modellünk vizsgált színeinek az RGB értékeit, majd elkezdtük készíteni a felvételeket és korrigálni a képeket a Lightroomban. Az előhívott képeken olyan helyeken jelöltünk ki ROI-kat, amelyek megvilágítása egyenletes, homogén felületet és színezetet lehet tapasztalni. A megírt Python scriptek a definiált régiókban átlagolják a képpontok valamennyi színösszetevőjét, természetesen külön-külön. Az így eredményül kapott számhármass fogja reprezentálni az adott ROI átlagos színezetét, tehát az adott LEGO elem színét.



5.1. ábra. A LEGO modell különböző kockáinak RGB színhármasai

A kezdeti mérések során öt kocka színezetét vizsgáltuk: a citromsárga, a piros, a sötét-, és világoszöld, valamint a világoskék elemekét. Adottak a LEGO által definiált színek kódok, melyek minél nagyobb fokú reprodukálása a végső cél.

A színek összehasonlításához, vagyis az eredmény számszerűsítéséhez a vizsgált sRGB színtérben euklideszi távolságokat néztünk. Ez meglehetősen kézenfekvő, ugyanis az sRGB színteret elképzelhetjük egy 3 tengelyes ortogonális Descartes koordináta rendszernek, melynek tengelyein rendre a vörös, a zöld és a kék értékek jelennek meg 0 és 255 között. Így, minden előállítható színt egy pont jelöl a koordináta rendszerben, melyben két pont között a távolság a színek közötti számszerűsíthető különbséggel (távolsággal) egyenlő. A következő táblázat mutatja négy, teljesen különálló mérés távolságeredményeit, vagyis a mért és az elvárt színek közötti távolságokat (minden mérés külön, kifejezetten az adott viszonyokhoz legenerált DNG profilok segítségével korrigált képek feldolgozásával készült).

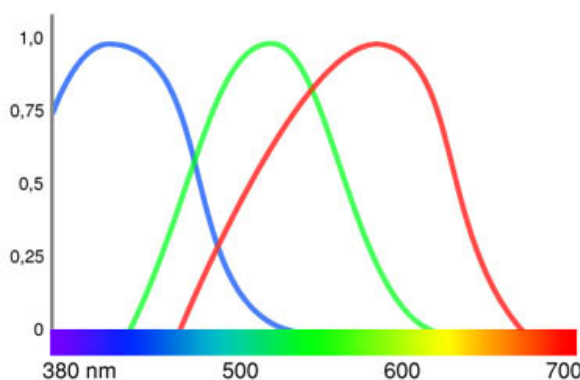
Mérés száma	Sárga	Piros	Sötétzöld	Világoszöld	Kék
1	43,28	38,63	71,20	77,08	72,71
2	45,01	36,41	65,50	76,01	70,46
3	48,38	38,67	72,02	76,71	72,29
4	44,32	37,45	71,07	76,48	70,90

5.1. táblázat. Az egyes mérések esetében a mért színek euklideszi távolságai a színhelyes értéktől

A táblázat értékeiből jól látható, hogy még a legközelebbi értékek is nagyon távol vannak az elvárt valós színi adatoktól. Összességében elmondható, hogy a megfigyeléseink alapján az RGB térben a 10-15 körüli Euklideszi távolságértékek már szemmel látható színbeli eltérést jelentenek a vizsgált színek között. Itt szembesültünk az első problémával: miért nem tudta helyesen rekonstruálni a színeket a Lightroom? Jó a képeket PNG formátumban és sRGB színtérben vizsgálni? A munka következő fázisában ezekre a kérdésekre kerestük a választ.

5.2. Színek, színlátás

A színek tulajdonképpen speciális vizuális stimulusok hatására az agyunk által létrehozott reakció [7]. Habár pontosan definiálni tudunk színeket, két ember mégsem fogja teljesen ugyanolyannak látni ugyanazt a színt, mert anatómiailag minden egyes egyes szemé és a szín-, valamint fotoreceptorai egyedi felépítésűek, valamint összetételükben is egyénenként változó a helyzet. A szemünkben lévő, színérzékelésre szakosodott fotoreceptor sejteket csapoknak nevezzük. A csapok világosságra kis mértékben, hullámhosszra viszont sokkal inkább érzékenyek. Az általuk felvett ingerek - megfelelő megvilágítás mellett - színérzékelési ingereket keltenek a szemlélőben [1]. A színlátásunk nagy vonalakban hasonló, mint az RGB színtér. A retina csapjai ugyanis háromfélék lehetnek, mindegyik különböző elnyelő képességű fényérzékeny pigmentet tartalmaz, melyek alapján meg tudjuk különböztetni őket [1]. Az egyik fajta sejt a rövid, azaz 400 nm (kék) környéki sugarakat, a második leginkább a közepes, azaz nagyjából 550 nm (zöld) körüli sugarakat, a harmadik pedig a hosszú hullámú sugarakat, azaz a nagyjából 600 nm (sárga-vörös) környékieket nyeli el [1].



5.2. ábra. A csapok fényérzékenysége (forrás: <https://www.szinkommunikacio.hu/11.18.htm>)

Mégis mit tudunk érzékelni, milyen összetevői vannak a színérzékelésnek?

- Árnyalat
- Világosság
- Telítettség [7]

Ezek más és más tulajdonságok, azonban ezeket megfelelően felhasználva le tudjuk írni a színeket.

5.3. Színterek, áttérés színterek között

A színterek olyan eljárásokat tartalmaznak, melyek felhasználásával specifikálni, készíteni és ábrázolni tudunk színeket. Definálni tudjuk a színeket a világosságuk, a színárnyalatuk és a színtelítettségük alapján [7]. Ez nem tűnik bonyolultnak, azonban a különböző színterek megközelítései között nagy eltérések lehetnek. A számítógépek a már említett RGB színtérben a vörös, a zöld és a kék mennyiségével additív módon definiálnak színeket (hasonlóan az emberi színérzékeléshez), míg nyomtatók ezzel szemben a cián, a magenta, a citromsárga és a fekete abszorbananciája és reflektanciája alapján határozzák meg a színeket [7]. Láthatjuk, hogy alapvető megközelítésbeli különbségek vannak, holott elméletileg ugyanarról a dologról van szó. Más-más színtérben való vizsgálat vezet jó eredményhez a különböző alkalmazási területeken [7]. Természetesen, az értékek az egyik színtérből átkonvertálhatóak a másikakba. Ezek a konverziók többnyire hosszú és bonyolult matematikai műveletek megoldásával - tehát viszonylag nagy számítási igény árán - elvégezhetőek.

5.4. Első ColorChecker tesztek

A "Kezdeti mérések" alfejezetben említett anomáliák okainak feltárása érdekében elkezdtünk csak önmagában a ColorCheckerre koncentrálni és azon keresztül tanulmányozni a színtekorrekciót. A kijövő nagy távolságok arra ösztönöztek minket, hogy nézzük meg, milyen eredményeket érünk el akkor, ha csak a ColorCheckert használjuk, és azon a képen mérjük a színminták színezetét a korrekció előtt és után egyaránt. Különböző fehéregyensúly-beállítások mellett készítettünk képeket a ColorCheckerünkről, melyeket ezután külön-külön dolgoztunk fel. Minden egyes képen kijelöltünk az összes szín-chipben egy-egy ROI-t, aminek az RGB értékeit a már előbb leírt módon, átlagolva kaptuk meg az adott rész színértékeit. Összesen $6 * 13$, azaz 78 képen elemeztük a szín-chipek értékeit, először az RGB színtérben, az összehasonlítás érdekében

euklideszi távolságokat számolva. Ez számszerűen $78 * 24$, azaz 1872 színösszehasonlítást jelent.

