

**Tallinna Ülikool
Informaatika instituut**

VÄRVUSTE TRANSFORMATSIOONI PROTSESS

Bakalaureusetöö

Autor: Liia Paas

Juhendaja: Olev Räisa

Autor: „ „ **2009**

Juhendaja: „ „ **2009**

Instituudi direktor: „ „ **2009**

Tallinn 2009

Autorideklaratsioon

Deklareerin, et käesolev bakalaureusetöö on minu, Liia Paasi töö tulemus ja seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud.

.....
(kuupäev)

.....
(bakalaureusetöö kaitsja allkiri)

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. VÄRVIMUDELID JA FAILI SALVESTUSFORMAADID.....	6
1.1. Värvimudelid.....	7
1.1.1. RGB värvimudel.....	7
1.1.2. CMYK värvimudel.....	9
1.1.3. CIE XYZ värvimudel.....	11
1.1.4. CIE LAB värvimudel.....	11
1.2. PhotoShopCS4 failiformaadid.....	12
2. SISENDSEADMED TRANSFORMATSIOONI PROTSESSIS.....	14
2.1. Skannerid.....	14
2.1.1. Skanneri kalibreerimine ja profiilimine.....	16
2.2. Digitaalfotoaparaadid.....	23
2.2.1. Digitaalfotoaparaadi kalibreerimine ja profiilimine.....	24
2.3. Failiga varustamine.....	25
3. TÖÖTLEMISE TASAND.....	26
3.1. Monitorid.....	26
3.1.1. LCD monitoride töö põhimõtted.....	26
3.1.2. Monitori kalibreerimine ja profiilimine.....	27
3.2. Värvuste transformatsioon PhotoShopCS4'ja keskkonnas.....	33
3.2.1. PhotoShop'i värviruumid.....	33
3.2.2. Värviprofiili määramine (Assign Profile).....	35
3.2.3. Värviprofiili konvertimine (Convert to Profile).....	37
3.2.4. Tõlgendusviisid (Rendering Intent).....	39
4. VÄLJUNDSEADMED TRANSFORMATSIOONI PROTSESSIS.....	40
4.1. Printerid.....	40
4.1.1. Printeri kalibreerimine ja profiilimine.....	41
4.2. Trükikoda.....	47
5. TÖÖVOOD.....	49
5.1. Varajane sidumine (early binding).....	49
5.2. Hiline sidumine (late binding).....	50
5.3. Värvuste transformatsioon töövoos.....	51
KOKKUVÕTE.....	55
KASUTATUD KIRJANDUS.....	57
SUMMARY: Color Transformation Process.....	59
LISAD.....	60
LISA 1. Kalibreerimisseadmete värvitabelid printeri profiilimiseks.....	61
LISA 2. Värvitabel digitaalfotoaparaadi profiilimiseks.....	62
LISA 3. PhotoShotpCS4 värviruumid.....	63
LISA 4. Tõlgendusviisid.....	64

SISSEJUHATUS

Infotehnoloogia valdkonnas eksisteerib erinevat liiki informatsiooni, milledeks võivad olla tekst, graafika, audio ja video. Seoses graafilise infoga on üheks oluliseks probleemiks, kuidas garanteerida, et erinevatel töötlustappidel oleksid värvused samalaadsed. Näiteks, fotograaf teeb digitaalfotoaparaadiga pildi ning viib fotol sisse mõningad korrektuurid, kasutades selleks mõnda fototöötlusprogrammi, nagu PhotoShop ja saadab foto fotolaborisse printimisele. Fotolaborist saab fotograaf tagasi foto, mis võib oluliselt erineda sellest, mida ta nägi oma arvutimonitoril. Veel võib näiteks tuua fotode skaneerimise. Üldjuhul, kui vaadata arvutimonitoril skaneeritud fotot, siis see võib oluliselt erineda originaalist.

Antud töö on suunatud inimestele, kes puutuvad oma töös kokku pilditöötlusega ning kellele on tähtis, et pildi värviesitus oleks võimalikult sarnane originaaliga. Selliste inimeste hulka kuuluvad näiteks graafika disainerid, digitaalfotograafid ja reklaami kujundajad.

Teema on töö autorile väga huvipakkuv, sest autor tegeleb juba mitmendat aastat digitaalse maalimise, digitaalfotograafiaga ja ka veebilehtede kujundamisega. Värvuste transformatsiooni probleem on kõigi kolme valdkonnaga väga tihedalt seotud. Kui tegemist on kas maali, foto või veebilehe kujundusega, siis soovib nende looja, et nad oleksid võimalikult sarnased originaalile kõikides töötlusprotsessi faasides.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on luua ülevaade värvuste transformatsiooni protsessidest graafilise info töötlemise erinevates faasides ning vaadeldakse, kuidas minimeerida värvuste muundumist erinevates faasides. Selle eesmärgi saavutamiseks uuris töö autor, kuidas transformatsioonis osalevad seadmed, nagu skanner, monitor ja printer, töötavad ning millisel moel on võimalik neid seadmeid seadistada selleks, et tagada võimalikult korrektne värviesitus.

Esimeses peatükis antakse ülevaade erinevatest värviruumidest, milledest olulisemateks on RGB, CMYK, CIE XYZ ja LAB. Tuuakse välja ka PhotoShopi erinevad failiformaadid.

Teises peatükis uuritakse transformatsiooni protsessi esimest faasi ja selles faasis kasutusel olevaid seadmeid (sisendseadmeid). Vaadeldakse skannereid, digitaalfotoaparaate ja juhtumit, kui fail peaks sisenema töövoogu teise osapoole käest.

Kolmas peatükk on pühendatud transformatsiooni protsessi teisele faasile, milleks on töötlemine.

Seal vaadeldakse monitore ning töötlemiseks kasutatavat töötlusprogrammi PhotoShopCS4.

Neljandas peatükis uuritakse töötlusfaasile järgnevat faasi - väljundfaasi. Selles peatükis pööratakse tähelepanu printeritele ning ühtlasi selgitatakse, mida tasub teha enne faili saatmist trükikotta.

Viiendas peatükis on kõik eelnevad faasid ühendatud üheks terviklikuks töövooks. See peatükk kajastab kõikide transformatsiooni protsessi faaside koosmõju. Enamikul juhtudel pakub huvi mitte üks konkreetne värvuste transformatsiooni faas, vaid töötlusprotsess tervikuna.

1.VÄRVIMUDELID JA FAILI SALVESTUSFORMAADID

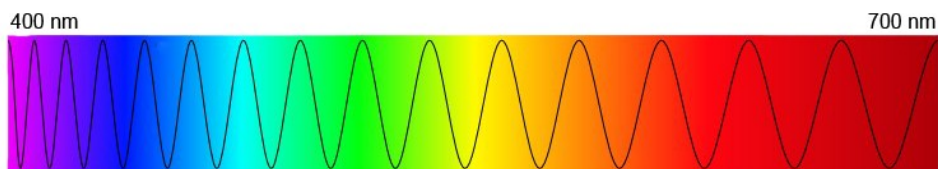
Värv ja värvus on abstraktsed mõisted, kuid selleks, et neid üheselt mõista on vaja teatud formalismi. Lahenduseks on värvimudelite kasutusele võtmine. Värvimudeleid on võimalik koostada mitmesuguseid, nagu näiteks RGB ja LAB, aga nende kõigi eesmärgiks on kirjeldada värvust kõikitele üheselt mõistetavalt. Et neid paremini mõista, tuleks kõigepealt lahti seletada värvi mõiste.