A távolságokat (d) illetően 5 kategóriát állítottunk fel:

- $d < 1$ - a két szín teljesen azonos
- $1 < d < 5$ - a két szín szemmel láthatóan nem különbözik
- $5 < d < 10$ - huzamosabb ideig figyelve a két szín között szabad szemmel megfigyelhető a különbség
- $10 < d < 49$ - a két szín között ránézésre látható a különbség
- $d > 49$ - A két szín kis mértékben (vagy egyáltalán nem) hasonlít

A következő táblázat foglalja össze a mérések (összehasonlítások) eredményét:

	$d < 1$	$1 < d < 5$	$5 < d < 10$	$10 < d < 49$	$d > 49$
n (db)	0	4	61	843	964
%	0 %	0,21 %	3,26 %	45,03 %	51,50 %

5.2. táblázat. Az első mérések összesített eredménye

A mérések alapján elmondhatjuk, hogy a kapott, elvileg színikorrigált elemek közül mindösszesen 4 db, azaz 0,21 % lett megfelelően közel az elvárt értékhez, 61 db, azaz 3,26 % pedig viszonylag közel. Azonban a maradék 96,53% nagyon messze volt a kívánt értékektől, míg a teljesen azonos kategóriába egy eredmény sem került.

Az első mérések után el kellett gondolkodnunk rajta, hogy miért nem jönnek ki az elvárt eredmények. A színezet összehasonlítása szempontjából kiderítettük, hogy elképzelhető, hogy nem a legjobb választás az RGB színtér, ugyanis a csatornák között nagy a korreláció [5], tehát színek árnyalata, telítettsége és világossága mind közvetlenül és egyszerre függ mindhárom paramétertől. Talán egy olyan színtér jobb lenne, amely legalább az egyik paramétert - például a világosság értéket - külön változóként kezeli, ezáltal a számítások során más súlyt tud alkalmazni a paraméterhez, és amiatt, hogy az nincs hatással a színezetre, a színbeli összehasonlítások során figyelembe veszi a távolsági metrika számító algoritmus ezt a ténytet. Ennek következtében eljutottunk arra a gondolatra, hogy lehet, hogy jobb lenne egy másik színtérben vizsgálni az értékeket, lehetőleg olyanban, ami jobban súlyozza a színezet értékét és kevésbé a világosság, fényesség értékeket. Számos lehetőség adott, viszont ez a lépés nagyon fontos,

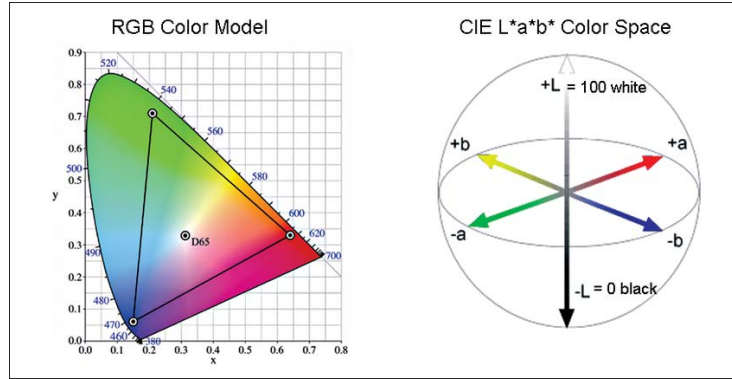
ugyanis a felhasználási igény függvényében egyik-másik színtér nagy előnnyel tud kecsegtetni. Így jutottunk el a CIELAB színtérhez.

5.5. CIELAB színtér

A CIELAB a CIE (International Commission on Illumination) [3] által definiált színtér, mely a HVS (human visual system) alapján osztályozza a színeket [7]. A színterek közül emiatt ez közelíti meg a leginkább az emberi látást. Ezen színtér használata azonban mégis azért indokolt és kézenfekvő, mert a legpontosabb távolságmérő metrikák javarészt ebben a színtérben definiált színértékekkel dolgoznak. Mindemellett, az összehasonlíthatóság és az eredmények összemérhetősége érdekében szükséges, hogy ezt a színteret is felhasználjuk. Három koordinátával írható le egy szín ebben a térben is, méghozzá a következőkkel:

- L^* , amely a szín világosságát adja meg (0 = teljes sötétség, 100 = diffúz fehér)
- a^* , amely a szín pozícióját reprezentálja a vörös és a zöld tartományok között (negatív értékek = zöld, pozitív értékek = vörös)
- b^* , amely a szín pozícióját reprezentálja a sárga és a kék tartományok között (negatív értékek = kék, pozitív értékek = sárga) [3].

Az RGB térből nem lehet közvetlenül a CIELAB színtérbe áttérni, igénybe kell venni egy köztes színteret is, mely a CIEXYZ névre hallgat. A számolás menete tehát a következő: először az RGB térből át kell térni a CIEXYZ színtérbe, majd onnan a CIELAB-ba. Problémát jelent azonban az, hogy az áttérések során figyelembe kell vennünk a megvilágítás típusát is, ettől függően más-más módon kell paraméterezni az eljárást például a D65-ös (6500 K), vagy a D50-es (5000 K) megvilágítási körülmények között készült képek esetében, amikor képpontjaiknak RGB értékeit átváltjuk a CIELAB színtér L^* , a^* és b^* értékeivé. Ez mondjuk laboratóriumi körülmények között elvégzett kísérletek során, amíg a színtörrekciót ilyen módon tanulmányozzuk, nem jelent különösebben nagy problémát, feltéve, ha ismerjük a fényforrásunk színhőmérsékletét és találunk ahhoz megfelelő paraméterezést. Ez lehetővé teszi, hogy ilyen körülmények között minden lehetséges információt felhasználjunk a fejlesztés alatt, mely rendelkezésünkre állhat, azonban ez az átváltás a valós probléma megoldása során már nem lesz feltétlenül megoldható a változó megvilágítási viszonyok miatt. Maga az átváltás meglehetősen körülményes, valamint idő- és számolásiigényes feladat, ezért ezt a folyamatot is a Python scripttel programoztuk le.



5.3. ábra. bal: CIELAB és RGB színterek kapcsolata, jobb: CIELAB színtér (forrás: https://www.researchgate.net/figure/RGB-Color-Model-and-CIE-Lab-Color-space_fig3_41669565)

Ahogy azt már korábban említettem, ebben a színtérben már nem alkalmazható a színek összehasonlítására az euklideszi távolság, amellyel eddig dolgoztunk. Van azonban egy mérőszám, amely kiválóan alkalmas erre, viszont annak a kiszámítása is meglehetősen bonyolult, de ezt is le lehet programozni, így a scriptben ezt is megírtuk. Ez a mérőszám a CIEDE2000 (ΔE_{2000}).

$$\Delta E_{00}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \frac{\Delta C'}{k_C S_C} \frac{\Delta H'}{k_H S_H}}$$

$$\Delta L' = L_2^* - L_1^*$$

$$\bar{L} = \frac{L_1^* + L_2^*}{2} \quad \bar{C} = \frac{C_1^* + C_2^*}{2}$$

$$a_1' = a_1^* + \frac{a_1^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right) \quad a_2' = a_2^* + \frac{a_2^*}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}}\right)$$

$$\bar{C}' = \frac{C_1^* + C_2^*}{2} \text{ and } \Delta C' = C_2' - C_1' \quad \text{where } C_1' = \sqrt{a_1'^2 + b_1'^2} \quad C_2' = \sqrt{a_2'^2 + b_2'^2}$$

$$h_1' = \text{atan2}(b_1', a_1') \mod 360^\circ, \quad h_2' = \text{atan2}(b_2', a_2') \mod 360^\circ$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h_2' - h_1' & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \\ h_2' - h_1' + 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' \leq h_1' \\ h_2' - h_1' - 360^\circ & |h_1' - h_2'| > 180^\circ, h_2' > h_1' \end{cases}$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C_1' C_2'} \sin(\Delta h'/2), \quad \bar{H}' = \begin{cases} (h_1' + h_2' + 360^\circ)/2 & |h_1' - h_2'| > 180^\circ \\ (h_1' + h_2')/2 & |h_1' - h_2'| \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015 (\bar{L} - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L} - 50)^2}} \quad S_C = 1 + 0.045 \bar{C}' \quad S_H = 1 + 0.015 \bar{C}' T$$

$$R_T = -2\sqrt{\frac{\bar{C}^7}{\bar{C}^7 + 25^7}} \sin \left[60^\circ \cdot \exp \left(- \left[\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25^\circ} \right]^2 \right) \right]$$

5.4. ábra. ΔE_{2000} számítása (forrás: <https://github.com/hamada147/IsThisColourSimilar>)

5.6. ColorChecker tesztek újragondolva

Az első tesztek következtetéseit levonva jutottunk el a második részig, melyben a színeket átkonvertáltuk a CIELAB színtérbe, ahol ΔE_{2000} távolságokat vizsgáltunk. Azért döntöttünk úgy, hogy szükséges a színtérváltás, mert ahogy már írtam más színtérben sokkal kifinomultabb távolságmérési eljárások vannak, melyek során nagyobb súlyt kapnak a színezetért felelős paraméterek, mint a világosságért felelős. Ez megvalósíthatatlan lenne az RGB színtérben, bármilyen metrikát is alkalmaznánk.