Värviaistingu tekke protsessis on kolm komponenti: valgusallikas, objekt ja vaatleja (vt Joonis 1). Vaatleja silmas luuakse värviaisting tänu valgusallikast tuleva valguse teatud vahemikku jäävatele lainepikkustele ja seda modifitseerib objekt. Kui muuta ühte nendest kolmest, siis muutub ka värviaisting ehk inimene näeb teist värvi.[1]



Joonis 1: Värviaistingu tekke komponendid: valgusallikas, objekt, vaatleja.

Inimesed näevad värve tänu valgusele. Valgusel endal küll puudub reaalne värv, kuid erineva lainepikkusega valguskiired, jõudes inimese silma, tekitavad inimese ajus erinevaid värviaistinguid. Näiteks valguskiir, mille lainepikkuseks on 650 nanomeetrit, tekitab punase värviaistingu, 510 nanomeetrit roheline ja 475 nanomeetrit sinise [2]. Kui need lainepikkused jõuavad inimese silma, siis näeb inimene vastavalt punast, rohelist ja sinist värvi.



Pilt 1: Nähtav spekter. Violettsel värvil on kõrgeim sagedus ja lühim lainepikkus, punasel on madalaim sagedus, aga pikim lainepikkus. [3]

Ükski printer, monitor või fotoaparaat ei ole võimeline edastama tervet nähtavat spektrit, neil kõigil on oma piiratud värvivarium, millest tingitult jääb allika originaalvärvidest teatud osa edastamata.

1.1. Värvimudelid

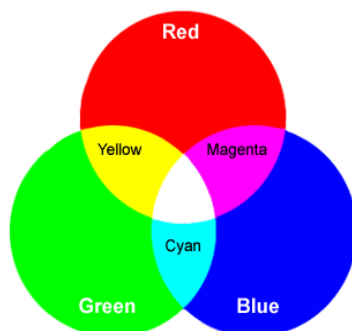
Infotöötlusprotsessis on paratamatu, et värvuste esitamiseks (salvestamiseks, töötlemiseks) tuleb kasutusele võtta mingi formalism. Selleks on loodud erinevad värvimudelid. Värvimudelid võib jagada kahte klassi: seadmepõhised ja seadmetest sõltumatud.

Seadmepõhised mudelid on RGB ja CMYK. Tegelik värv, mille me saame antud RGB või CMYK numbrilistest väärtustest, on omane ainult sellele seadmele, mis seda kuvab. See tähendab seda, et samad RGB või CMYK numbrilised väärtused võivad anda erinevad värvid erinevatel seadmetel. Näiteks, kui vaadata erinevatel monitoridel fotot, millel on konstantsed numbrilised RGB väärtused, siis igal monitoril on see pilt värvide poolest erinev.

Seadmetest sõltumatud mudelid on CIE XYZ ja CIE LAB. Selle asemel, et kasutada numbreid, mida seadmed kasutavad värvide loomiseks, põhinevad need numbrilisel korteežil, näiteks CIE LAB mudeli korral $\langle L, a, b \rangle$, kus L defineerib heleduse, A kirjeldab värvust teljel, mille ühes otsas on sinine ja teises otsas kollane värvus ja B kirjeldab värvust teljel, mille otstes on punane ja roheline. Need mudelid väljendavad inimese värvitaju ja nendes süsteemides vastab ühele numbrile kindel värv.

1.1.1. RGB värvimudel

RGB on värvimudel, mille puhul liidetakse kokku punane, roheline ja sinine valgus (vt Pilt 2). Mudeli nimi koosneb selle kolme põhivärvi esitähedest inglise keeles *Red* punane, *Green* roheline, *Blue* sinine.



*Pilt 2: RGB värvide segunemine.
(Roheline, punane, sinine/ tsüaan,
kollane, magenta). [4]*

RGB värvimudelit nimetatakse ka aditiivseks mudeliks. Vastavalt Young-Helmholtz'i teooriale, on inimese silma võrkkestas kolmele tüüpi kolvikesi, mis on tundlikud punasele, rohelinele ja sinisele valguskiirgusele. Seetõttu loetakse nimetatud kolme värvi aditiivse sünteesi põhivärvusteks. Neid võib nimetada ka genereerivateks ehk tekitavateks põhivärvideks. Nende kahekaupa segamisel tekivad heledamad värvid. Punane ja roheline segunevad kollaseks, roheline ja sinine tsüaaniks ja sinine ning punane magentaks. Kui kõik kolm põhivärvi segunevad oma maksimaases küllastuses ja kindlates proportsioonides, on tulemuseks valge (vt Pilt 2). Erineva küllastuse ja vahekordade korral võime saada lõputu hulga erinevaid värvivarjundeid.[5]

RGB värvimudelit kasutatakse peamiselt värvide esitamiseks elektroonikas, näiteks televiisorites ja kuvaritel, seda mudelit kasutatakse ka konventsionaalses fotograafias. RGB mudelil oli juba enne elektroonika ajastut kindel teoreetiline tagapõhi, mis baseerus inimese värvitajul.[6]

Meenutades, et RGB on seadmepõhine mudel ja sellest tulenevalt tekib olukord, et erinevad seadmed registreerivad ja esitavad antud RGB väärtust erinevalt, sest värvi elemendid ja nende reageering individuaalsetele R, G ja B tasemetele varieerub tootjalt tootjale või tekib erinevus isegi samal seadmel erineval ajahetkel. Seega, RGB ei defineeri ühte ja sama värvi erinevate seadmete puhul. Näiteks RGB väärtustega 17, 69 ja 7 annab tulemuseks tumerohelise, aga erinevatel seadmetel ei pruugi anda need väärtused sama tumeduse astmega rohelist. [6]

Tüüpilised RGB sisendseadmed on videokaamerad, skannerid ja digitaalkaamerad. Tüüpilised RGB väljundseadmed on televiisorid, arvutite ja mobiiltelefonide kuvarid, videoprojektorid, multivärvilised LED¹ kuvarid ja suured ekraanid nagu JumboTron². [6]

RGB värv on tavaliselt 24-bit süsteem, sest igale kanalile määratakse enamikel juhtudel 8 bitti. Kaheksa bitti võib kirjeldada 256 värvi. Kui iga kanali 256 värvi korrutada omavahel (256x256x256), saame lõplikku värvide arvu, milleks on 16 777 216 värvi.

1 **LED (Light Emitting Diode)** – valgusdiod. Pooljuhtdiod, mis läbiva voolu toimel kiirgab valgust. Üksikuid valgusdiode kasutatakse elektroonikaseadmetes näit. seadme sisselülitumise indikatsiooniks ja muuks olekuindikatsiooniks. Informatsiooni kuvamiseks kasutatakse valgusdiodipaneele (väikestest taskukalkulaatori paneelidest kuni väga suurte reklaamitahvliteni tänavail). (e-Teatmik)

2 **JumboTron** on suure-ekraaniline televisioon, mis kasutab Sony poolt loodud tehnoloogiat, enamasti kasutatakse neid spordiväljakutel ja kontsertidel, et näidata lähikaadreid üritusest. (Wiki)

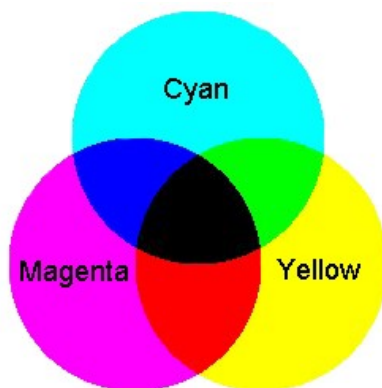
1.1.2. CMYK värvimudel

CMYK on lühend sõnadest *Cyan*, *Magenta*, *Yellow* ja *black* ning tihti viidatakse sellele kui protsessivärv (*process color*) või nelivärv (*four color*). Tegemist on lahutava värvimudeliga ja seda kasutatakse printimisel.

CMYK värvimudeli puhul on tegemist subtraktiivse sünteesiga. Värvistantsidega töötamisel, näiteks trükkimisel, pindade katmiseks vajaliku värvi segamisel või värviliste filtrite asetamisel valgusallika ette, on tegemist subtraktiivse sünteesi seaduspärasustega. Värvistantsid absorbeerivad (neelavad) teatud kindla osa valguskiirgusest, ülejäänud osa reflekteerub (peegeldub), kutsudes esile teatud kindla värviaistingu.

Värvistantsi, mis absorbeerib lühilainelise violettsinise kiirguse ja reflekteerib pikalainelise punase ning keskmise lainepikkusega roheline, näeme me kollasena. Rohelise absorbeerumisel ja punase ning sinivioletse reflekteerumisel näeme magentat. Punase absorbeerumisel ja roheline ning sinivioletse reflekteerimisel tekib tsüaan värviaisting. [5]

Subtraktiivse sünteesi puhul lähtutakse just neist kolmest põhivärvist – kollasest, tsüaanist ja magentast (vt Pilt 3).



Pilt 3: CMY värvide segunemine. (Magenta, tsüaan, kollane). [7]

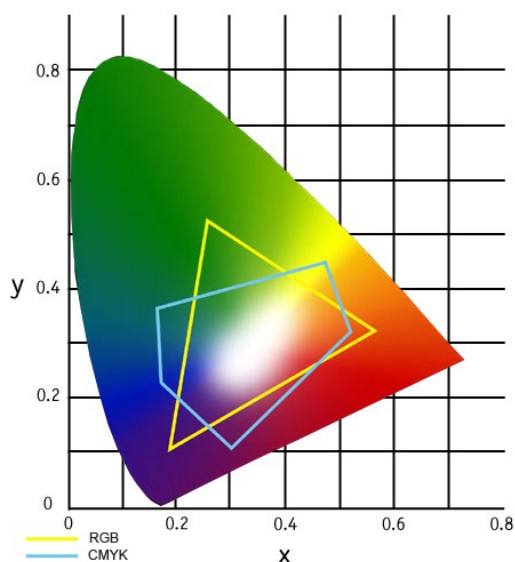
Segatud värvitoonid absorbeerivad rohkem valguskiirgust, seetõttu on need põhivärvidest tumedamad. Värvide kiirgusejõud segamisel väheneb, mistõttu seda nimetataksegi subtraktiivseks sünteesiks.

Kollane ja magenta segunevad punaseks, magenta ja tsüaanio violettsiniseks ja tsüaanio kollasega moodustab roheline. Kolme primaarvärvi – kollase, magenta ja tsüaanio segunemisel maksimaalsel intensiivsusel ja võrdsetes proportsioonides tekib must, see tähendab, et sellelt pinnalt vaguskiirgus enam ei reflekteeru (vt Pilt 3).

Subtraktiivse sünteesi seaduspärasuste kohaselt toimib fotograafia ja kolmevärvitrükk. Neljavärvitrüki juures kasutatakse lisaks musta, mis võimaldab sügavamate varjundite esiletoomist ning vähendab primaarvärvide kulu sügavmustade pindade saamiseks.

Subtraktiivse segunemise meetod oleks kõige ideaalsem siis, kui see koosneks ideaalsetest värvidest. Ideaalsete värvide korral mingi värvaine või materjal neelab või laseb läbi 100% antud värvitooniga valgust. Reaalsed värvid neelavad valgust või lasevad valgust läbi vahepeelses väärtuses. Subtraktiivse sünteesi primaarvärvide paariviisilisel segunemisel saadud värvid on seetõttu tuhmimad ja kõik kolm koos ei taga alati musta värvi teket. Selle probleemi lahendamiseks on kasutusele võetud neljas värv, milleks on must.

Pigmentvärvide segamisel toimub lisaks lahutamisele mingil määral ka aditiivne liitumine, kuna pigmendiosakesed peegeldavad valgust. Nii on vastandvärvide segamise tulemuseks sageli pruunika varjundiga tumehall.[5]



Pilt 4: RGB ja CMYK värviruumide võrdlus nähtaval spektril. [8]

CMYK ja RGB värviruumid erinevad oma ulatustelt (vt Pilt 4). Võrreldes RGB'ga sisaldab

CMYK värviruum vähem punaseid, rohelisi ja siniseid toone. Samas on CMYK värviruumis värve, mis puuduvad RGB värviruumist. Seega ei lange erinevate mudelite värviruumid kokku ning värvimudeli vahetusel, kas RGB'st CMYK'i või vastupidi, tuleb leppida osade värvide kaduga.

1.1.3. CIE XYZ värvimudel

CIE XYZ värvimudeli puhul on tegemist seadmetest sõltumatu mudeliga ja see arendati välja 1931. aastal *International Commission on Illumination* (lühidalt CIE, mis on tuletatud Prantsuse keelsest vastest) poolt. See mudel esitab värve nii nagu neid tajutakse kindlates vaatamistingimustes. See värvimudel kirjeldab värvust nii, nagu seda näeb normaalse värvusaistinguga indiviid. Iga väärtus, mida see defineerib (X, Y, Z), esindab imaginaararvu, mis põhineb pigem matemaatilisel mudelil kui tegelikul värvi väärtusel.[1]