Ugyanúgy öt kategóriát határoztunk meg a megfigyelések alapján:

- $\Delta E_{2000} < 1$ - a színek szinte teljesen azonosak
- $1 < \Delta E_{2000} < 2$ - a színek között szabad szemmel nem lehet különbséget felfedezni, szinte azonosak
- $2 < \Delta E_{2000} < 10$ - a színeket hosszabb ideig vizsgálva észrevehető a különbség, azok igazán hasonlítanak
- $10 < \Delta E_{2000} < 49$ - a színek között ránézésre látható a különbség, a távolság viszonylag nagy közöttük
- $\Delta E_{2000} > 49$ - a színek nagy mértékben különböznek egymástól

A felhasznált képek ugyanazok voltak, mint az első teszt alatt. Ugyanúgy 78 kép 1872 szín-chipjét vizsgáltuk most is. A mérések eredményét a következő táblázat mutatja be:

	$\Delta E < 1$	$1 < \Delta E < 2$	$2 < \Delta E < 10$	$10 < \Delta E < 49$	$\Delta E > 49$
n (db)	6	51	964	802	49
%	0,32 %	2,72 %	51,50 %	42,84 %	2,62 %

5.3. táblázat. Az első mérések összesített eredménye a CIELAB színtérben a ΔE_{2000} távolságokat nézve

Az eredmények azt mutatják, hogy ebben a színtérben vizsgálva valóban közelebb kerültek egymáshoz a színek, mivel a számításokban nagyobb súlyt kapnak a színezetért felelős paraméterek. Igaz, csak 6 db esetében, de lett olyan, ami szinte teljesen azonos az elvárt értékkel. További 51 db, vagyis az összes minta 2,72 %-a szinte azonos a kívánt értékkel, szemmel nem látható különbség van csak közöttük. A minták több, mint fele, 51,5 %-a igazán hasonlít az elvárt értékekhez, ami összességében azt jelenti, hogy a mérések csaknem 55 %-ában valójában viszonylag kicsi a távolság a színek között. Igaz, további 802 esetben,

azaz 42,84 %-ban ránézésre látható a különbség, valamint van 49 eset, amelynél teljesen más a szín, mint amit vártunk. Azonban ebben a megközelítésben már közel sem akkora a probléma, mint ahogy azt előre gondoltuk, főleg úgy, hogy ez a színtér, amiben vizsgáljuk sokkal jobban reprezentálja az emberi látást.

Ezen eredményeket értékelve továbbra is kérdéses, hogy miért nem tudunk az esetek nagy többségében olyan eredményt elérni, mely az első két kategóriába tartozik, azaz a ΔE_{2000} értéke kisebb, mint 2. Számos ok megfordult a fejünkben: lehet, hogy ez a maximális hatékonysága a Lightroom korrekciós eljárásának? Ebben lehet ráció, hiszen a módosítások során valószínűsíthetően nem fogja tudni az összes színminta értékét ugyanolyan mértékben közelíteni az elvárthoz, mely az eredményeken is meglátszik. Egy korrigált kép esetében elmondható, hogy átlagosan 14-16 színminta esetében tudott az algoritmus közelebb kerülni az elvárt értékekhez, mindezt sajnos a többi színminta kárára, melyek általában távolabb kerültek az elvárttól. Itt lesz nagy jelentősége annak a problémának, hogy nem ismerjük, hogy a Lightroom milyen szisztéma szerint javít a színmin-tákon, melyek azok az elemek, melyeket a korrekció során jobban súlyoz, fontosabbnak ítél meg. Másik felvetésünk az volt, hogy elképzelhető, hogy a ColorCheckerünk az idő során elöregedett, ezáltal nem tudja ugyanolyan hatékonyan kiszolgálni a színkorrekciót. A gyártó (X-Rite) közlése szerint idővel a minták kifakulnak, így hozzávetőlegesen 18-24 havonta érdemes új eszközt venni a lehető legjobb színkorrekciós eredmények elérése érdekében [10]. Amikor ez a lehetőség a látókörünkbe került, rögtön intézkedtünk egy új eszköz beszerzésével kapcsolatban, mert addigra az általunk használt ColorChecker már csaknem 4 éves lett, amely már majdnem kétszerese a gyártó által javasolt csereintervallumnak. (Ezek tükrében érdekes vizsgálat lehet az új és a régi eszköz hatékonyságának és valóban tapasztalható színbeli különbségének összehasonlítása is.)

5.7. ColorCheckerek kimérése

Nagyban nehezítette a munkánkat, hogy konkrétan, hivatalosan és teljesen egyértelműen nincsenek definiálva a ColorChecker paletta 24 színmintájának a pontos RGB vagy CIEL*a*b* színkódjai. Vannak az interneten elérhető leírások és táblázatok, azonban pontosan nem lehet tudni, hogy mikori gyártású ColorCheckerekre vonatkoznak az adatok. Szerettünk volna megbizonyosodni az elérhető adatok hitelességéről, hiszen az is nagyban befolyásolja az eredményeinket (idő közben volt egy színmódosítás), hogy mihez viszonyítunk. Ennek érdekében a beszerzett ColorMeter Pro színmérővel elvégeztük mindkét ColorCheckerünk színmintáinak megmérését.

	Katalógus értékek			Régi ColorChecker			Új ColorChecker		
Szín	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L	a*	b*
Barna	37,99	13,56	14,06	35,15	11,02	13,62	34,99	11,94	14,02
Bőr	65,71	18,13	17,81	62,41	13,84	20,32	62,16	13,82	18,87
Égkék	49,93	-4,88	-21,93	48,50	-3,37	-20,03	47,61	-3,05	-19,85
Növényzet	43,14	-13,1	21,91	39,80	-12,16	21,78	39,62	-11,65	22,66
Kék virág	55,11	8,84	-25,4	53,76	8,22	-24,06	53,15	8,85	-23,84
Kékeszöld	70,72	-33,4	-0,2	69,17	-27,91	5,34	68,82	-28,28	5,22
Narancssárga	62,66	36,07	57,1	58,40	32,79	56,86	57,88	32,32	55,39
Liláskék	40,02	10,41	-45,96	40,32	7,72	-43,27	39,83	7,73	-43,60
Halvány vörös	51,12	48,24	16,25	49,09	40,98	13,59	48,86	40,85	13,78
Lila	30,33	22,98	-21,59	28,85	20,94	-21,46	27,78	20,89	-21,83
Citromsárgászöld	72,53	-23,71	57,26	69,48	-21,71	54,93	68,84	-21,54	55,59
Narancssárga	71,94	19,36	67,86	67,16	18,68	63,57	66,66	18,89	63,68
Kék	28,78	14,18	-50,3	28,57	8,77	-47,95	28,41	11,34	-47,39
Zöld	55,26	-38,34	31,37	53,35	-34,94	33,89	53,19	-35,94	34,01
Vörös	42,10	53,38	28,19	37,89	45,87	26,74	38,37	43,86	26,43
Citromsárga	81,73	4,04	79,82	77,47	3,11	74,80	77,11	2,67	75,10
Magenta	51,94	49,99	-14,57	49,93	43,05	-16,73	49,76	43,76	-17,06
Cián	51,04	-28,63	-28,64	52,01	-25,60	-19,41	51,64	-25,86	-19,92
Fehér	96,54	-0,43	1,19	93,00	-1,04	3,86	92,83	-0,80	2,92
Szürke 1	81,26	-0,64	-0,34	78,34	-0,30	0,00	78,70	-0,32	0,36
Szürke 2	66,77	-0,73	-0,50	64,58	-0,27	-0,32	64,74	-0,18	-0,40
Szürke 3	50,87	-0,15	-0,27	47,89	-0,03	-0,54	48,45	0,28	0,06
Szürke 4	35,66	-0,42	-1,23	32,88	-0,96	-1,35	34,08	-0,66	-0,58
Fekete	20,46	-0,08	-0,97	16,52	-1,84	-0,53	16,75	-0,89	-0,64