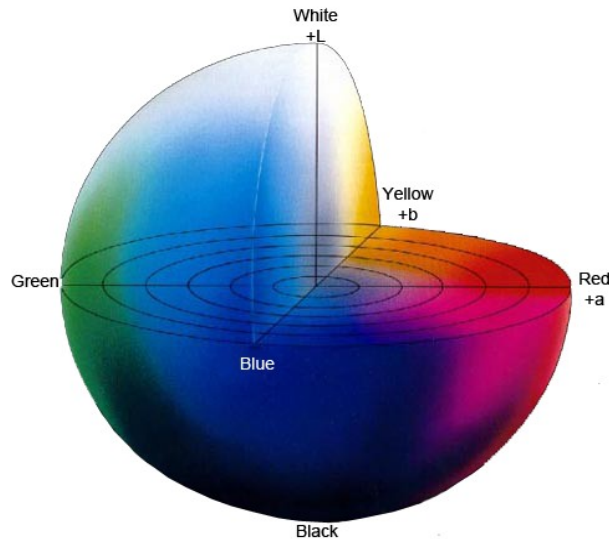
Rahvusvaheline Vagustuskomisjon, *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE, inglisekeelsetes maades ICI ja saksakeelsetes IBK), määrab värvi täpsemaks määratlemiseks kolm võimalust:

1. kolm värvikoordinaati lähtuvalt Grassmanni I seadusest³. Kokkuleppeliselt on nendeks monokromaatilised kiirgused R= 700 nm, G=546,1 nm ja B=435,8 nm;
2. 2 värvikoordinaati või värvitoon + puhtus;
3. värvitoon, küllastus, heledus. RGB (1) baasil loodud XYZ-värvikoordinaatide süsteem (2) on CIE soovitusel 1931. aastast rahvusvaheliseks standardiks värviküsimustes. [5]

1.1.4. CIE LAB värvimudel

CIE LAB värvimudel on kõige sagedasem kasutusel olev seadmetest sõltumatu mudel, mille CIE on loonud. LAB mudel koosneb kolmest kanalist, mille abil kirjeldatakse värvi. *Lightness* (heledus) kanal defineerib heleduse. „A“ kanal kirjeldab värvust teljel, mille ühes otsas on sinine ja teises otsas kollane värvus. „B“ kanal kirjeldab värvust teljel, mille otstes on punane ja roheline (vt Pilt 5). See mudel põhineb viisil, kuidas inimese nägemise süsteem tajub värvust ja see annab efektiivse viisi värvi kirjeldamiseks seadmetest sõltumatul kujul.[1]

³ **Grassmanni I seadus:** Liitkiirguse värvus sõltub ainult segatavate kiirguskomponentide värvusest ja ei sõltu nende spektraalkoostisest.



Pilt 5: LAB värvimudel: White- black tähistavad L kanalit, green-red A kanalit ja blue-yellow B kanalit. [9]

1.2. PhotoShopCS4 failiformaadid

PhotoShopil on graafilise info salvestamiseks erinevaid failiformaate. Järgnev tabel 1 annab ülevaate kõige rohkem kasutusel olevatest formaatidest ning täpsustab, millised nendest võimaldavad värviprofiili salvestamist ja millisel otstarbel neid sobib või ei sobi kasutada.

Tabel 1. Failiformaadid PhotoShopCS4'jas

Failiformaat	Soovitused kasutuseks	Toetab värviprofiili salvestamist (Jah/Ei)
Photoshop (*.PSD,*.PDD)	See laiend võimaldab salvestada faili erinevad kihid ja töötlemise erinevad tasemed. Sobib pildi värvitötluseks.	Jah
BMP (*.BMP,*.RLE,*.DIB)	Ei sobi värvitötluseks	Ei
CompuServe GIF (*.GIF)	Sobib veebigraafika tegemiseks.	Ei
Photoshop EPS (*.EPS)	Ei sobi failide töötlemiseks, mis lähevad tavalisse printerisse printimisele.	Jah
JPEG (*.JPG, *.JPEG, *.JPE)	Ei ole ideaalne värvitötluseks, aga sobib nii printimiseks kui ka veebis kuvamiseks.	Jah

Failiformaat	Soovitused kasutuseks	Toetab värviprofiili salvestamist (Jah/Ei)
PCX (*.PCX)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
Photoshop PDF (*.PDF, *.PDP)	Sobib teksti ja piltide küljenduse salvestamiseks.	Jah
Photoshop Raw (*.RAW)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
PICT File (*.PCT, *.PICT)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
Pixar (*.PXR)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
PNG (*.PNG)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
Scitex CT (*.SCT)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks tavalistele printeritele või fotolaborites.	Ei
Targa (*.TGA, *.VDA, *.ICB, *.VST)	Ei sobi värvitöötamiseks ja printimiseks.	Ei
TIFF (*.TIF, *.TIFF)	Sobib ideaalselt failide vahetamiseks ja printimiseks.	Jah

Pilditöötlemiseks on kõige parem kasutada kas PSD või TIFF formaate, sest mõlema puhul on võimalik salvestada värviprofiil ning nendesse formaatidesse salvestamisel ei toimu tihendamist (*compressing*), mida tehakse JPEG formaati salvestamisel. Tänu sellele, et salvestamisel ei toimu info kadu, on võimalik faili alati uuesti töödelda ja seejuures PSD või TIFF formaadi kasutamise korral pildi kvaliteet ei lange.

2. SISENDSEADMED TRANSFORMATSIOONI PROTSESSIS

Sisendseadmed on erinevate töötlusvoogude esimene etapp, sest kusagilt peab fail, mida töödeldakse, alguse saama. Sisendseadmeteks võivad olla erinevad digitaalfotoaparaadid ja skannerid. Erandlikult võib fail pärineda ka mõnelt teisel isikult, ehk siis pilt on tehtud või skaneeritud kellegi teise poolt. Käesolevas peatükis antakse nende seadmete terviklik iseloomustus, mis sisaldab seadme tehnilisi karakteristikaid ja selgitatakse, kuidas on võimalik seadmeid häälestada, et nad ei tekitaks värvuste transformatsiooni protsessis moonutusi.

2.1. Skannerid

Skaneerimisel on võimalik valida erinevate parameetrite vahel, näiteks teravus ja värvisügavus. Selleks, et skaneerimise tulemus oleks võimalikult kvaliteetne, tuleks kasutada õiget skannerit ja ka õigeid parameetreid. Selleks, et kasutaja suudaks teadlikult oma valikuid teostada, on vaja baasteadmisi seadmest endast. Järgnevalt selgitatakse välja, kuidas erinevad skannerid töötavad ja milliseid tehnoloogiaid on nende ehitamiseks kasutatud. Vastasel korral saaks sellesse suhtuda kui „musta kasti“, kuid „sisemuse“ seletamine loob eelduse kompetentsemate valikute tegemiseks.

Skanneri põhikomponendiks on CCD⁴. CCD koosneb väikestest valgustundlikest diodidest, mis muundavad valgust elektriliseks laenguks. Mida suurem on CCD elementide arv, seda kvaliteetsemat kujutist on skanner võimeline tegema. Odavamates skannerites kasutatakse CCD asemel CIS⁵e. CIS koosneb lineaarsest andurite reast, mida katab fokusseerimislääts ja mille külgedel asetsevad punased, rohelised ja sinised LED valgustid. CIS skannerid on odavamad, kergemad ja õhemad, aga nad ei suuda luua sama kvaliteetset või nii suure lahutusvõimega skanne nagu CCD skannerid. [10]

Skannerite lahutusvõime (*resolution*) sõltub CCD'l või CIS'il paiknevate sensorite arvust, s.t mida rohkem on sensoreid, seda suurem on ka lahutusvõime. Skanneritel on kahte tüüpi resolutsioone, optiline ja interpoleeritud. Optiline eraldusvõime on skanneri tegelik eraldusvõime. Interpoleeritud eraldusvõime on skanneri võime lisada skaneeritud materjalist

4 CCD - Charge-Coupled Device: *laengsidestusseadis*.

5 CIS - Contact Image Sensor

saadud digitaalsele pildile lisapunkte. Selleks tuletatakse lisatavate punktide väärtused naaberpunktide väärtustest. [11]

Skannerite teravus (*sharpness*) sõltub peamiselt läätse optilisest kvaliteedist ja valgusallika heledusest. Seega, hele ksenoonlamp ja kõrgekvaliteediline lääts võimaldavad teha palju teravamat skanni, kui standartne luminescentslamp ja tavaline lääts. [10]

Skannerite üheks oluliseks näitajaks on ka värvisügavus (*color depth*). See viitab värvide arvule, mida skanner on võimeline esitama. Mida suurem on värvisügavus, seda kvaliteetsem võib olla skaneerimise tulemus. Enamus skannerid toetab 24 bitist sügavust, mis annab umbes 16 miljonit erinevat värvitooni. On olemas ka 30 ja 36 bitilise värvisügavusega skannerid, aga nende väljund on ikka 24 bitine. Nendes skannerites toimub sisemine töötamise protsess, mille käigus tehakse võimalikult parim värvivalik laienenud paletist. [11]

Kasutusel on mitmeid erinevaid tüüpe skannereid, nagu lameskanner (*flatbed scanner*), leheskanner (*sheet-fed scanner*), käsiskanner (*hand scanner*) ja trummelskanner (*drum scanner*).

- Lameskannerid on kõige levinumad ning nad varieeruvad oma omadustelt kõige rohkem. Nende skannerite puhul asetatakse skaneeritav dokument või pilt lamedale klaasile ning CCD rida liigub klaasi ühest otsast teise, samal ajal skaneerides. Need skannerid on kõige rohkem kasutusel kontorites ja kodudes, sest nad on suhteliselt odavad, aga võimelised tegema kvaliteetset skanni.
- Leheskannerid on sarnased lameskanneritele, aga nendes liigub skaneeritav pilt ning skanneri pea on paigal. Need skannerid näevad välja nagu pisikesed printerid. Need skannerid on võimelised skannima piiratud paksusega lehti, seega kasutatakse neid enamjaolt dokumentide digitaliseerimiseks.
- Käsiskannerid kasutavad sama tehnoloogiat nagu lameskannerid, aga neid hoitakse käes ning liigutatakse üle skaneeritava objekti. Need skannerid ei skanni hea kvaliteediga pilte, aga sobivad väga hästi kiireks teksti skaneerimiseks. Sellised seadmed on kasutusel näiteks poodides, vöötkoodide lugemiseks.
- Trummelskannereid kasutatakse kirjastustööstuses kõrgekvaliteediliste ja detailsete skannide tegemiseks. Need skannerid kasutavad fotokordistustorude tehnoloogiat (PMT⁶). PTM⁶is pannakse skaneeritav dokument klaasist silindrile. Silindri keskel on

6 PMT – Photomultiplier Tube

sensor, mis jagab dokumendilt peegelduva valguse kolmeks kiireks. Iga kiir siseneb läbi värvifiltri fotokordistustorru, kus valgus muudetakse elektrisignaals. Neid skannerid kasutatakse fotolaborites kõrgekvaliteedilise skanni tegemiseks.[10]

Kui skaneerimise tulemus peab olema väga kõrge kvaliteediga, siis tuleks vaadata skannereid, millel on suur eraldusvõime ja värvisügavus ning kus kasutatakse korralikku teravustamise tehnoloogiat. Kõige kvaliteetsemat skanni on võimelised tegema trummelskannerid, aga need on suured ja rasked (võib kaaluda üle 90kg) ning nad on ka kallid. Kuid trummelskannerite puhul saab olla kindel, et see, mida skaneeritakse, saab olema ka lõpptulemuseks. Lameskannerid on märgatavalt odavamad ja ka kompaktsemad. Need ei ole võimelised tegema nii kvaliteetset skanni nagu trummelskannerid, aga nende kvaliteet on rahuldav. Kui kvaliteetse skanni saamiseks soovitakse kasutada lameskannerit, siis tuleks hoiduda skanneritest, mille lahutusvõime on kõrgeks aetud tänu interpolatsioonile ning kus kasutatakse CCD asemel CIS'i.

2.1.1. Skanneri kalibreerimine ja profiilimine

Kalibreerimine on seadme viimine kindlasse ja korratavasse olekusse, kusjuures selleks kasutatakse seadme enda kohandamisfunktsioone. Näiteks, kui muudame monitoril heledust (*brightness*), kasutades selleks monitoril paiknevaid nuppe, siis sisuliselt tegeletakse kalibreerimisega.

Teine osa, mis kuulub kalibreerimise juurde on profiilimine ehk ICC⁷ profiili loomine (vahel ka kui ICM⁸ profiili loomine). Profiilimine on seadme värvi väljundi mõõtmine ja seadmesse mineva signaali kohandamine, et saavutada võimalikult täpne värvi esitus. Kuidas see toimub? Näiteks, kui tahetakse saavutada mõnda kindla varjundiga värvi, olgu siis selleks kollane nr.22. Selleks saadetakse kõigepealt seadmele kollase nr.22 signaal ning vaadatakse, mis värvi seade tegelikult väljastab. Oletame, et väljastati kollane nr.30. Sellest võib järeldada, et seade väljastab liiga palju kollast. Järgmisena saadetakse madalam signaal, sest kollast on vaja vähendada, näiteks kollane nr.17. Nüüd väljastab seade soovitud kollase värvi, milleks oli kollane nr.22. Nüüd on teada, et kui soovitakse seadmelt esitada kollast nr.22, siis saadetakse sellele kollase nr.17 signaal. Seda protsessi korratakse erinevate värvide, mida rohkemate seda parem, puhul. Värvide arv ja ka variatsioonid, mida seadmele „sõodetakse“ sõltuvad kasutatavast

7 ICC – Internationale Color Consortium.

8 ICM - Integrated Color Management

kalibreerimise seadmest ja selle profiilimise tarkvarast. Näiteks, kui võrrelda omavahel printeri kalibreerimist Eye-One Match 3'e ja ColorMunki Photo'ga, siis Eye-One Match 3'e puhul on värvitabeli, mis sisaldab 323 erinevat värvi, värvilatus kordades suurem kui seda on ColorMunki Photo'l, mille värvitabelid sisaldavad kokku ainult 100 erinevat värvi (vt Lisa 1). Järelikult katab Eye-One Match 3 suuremas ulatuses värve ning tänu sellele on ka värviprofiil täpsem. Loogiliselt tasandilt vaadelduna on värviprofiili arvutamise tulemuseks tabel, kus on kirjas kõik sisestatavad värvust kodeerivad arvud ja neile väljundis vastavusse seatavad arvud (vt Tabel 2).