5.4. táblázat. A fellelhető katalógusértékek, a régi eszköz mért értékei és az új eszköz mért értékei

5.8. ColorChecker mérési eredmények értékelése, elvárások konkretizálása az eredmények tekintetében

A mért értékekből látható, hogy mindkét ColorChecker esetében tapasztalhatunk eltérést az megadott értékekhez képest. Ennek figyelembevételével a méréseink kiértékelésénél pontosabb adatokkal fogunk tudni számolni. A kérdés viszont jelen esetben az, hogy miként tudjuk ezekkel a mért értékekkel és az

eltérésekkel korrigálni a méréseinket? A bemeneti képen ugyanis egy valós viszonyokat nézve eltérő bemeneti értékekkel rendelkező ColorCheckereket használunk, mivel az eszköz így lett legyártva. A korrekció során a Lightroom és a Darktable viszont az általuk ismert katalógusértékekre próbálja visszaállítani a színeket. Ezáltal, ha ezzel sikerrel is jár, akkor valójában a távolság a színminták és az elvárt értékek között kicsi lesz, azonban a valós színeket így sem tudtuk visszaállítani, hiszen a kimért bemeneti értékekkel egyező végeredmény jelenetén a kép valós színezetét. Érdekes probléma ez, mely megoldásához további kutatómunka és rengeteg utánajárás szükséges, amennyiben releváns a feladat szempontjából a megoldása. Megfigyelhető továbbá az is, hogy a két eszköz azonos színmintái között is van különbség, ez akkor lesz igazán érdekes, ha a két ColorChecker által nyújtott színtkorrekciós teljesítményt vizsgáljuk.

A színezetről és a színterekről gondolkodva, valamint az eredményeket látva megfogalmazódott bennünk, hogy pontosan mit lenne szükséges jó eredményként elfogadni. Két eset lehetséges: az algoritmusunk az emberi színlátás szerint kategorizálja a távolságértékeket, ezáltal egy kicsit pontatlanabban, de az emberi percepcióra épülve fogadunk el egy eredményt, amely előállt a színtkorrekció során. A másik lehetőség az, hogy nem foglalkozunk az emberi látással és színérzékeléssel, hanem azt vesszük, hogy ez egy gépi látással kapcsolatos probléma, mely során a gép valójában pixel színösszetevő értékeket lát, és ha abban már csak kis különbséget is tapasztal, akkor hiába nem látható az szabad szemmel, annak a különbségnek jelentősége van. Ennek oka az, hogy konkrét értékeket összehasonlítva nagyon kicsi különbségeket is meg tudunk határozni, melyeket szabad szemmel nem vennénk észre, így a gépi látásos megközelítés egy sokkal szigorúbb feltétel lenne. Ez a megközelítés igazából a növényélettani problémához nagyon jól passzol, hiszen elképzelhető, hogy szabad szemmel még nem látható, de számításokkal már kimutatható színváltozás már előrejelezi egy élettani folyamatváltozás bekövetkezését. Ellenben egy olyan esetben, ahol mondjuk falfestékek színét szeretnénk összehasonlítani, ahol az emberi érzékelés által érzékelt különbségre helyeződik a hangsúly, nem feltétlenül szükséges az észlelhetetlen különbségek figyelembevétele.

Ahogy azt már korábban említettem, a CIEL*a*b* színtér nagyban hasonlít az emberi színérzékelésre, ez közelíti meg leginkább az emberi látást. Ezt, valamint az előző bekezdésben leírtakat figyelembe véve, a színtérben számított ΔE_{2000} értékek meghatározása és osztályozása igazán a második megközelítés esetében lenne jobban releváns. Persze, az első esetben is fel lehet használni a ΔE_{2000} távolságokat, és abban az esetben, ha azok megfelelően kis értékek, akkor valójában mindkét probléma meg van oldva.

5.9. Új és régi ColorChecker párhuzamos vizsgálata a fotódobozban, színeskorrekció

Az új eszközeink adta új lehetőségek kihasználásával újabb tesztek kezdhetünk, mely a színeskorrekció eredményességére irányul, bízva az eredmények javulásában. Mind az új, mind a régi ColorCheckerről készítettünk képeket a fotódobozban, még hozzá több fehérgegensúly-beállítást kipróbálva. Készítettünk képeket automata módban (3000-7000 K), napos időhöz (5200 K), árnyékos időhöz (7000 K), felhős időhöz (6000 K), izzóhoz (3200 K) és fénycsőhöz (4000 K) definiált beállításokban [2]. Ezzel valójában mesterségesen eltorzítottuk a képek színezetét, hogy az algoritmusok színeskorrekciós hatékonyságát tanulmányozhassuk. Ahogy azt a fotódoboz leírásában bemutattam, az eszköz fényforrásának színhőmérséklete nagyjából 5500 K körüli, mely a legközelebb talán a napos beállításhoz van, így a valósághoz leginkább hasonló képek ebben a beállításban kellene, hogy készüljenek.



5.5. ábra. Képsorozat

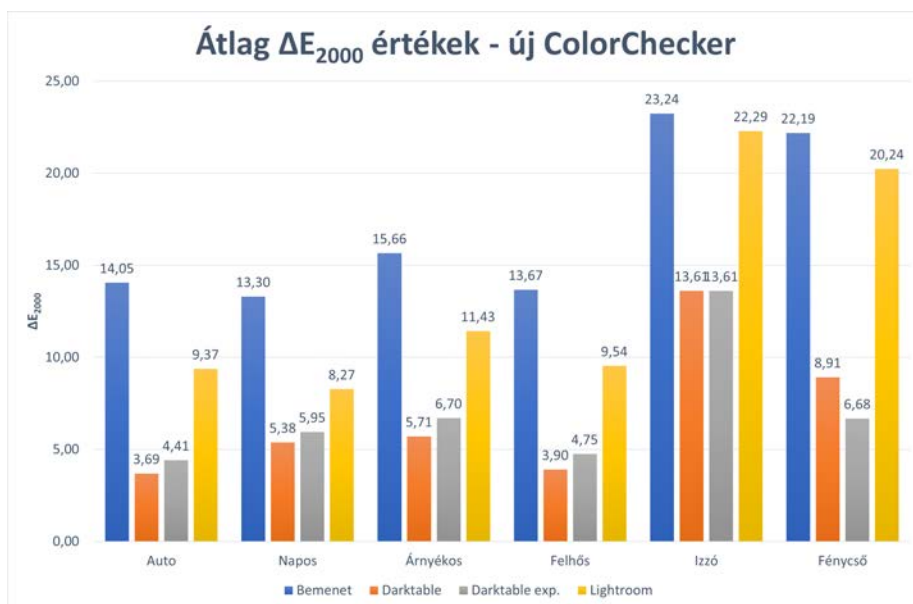
Így, hogy ismert a megvilágítás színhőmérséklete, máris jól fel lehet paraméterezni az RGB és a CIEL*a*b* szinterek közötti konverziót a megfelelő, előre definiált és az interneten szabadon elérhető változókkal. Ennek következtében az átváltásokat minden eddiginél pontosabban fogjuk tudni elvégezni, ezáltal a mért különbségek is sokkal közelebb kerülnek a valósághoz.

A kísérletek során minden beállítás mellett számos felvételt készítettünk. A színcorrekciót egyesével, minden egyes képen külön-külön el kellett végeznünk, ráadásul nem is egy, hanem két programmal korrigáltunk minden képet. A Lightroommal és a Darktable-lel egyaránt megvizsgáltuk a színcorrekció eredményességét, így párhuzamot tudunk vonni az egyes programok hatékonyságával kapcsolatban. Az eredményeket minden azonos körülmények között készült kép átlagos értékeiből állítottuk össze. Azt tapasztaltuk, hogy az egy kategóriába tartozó képekből előállt eredmények programonként nagyon hasonlóak lettek.