Tabel 2. Värvide vastandamine värviprofiilis

Punane 50 -> toodab -> Punase 32
Kollane 17 -> toodab -> Kollase 22
Kollane 22 -> toodab -> Kollase 30
jne.

Kõik need andmed salvestatakse ICC profiili, mis seotakse selle kindla seadmega. ICC profiilis seotakse põhimõtteliselt RGB väärtused CIE XYZ või LAB väärtustega, mis on stabiilsed ja omavad ühtesid ja samu väärtusi erinevates seadmetes. ICC profiile hoitakse operatsioonisüsteemi tasandil. Windows Vista ja XP korral asuvad need `\Windows\system32\spool\drivers\color` kataloogis. Mac OS X'l asuvad nad kahes erinevas kataloogis. Kõikidele kasutajatele kättesaadavad profiilid asuvad `/Library/ColorSync/Profiles` kataloogis ja administraatori õigusteta kasutajate korral asuvad nad `/Users/<kasutajanimi>/Library/ColorSync/Profiles` kataloogis, need profiilid on kättesaadavad ainult kindlale kasutajale. [12]

Värviprofiilidel on kolm suurt kitsendust:

1. Profiilimistarkvara pole võimeline konvertima kõiki seadme võimalikke värvisignaale, sest profiilid läheksid liiga suureks (gigabaitidesse), mis ei oleks praktiline.
2. Värviprofiilid ei saa panna seadet tegema midagi, milleks see ei ole võimeline. Näiteks, kui printer ei ole võimeline looma teatud varjundiga punast, siis ei saa värviprofiil seda talle ka kuidagi „külge pookida“, et seade seda esitaks.
3. Värviprofiilid on nii täpsed, kui seda on värvisignaali mõõtmine. Profiil on põhimõtteliselt hetktõmmis (*snap shot*) seadme käitumisest mõõtmise hetkel. Sellepärast on vaja seade enne profiilimist ka kalibreerida. [13]

Järelikult selleks, et ICC profiil oleks võimalikult täpne, tuleb alati enne profiilimist seade kalibreerida ning selles olekus ka hoida. Kui seadme käitumine muutub üle aja natukenegi, näiteks skanneri lamp muutub tuhmimaks või printeril vahetatakse tindikasseti, siis enne seda ajahetke loodud profiil ei ole enam korrektne. Seega, vana profiili kasutades, ei näita seade enam õigeid värve.

Miks peaks skannereid kalibreerima ja neile oma profiilid looma? Kuigi põhiline pilditöötlus toimub suuremas osas mõnes selleks otstarbeks loodud programmis ning see, mis kvaliteediga fail sisse skaneeriti ei oma erilist tähtsust, on siiski võimalik saada kasu skanneri kalibreerimisest ja profiilimisest. Näiteks, kui soovitakse skaneerida suures koguses häid pilte lihtsalt selleks, et neid digitaalselt arhiveerida. Nende piltide lisatöötlemine mõnes selleks mõeldud programmis osutuks aeganõudvaks. Kui skanner on korralikult kalibreeritud ja profiilitud, siis kaoks vajadus neid pilte omakorda veel töödelda.

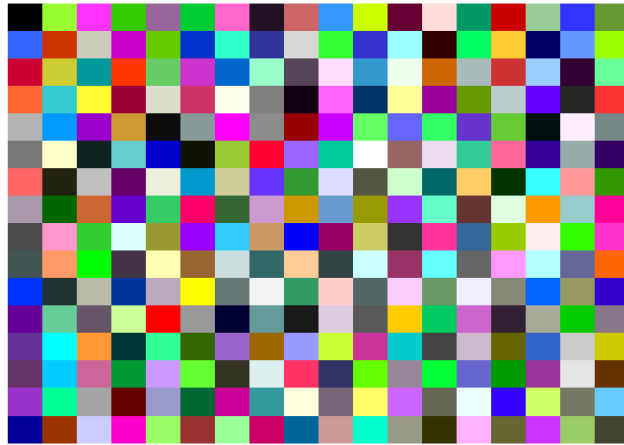
Skanneritel toimub kalibreerimine automaatselt. Iga kord kui skanner sisse lülitatakse, läheb ta tagasi talle omasesse algseisundisse. Skanneri profiilimiseks tuleks teatud funktsioonid nagu värvide parandamine ja pildi teravdamine maha võtta.

Profiilimise põhisammud:

1. Kõigepealt on vaja värvitabelit (vt Pilt 6), kus on ära toodud kindlad värvid. Värvitabeleid on võimalik soetada erinevatest värvihaldustehnikat müüvatest kauplustest. Eestis on võimalik neid leida näiteks Overall'ist⁹ või Kulbert'ist¹⁰.

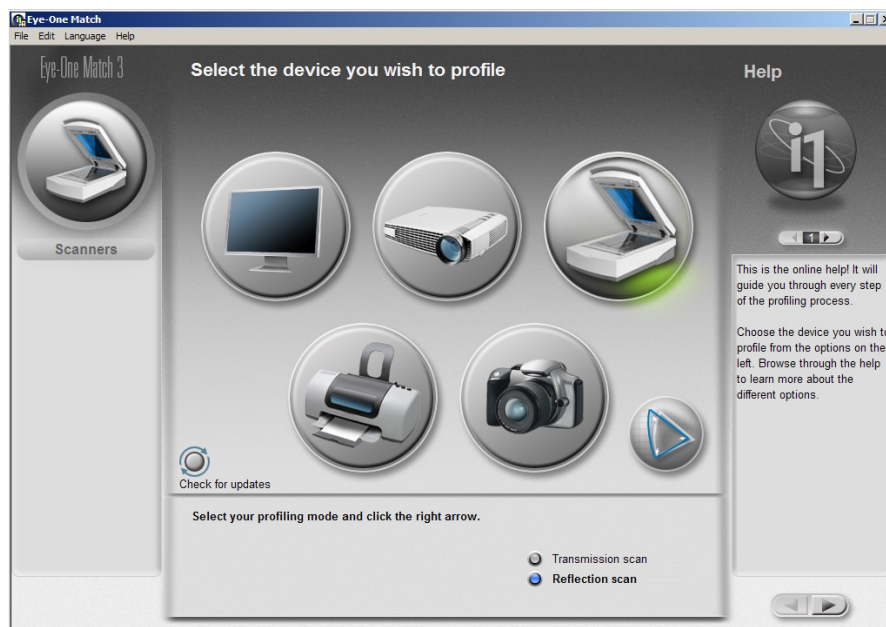
9 <http://www.overall.ee>

10 <http://www.kulbert.ee/>



Pilt 6: Värvitabel.