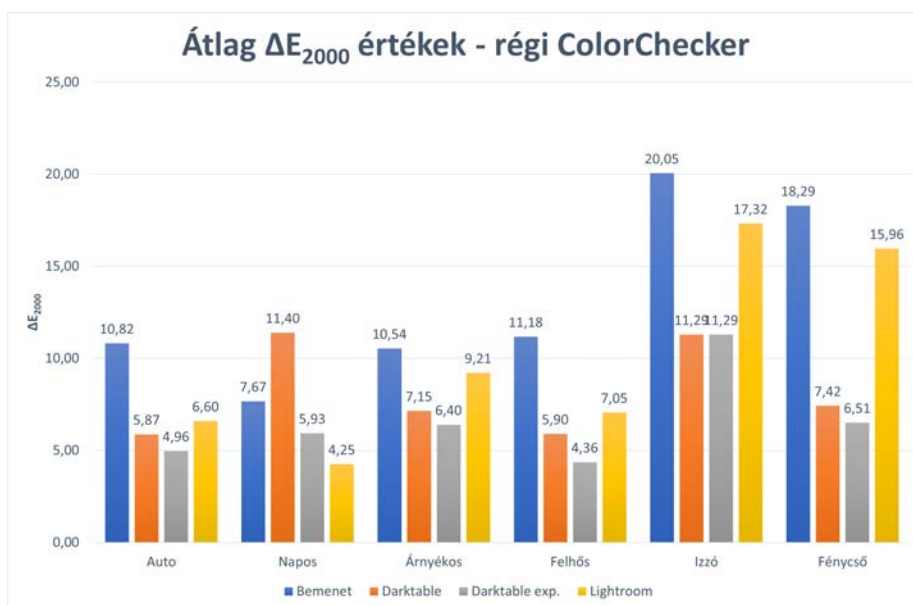
Az eredményeket négy kategóriára osztva lehet képenként értelmezni. Az első kategória (kék) mindig a bemeneti, még nem korrigált képekre vonatkozik. A második kategória (narancssárga) a Darktable-lel korrigált képekre vonatkozik, akárcsak a harmadik kategória (szürke), annyi különbséggel, hogy ebben a kategóriában expozíció kompenzáció is történt. A negyedik kategória (citromsárga) a Lightroommal korrigált képekre vonatkozik.

Az alábbi ábrákon az új és a régi ColorChecker nyújtotta színcorrekciót párhuzamosan szeretném bemutatni. Igaz, a két eszköz összehasonlítása konkrétan nem szerepel a projekt keretein belül, azonban kíváncsiak voltunk, hogy melyik milyen hatékonysággal végzi el az elérhető programokkal a színcorrekciót.

Az első két ábrán szeretném a fehéregyensúly-beállítás függvényében megmutatni az átlagos ΔE_{2000} értékeket, melyeket a mért képekből gyűjtöttünk. Az átlag értékek az egész színpalettára vonatkoznak, azaz az egyes színminák átlagos eltéréseinek az átlaga, tehát az egész palettára vonatkozó értékeket lehet megfigyelni.



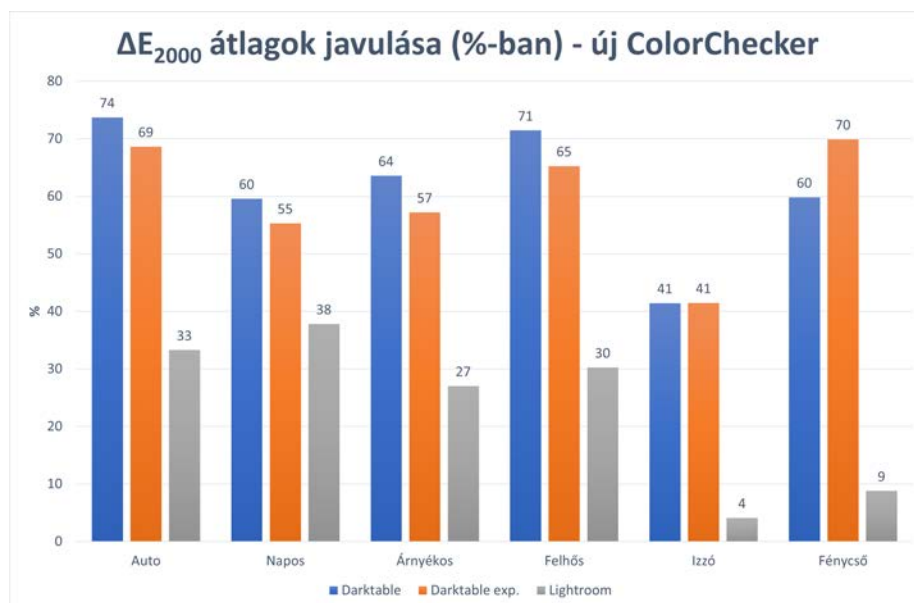
5.6. ábra. Átlagos ΔE_{2000} értékek az új ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve



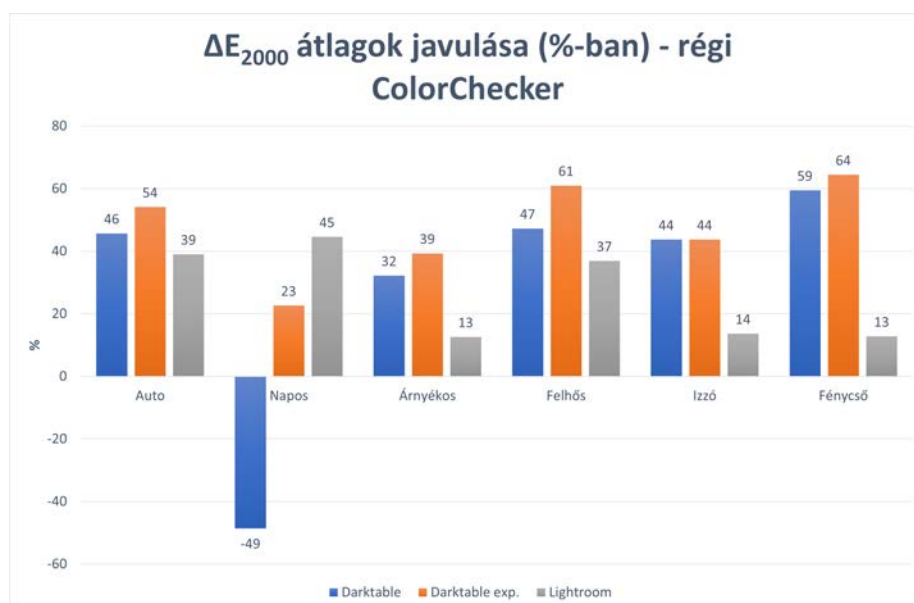
5.7. ábra. Átlagos ΔE_{2000} értékek a régi ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve

A felső diagramon nagyon jól látszik, hogy minden egyes beállítás esetében a bemeneti képeknek nagyobb az átlagos ΔE_{2000} értéke, mint bármelyik hozzá tartozó, színpontkorrekciójának alávetett eredménynek. Egyértelműen megfigyelhető az is, hogy az új ColorChecker esetében minden beállítás esetében a Darktable algoritmus kisebb átlagértékeket generált, mint a Lightroom. A régi ColorChecker esetében már érdekesebb a helyzet: a bemeneti képen mérhető ΔE_{2000} értékekhez képest nem figyelhető meg olyan drasztikus változás egyik esetben sem, mint az új eszközt felhasználva, valamint volt olyan beállítás is, mely során átlagosan nagyobb lett az eltérés a kimeneti képen, mint az eredetin. A színek torzulásának szempontjából az utolsó két kategória az, amelyben jelentős torzulás figyelhető meg a bemeneten, ezen esetekben, tehát a szélsőséges esetekben a darktable sokkal jobb - már-már a többi kategóriához nagyon hasonló - eredményt ér el, mint a Lightroom. Összességében elmondható, hogy a expozíciókompenzáció nem változtat számottevően az átlagos eltérések alakulásán.

A következő diagramok az átlagosan mért javulást mutatják be százalékosan a fehéregyensúly-beállítás függvényében. Itt is az egész eszközre vonatkozóan értelmezendők a százaléértékek, minden színminta eredményét figyelembe véve.