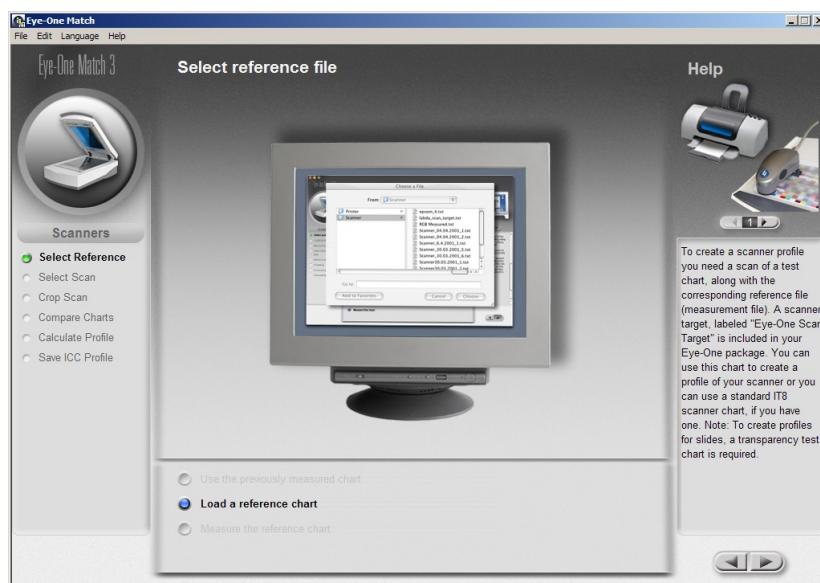
2. Skanneerda värvitabel ilma värvihalduse ja teravustamiseta. Need on võimalik välja lülitada skanneri sätetest.
3. Profiilimistarkvara jooksutamine ning õige seadme valimine (vt Pilt 7). Kui kasutatakse välist kalibreerimise seadet, näiteks Gretag Macbeth'i Eye-One Match 3, mida kasutati ka selle skanneri puhul, mida antud töö autor profiilis bakalaureusetöö kirjutamisel, siis nendel seadmetel on kaasas ka oma tarkvara, mis viib kasutaja samm-sammult läbi kogu protsessi.



Pilt 7: Profiilimistarkvaras, Eye-One Match 3, esimene samm: Seadme valimine.

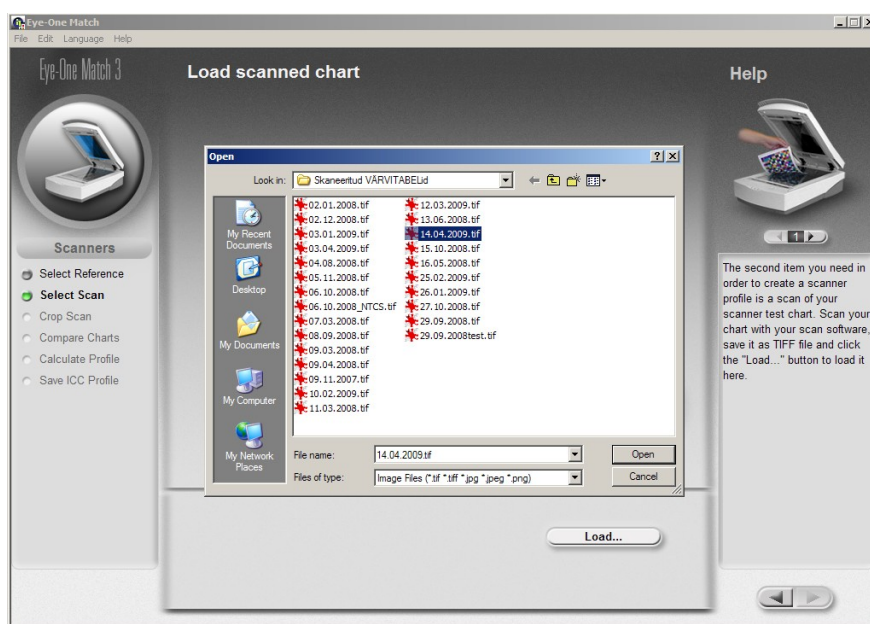
4. Viitevärvitabeli valimine (vt Pilt 8), tabel mis sisaldab „õigeid“ värve ning millega

hakatakse punktis 2 skaneeritud faili võrdlema. Viitevärvitabel on profiilimistarkvaraga kaasas ning selle leiab kataloogist, kuhu tarkvara on installeeritud.



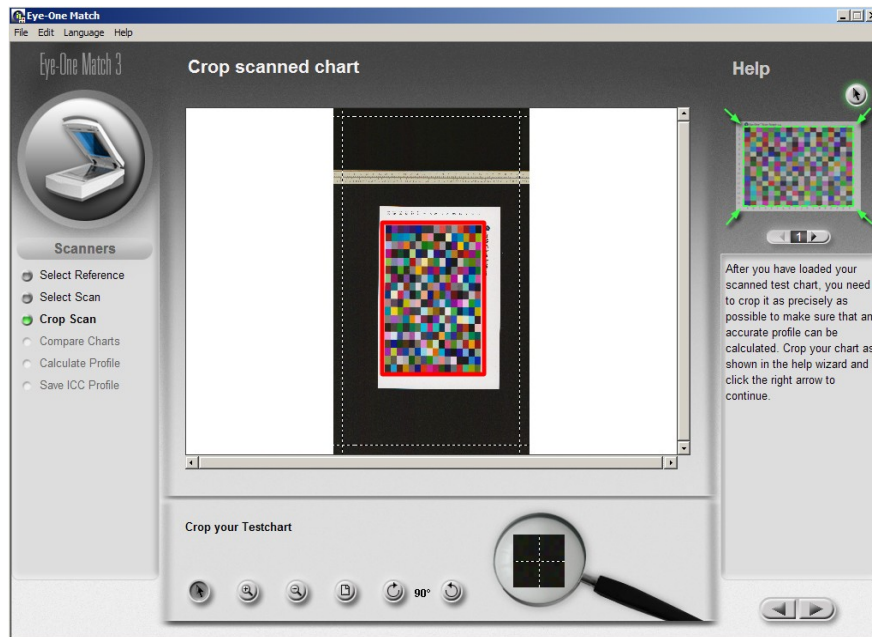
Pilt 8: Viitevärvitabeli valimine.