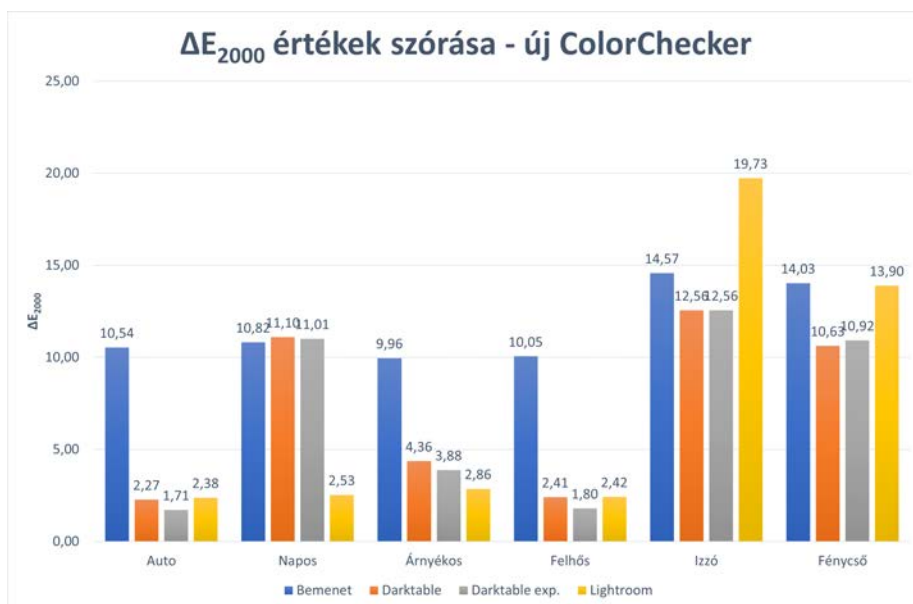
5.8. ábra. %-ban kifejezett javulás a bemeneti képekhez viszonyítva az új ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve



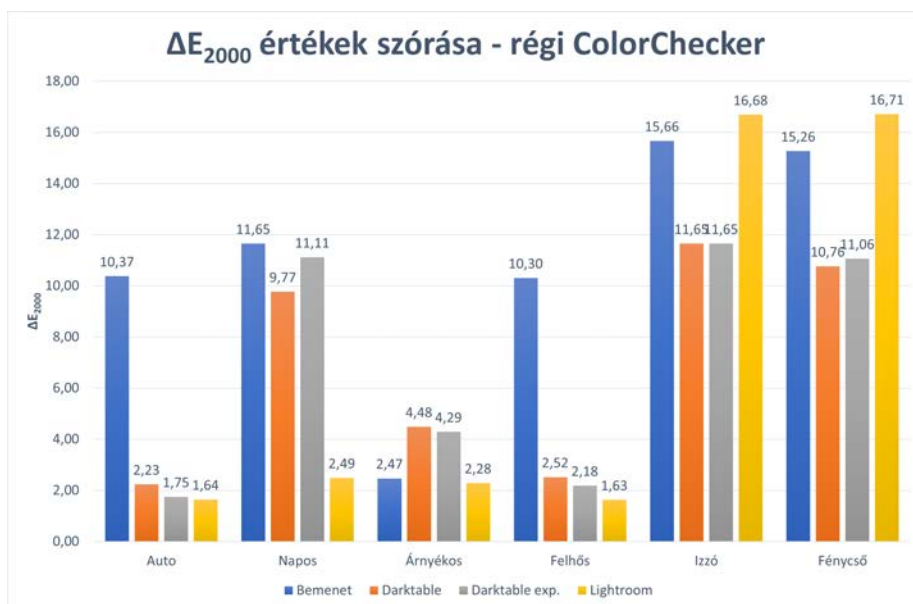
5.9. ábra. %-ban kifejezett javulás a bemeneti képekhez viszonyítva a régi ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve

Az eredmények hasonlóak. Ezt is vártuk, hiszen ugyanazt a paramétert vizsgáltuk, mint az előbb, csak egy kicsit más megközelítésben. Látható, hogy arányaiban véve a Darktable az esetek nagyon nagy többségében magasán a legjobb átlagos javulással rendelkezik, emellett itt is látszik, hogy az expozíciókompenzációnak nincs számottevő hatása. Az is látható, hogy a Lightroom általában valóban nem működik olyan hatékonyan, mint a Darktable, különösen igaz ez a szélsőséges torzulásokat felvonultató esetekben. Megfigyelhető továbbá az is, hogy az új eszközzel végrehajtott színkorrekció a legtöbb esetben arányosan jobb eredményhez vezetett a bemeneti értékekhez viszonyítva.

Az átlagok alap esetben nem rendelkeznek túlságosan sok mondanivalóval, az adatok szórása viszont az átlaggal együtt nagyban be tudja határolni, hogy milyen intervallumban fordulnak elő a mért eredmények nagy számmal. A következő két diagramon is a színpalettákra egészében vonatkozva jelennek meg a szórás értékek a fehéregyensúly-beállítás függvényében, azaz az összes színmintára vonatkozó egyedi eredmények szórásainak átlaga szerepel a kimutatásban.



5.10. ábra. Átlagos ΔE_{2000} -ben kifejezett szórás az új ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve

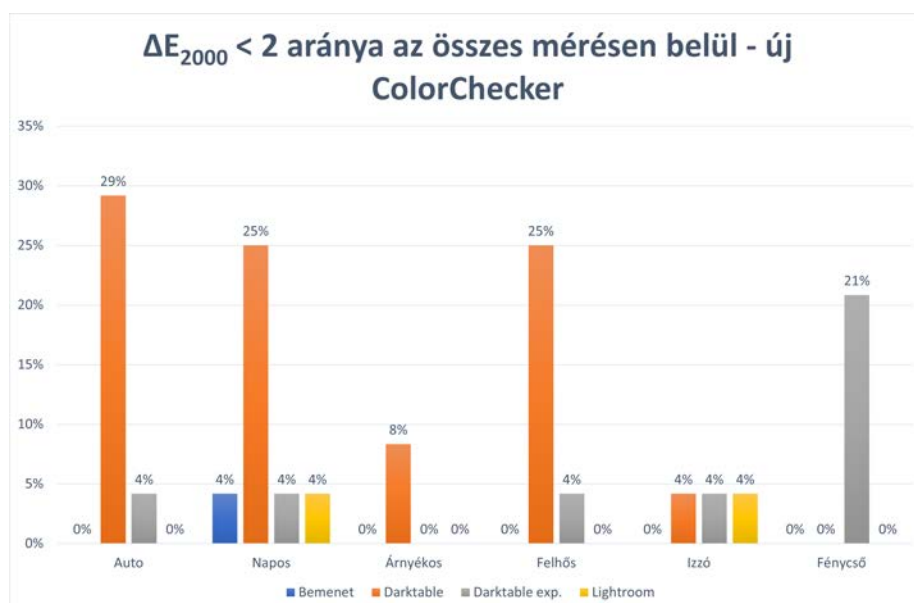


5.11. ábra. Átlagos ΔE_{2000} -ben kifejezett szórás a régi ColorChecker felhasználásával, az egész eszközre nézve

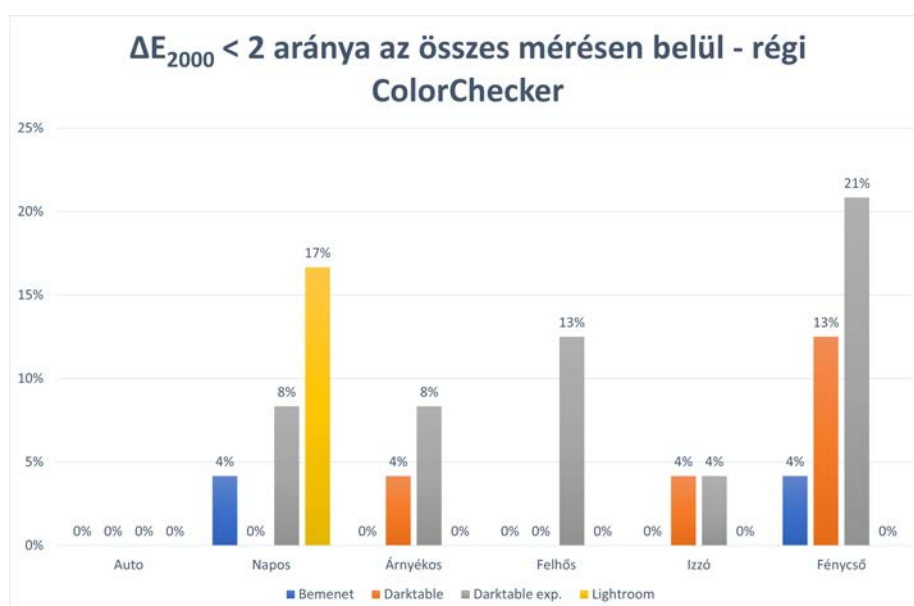
A szórás tekintetében a következőt lehet elmondani: az beállítások vonatkozásában szinte minden esetben kisebb átlagos szórást tudott bármelyik program elérni a színeskorrekció után a bemeneti átlagos értékekhez képest. Látható, hogy szórás tekintetében a Lightroom az esetek nagyjából felében, ezáltal a Darktable is az esetek közel felében ér el jobb eredményt. Itt is megfigyelhető, hogy a szélsőséges torzulások korrekciója során a Darktable jóval kisebb szórást ér el, mint a Lightroom. Az eszközök tekintetében nem figyelhető meg számottevő különbség a szórás alakulásában, azaz nagyjából egyforma a beállítás függvényében a régi és az új eszköz eredménye.

Ha az átlaggal együtt vizsgáljuk az eredményeket, akkor azt figyelhetjük meg, hogy a Darktable rendre kisebb átlagához tartozik vagy kisebb, vagy közel azonos szórás a Lightrooméhoz viszonyítva. Ezáltal azt a következtetést lehet levonni, hogy a Darktable átlagosan kisebb hibát generál a színeskorrigált képeivel, amelyekbe tartozó adatok közelebb is vannak egymáshoz, mint a Lightroom esetében. Ezek alapján elmondható, hogy a darktable jobban oldja meg a színeskorrekciót, mint a Lightroom.

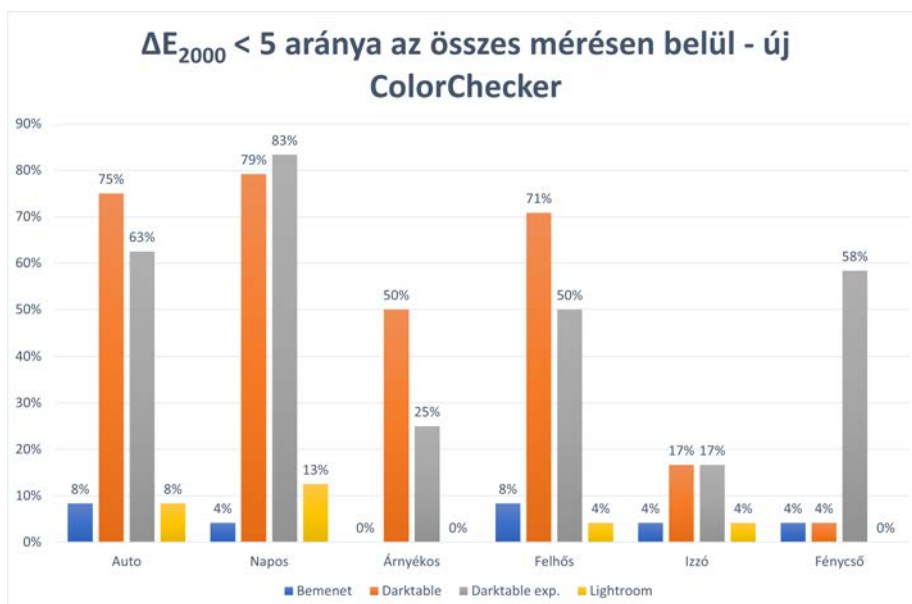
Az eredmények értékelése szempontjából az a kérdés, hogy mi az a legkisebb ΔE_{2000} érték, amelyet elfogadunk úgy, hogy az a színeskorrekció maximális teljesítménye, ezáltal azokat az értékeket kell a közel valós értékeknek elfogadnunk. A következő grafikonokon két esetben mutatom meg, hogy a színminták hány százaléka tartozott bele a teoretikusan megfogalmazott elfogadhatósági intervallumba. Két esetet vizsgáltunk meg: amikor a ΔE_{2000} értékének kisebbnek kell lennie, mint 2, valamint kisebbnek kell lennie, mint 5. Jelen algoritmusokat és átlagos ΔE_{2000} értékeket vizsgálva az első intervallum valószínűleg túl szigorú feltétel, holott az lenne az ideális eredmény.



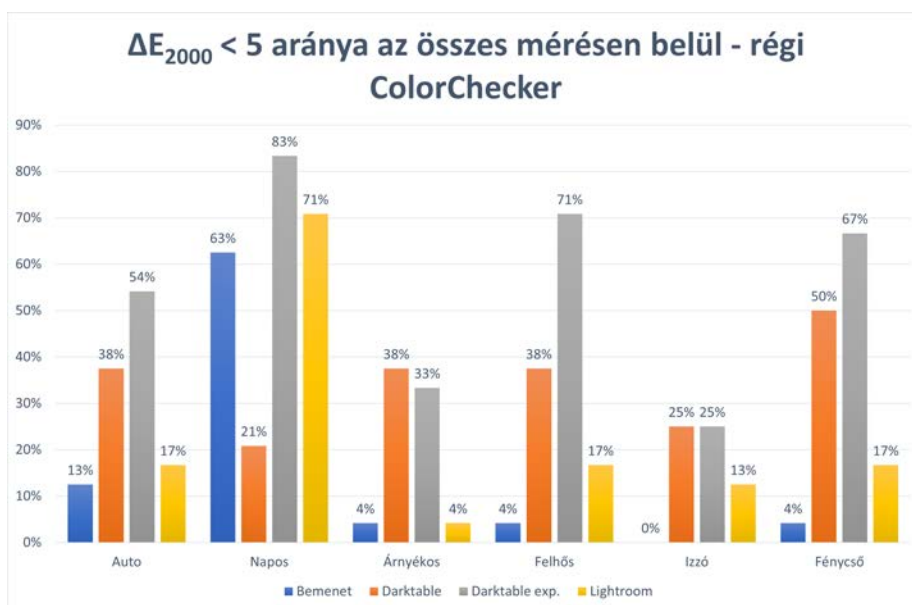
5.12. ábra. $\Delta E_{2000} < 2$ aránya az összes vizsgált színmintában az új ColorChecker felhasználásával



5.13. ábra. $\Delta E_{2000} < 2$ aránya az összes vizsgált színmintában a régi ColorChecker felhasználásával



5.14. ábra. $\Delta E_{2000} < 5$ aránya az összes vizsgált színmintában az új ColorChecker felhasználásával



5.15. ábra. $\Delta E_{2000} < 5$ aránya az összes vizsgált színmintában a régi ColorChecker felhasználásával

Az eredmények láttán több dolgot is meg tudunk fogalmazni. Az egyik, hogy a bemenethez képest szinte minden esetben nőtt a kimeneten a feltételnek megfelelő színminták aránya legalább az egyik algoritmus esetében. Látható azonban, hogy a $\Delta E_{2000} < 2$ feltétel valóban nagyon szigorúnak bizonyul ezen eljárások számára. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy lehetetlen olyan színkorrekciós eljárást készíteni, mely mondjuk a színminták 75%-ában teljesíti ezt az elvárást, azonban ezek az algoritmusok nem képesek rá. A $\Delta E_{2000} < 5$ feltétel esetében - mely azt jelenti, hogy van valamennyi különbség a két szín között, mely szemmel nem igazán látható - már sokkal jobb eredményeket kapunk, nem ritka a 70-80%-os hatékonyság sem.

Itt is látszik továbbá, hogy a Darktable egy beállítás kivételével minden esetben arányosan több színmintának tudja az eltérését a megszabott határok alá csökkenteni. Szinte minden esetben nagyobb arányban lesz a bemenethez viszonyítva a Darktable adta eredményekben olyan, amely megfelel a kritériumoknak, mint a Lightroom eredményeit figyelembe véve, melynél előfordul, hogy nem is tud előállítani a kritériumnak megfelelő kimenetet, míg a Darktable igen.

Megjegyzendő továbbá, hogy a régi ColorChecker esetében nagy javulás tapasztalható a sima Darktable-ös korrekció és a még ezen felül expozíciókompenzált korrekció között. Arra tudunk ebből következtetni, hogy az öregebb ColorChecker nem alkalmas annyira a fényerősség kompenzációjára önmagában mint az új, a manuális beállítással nagyot lehet azonban javítani az eredményeken. Lehet, hogy az öregedésnek főleg erre van hatása a színkorrekció szempontjából.

5.10. Színkorrekciós mátrix

A fent leírtak alapján elmondható, hogy a Darktable algoritmusát érdemesebb a színkorrekció, mint folyamat tanulmányozására felhasználni. Nagy előnye még, hogy minden egyes színkorrekció esetében megad egy úgynevezett színkorrekciós mátrixot, melyet a ColorChecker elemzése során állít elő, amellyel a program maga is korrigálja a képeinket. Ezen mátrixok kigyűjtése és vizsgálata lehetővé teszi nekünk, hogy bizonyos fehéregyensúly-beállítás értékekhez létrehozzunk egy általános korrekciós mátrixot a kimért adatok alapján. Így valójában, amennyiben meg tudjuk határozni, hogy milyen fényviszonyok között készültek a képeink egy fix beállítás mellett, akkor képesek vagyunk az előre definiált mátrixok közül kiválasztani egyet, amely ahhoz a viszonyhoz tartozik, és azzal korrigálni a képek színezetét.

Ezen mátxok meghatározása jelenleg is folyamatban van, az adatok mély kiértékelése szükséges a megfelelően működő mátrixok előállításához.

$$\begin{bmatrix} +1,2036 & -0,1332 & -0,0623 \\ -0,1044 & +1,0684 & +0,0461 \\ -0,1331 & +0,0540 & +1,0470 \end{bmatrix}$$

A fenti mátrix egy konkrét színtkorrekcióhoz tartozik. Ilyen mátrixok elemzésével tervezzük felállítani azokat az összesített mátrixokat, melyeket a beállítások függvényében alkalmazni tudunk majd.

6. fejezet

Következtetések

Az előző fejezetekben ismertetett eredmények hosszas gondolkodásra ösztönöztek minket. Igaz, a színtérváltás meghozta a hatását, valójában azt, ami-re számítottunk. Egy olyan színtérben, ami jobban kiemeli a színezetet és kevésbé a világosságot és a fényerőt, közelebb vannak a színeink egymáshoz, mint az elsőre látszott. A színezetet kiemelő valós kép mellett az összemérhetőség miatt is fontos volt, hogy a CIE L*a*b* színtérben vizsgáljuk a színeinket.

Megfigyelhettük, hogy alapvetően nincs nagy különbség a régebbi és az újabb ColorChecker között a színtérkorrekció eredményességét tekintve, a régi eszköz expozíciókompenzációra való képességének mértéke az, amely a fő eltérést okozhatja a két eszköz hatékonysága között bizonyos körülmények esetén.

A megfigyeléseink alapján a Darktable minden tekintetben hatékonyabban végzi a színtérkorrekciót a Lightroomhoz viszonyítva. Emiatt, valamint a belőle kiolvasható színtérkorrekciós mátrixok miatt is indokolt a program működésének elemzése, az elérhető adatok kinyerése. Végül soron egy ehhez hasonlóan működő eljárást szeretnénk megalkotni, mely önállóan képes elvégezni a színtérkorrekciót, mentesen bármiféle aktív emberi beavatkozástól.

Fontos tisztáznunk, hogy a gépi látáshoz, vagy az emberi látáshoz szeretnénk igazítani a rendszerünk által szolgáltatott eredmények elfogadásának kritériumait. A gépi látásnak való megfelelés sokkal szigorúbb feltételeket támaszt, melyek kielégítésével az emberi látás által támasztott feltételeknek is megfelelünk. Ezt elérni azonban sokkal nehezebb, mint az emberi látáshoz való viszonyítást, ha egyáltalán az elérhető szoftveres és hardveres eszközök ezt lehetővé teszik.

Fontos továbbá az is, hogy nem feltétlenül kell minden egyes színmintának a színezetét az ideális tartományba hozni. Az eltérések tekintetében minimalizálni kívánt színminták kiválasztása felhasználási igény függő. A hangsúlyos hullámhossztartomány(ok)ban lévő színekhez tartozó színminták korrekciója talán minden feladat kulcsponjtja. Fontos viszont az is, hogy nem lehet a többi színmintát a végletekig alávetni a kiválasztott elemek korrekciójának, hogy azok ne torzuljanak túlságosan, előidézve a kép többi - nem a vizsgált hullámhosszú színeket nagy mértékben nem tartalmazó - részeinek a súlyos torzulását.

A projekt során eddig számos kérdésbe ástuk bele magunkat, lehet, hogy kicsit mélyebben is, mint indokolt lett volna. A végkifejlet szempontjából bizonyos, hogy egyszerűsíteniünk kell a vizsgálataink kiterjedését, kifejezetten a probléma gyökerére fókuszálva. Nagyon sok hasznos eredménnyel gazdagodtunk, a mérésre megírt algoritmusaink nagyon jól működnek. Mindezen megfontolások egyre közelebb visznek minket a probléma megoldásához, melyet a kezdetekkor megfogalmaztunk. A valós színi differenciák sztenderd kimérésére már építeni lehet a saját megoldásainkat, melyek a statisztikus módszerektől a színi feature-ökon át többfélék lehetnek.

7. fejezet

Összegzés

A megfigyeléseink során megtapasztaltuk, hogy miként működik két ismert szoftver színeskorrekciója, milyen hatékonysággal végzik a színeskorrekciót. A megfigyeléseink és méréseink alapján létre tudunk hozni egy olyan rendszert, mely egy fix fehér egyensúly-beállításhoz viszonyítva képes a fényviszonyok tükrében korrigálni a képek színezetét, visszaállítva a valós színi értékeket.

8. fejezet

Köszönetnyilvánítás

Mindenek előtt szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Várady Gézának mind emberi, mind szakmai segítségét, mely nélkül a dolgozat nem készülhetett volna el. Támogatásával és iránymutatásával segítette a munkát, mely számomra nagy szakmai fejlődést jelent.

Szeretném megköszönni továbbá a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karának, azon belül is az Informatika és Villamos Intézetnek, valamint a Műszaki Informatika Tanszéknek, hogy minden tárgyi, lehetőségi támogatást megadtak a projektben való munkálkodásom során.

A munkát a PTE MIK Huawei SEEDs Kiválósági Ösztöndíj támogatta, a pályamunka a Huawei Technologies Hungary Kft. támogatásával készült.

Irodalom

- [1] *A látás szervei*. URL: https://www.szinkommunikacio.hu/11_14.htm.
- [2] *Canon Knowledge Base - Setting White Balance on the EOS R5*. URL: <https://support.usa.canon.com/kb/index?page=content&id=ART178223>.
- [3] *CIELAB color space - Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/CIELAB_color_space.
- [4] *ColorChecker Passport Photo 2 — Request A Quote from X-Rite*. URL: <https://www.xrite.com/categories/calibration-profiling/colorchecker-classic-family/colorchecker-passport-photo-2>.
- [5] Haritha Dasari és Chakravarthy Bhagvati. *Distance measures in RGB and HSV color spaces An improved unique canonical labeling for frequent subgraph mining View project Covid Prediction View project*. 2005. URL: <https://www.researchgate.net/publication/221205971>.
- [6] Erno Dittrich és tsai. “Transpiration effect of Tufted sedge for a horizontal subsurface flow constructed wetland”. *Water Science and Technology* 79 (10 2019. máj.), 1905–1911. old. ISSN: 0273-1223. DOI: 10.2166/WST.2019.187. URL: <https://www.brc.ac.uk/plantatlas>.
- [7] Adrian Ford, Alan Roberts és Alan Robertsard. *Colour Space Conversions*. 1998.
- [8] *Mavic 2 - DJI*. URL: <https://www.dji.com/hu/mavic-2>.
- [9] Rob Sumner. “Processing RAW Images in MATLAB”. (2014).
- [10] *X-Rite Announces ColorChecker Passport Photo 2 and ColorChecker Camera Calibration Software 2.0 for ICC Profiles*. URL: <https://www.xrite.com/about-us/news-events/press-releases/x-rite-announces-colorchecker-passport-photo-2>.
- [11] Bratek Zoltán és tsai. *A növényi anyagcsere élettana*. 2013. URL: <http://www.renderx.com/>.