5. Punktis 2 skaneeritud pildi laadimine profiilimistarkvarasse (vt Pilt 9).



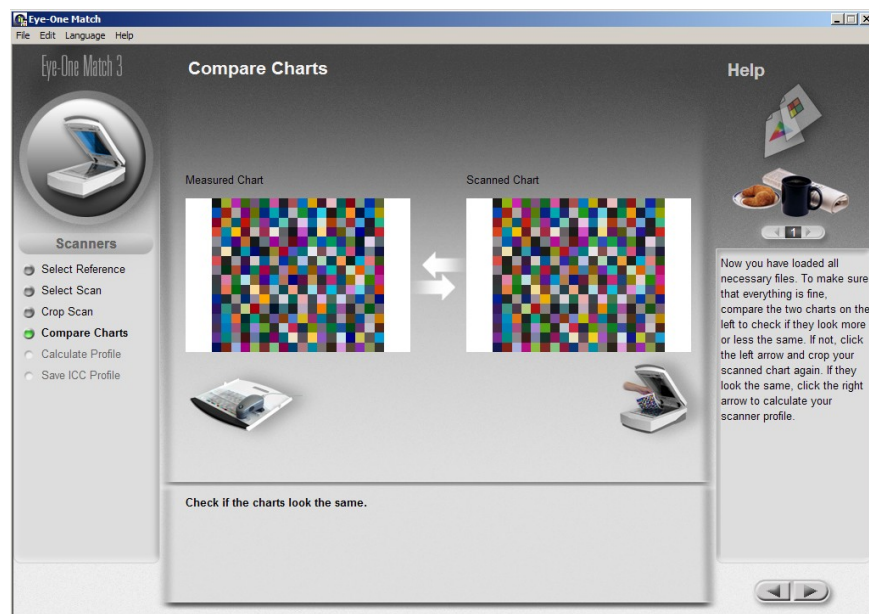
Pilt 9: Eelnevalt skaneeritud pildi valimine.

6. Punktis 2 skaneeritud faili kärpimine (vt Pilt 10). Maha tuleb kärpida kogu valge raam, mis ümbritseb värviruute. Alles jäetakse ainult see ala, mida tarkvara peab analüüsima (tähistatud joonisel punase kastiga). Fail tuleb kärpida võimalikult täpselt, et tagada korrektset profiili arvutamist.

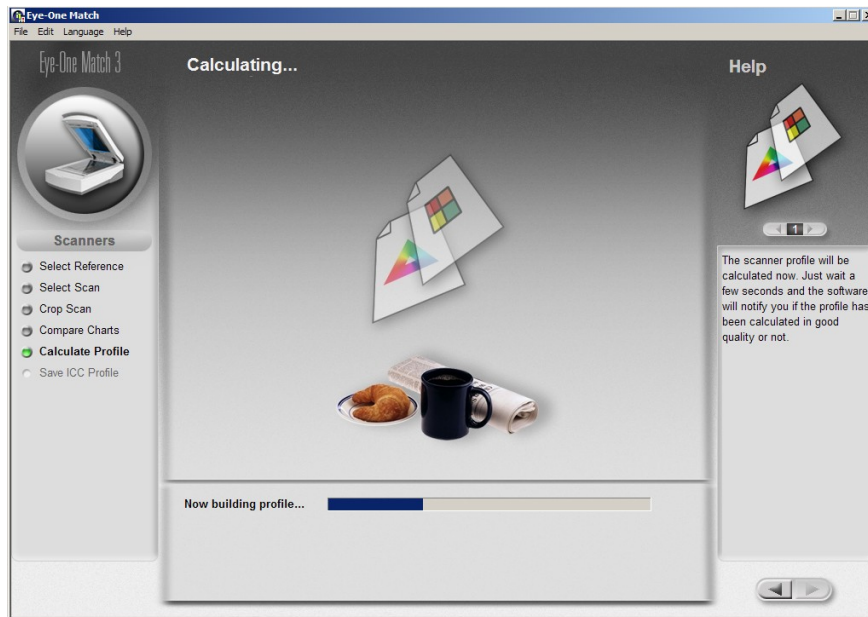


Pilt 10: Faili kärpimine.

7. Kahe värvitabeli võrdlemine (vt Pilt 11) ja profiili arvutamine (vt Pilt 12). Võrreldakse kasutaja poolt skaneeritud ja tarkvaraga kaasas olevat viitevärvitabelit. Selle võrdluse alusel arvutab profiilimistarkvara välja värvide erinevused ning salvestab need seadme värviprofiili. Tulemuseks on .icc laiendiga fail. Osad profiilimistarkvarad loovad .icm laiendiga värviprofiile (just Windows'i puhul), need profiilid on sisuliselt samad, mis on .icc profiilid, .icm ja .icc profiilid on omavahel vahetatavad.

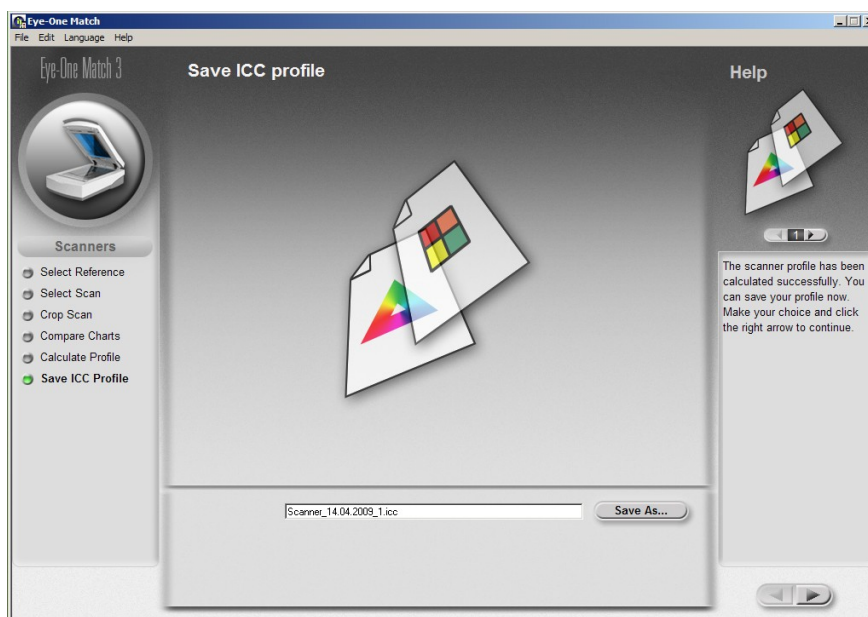


Pilt 11: Värvitabelite võrdlemine.



Pilt 12: Värviprofiili arvutamine.

8. Skanneri värviprofiili salvestamine (vt Pilt 13). Värviprofiilid salvestatakse Windows Vista ja XP puhul kataloogi, mis asub: `\Windows\system32\spool\drivers\color`. Mac OS X'l leiab need kataloogist `/Library/ColorSync/Profiles`, sinna kataloogi salvestatakse kõikidele kasutajatele kättesaadavad profiilid, kuid administraatori õigusteta kasutajate profiilid salvestatakse kataloogi, mis asub `/Users/<kasutajanimi>/Library/ColorSync/Profiles`. Selles kataloogis olevad profiilid on kättesaadavad ainult kindlale kasutajale.



Pilt 13: Profili salvestamine.

Kui skanner on kalibreeritud ja värviprofiil loodud, siis nüüd on võimalik seda profiili määrata igale failile, mida skaneeritakse. Tänu sellele võib kindel olla, et värvid on igal skaneerimise korral vastavuses skaneeritavale originaalile. Skaneerimistarkvarad ei luba üldjuhul skaneerimise käigus määrata kasutaja loodud profiili otse failile. Selleks, et failile määrata õige skanneri profiil, tuleks fail avada mõnes töötlusprogrammis, nagu PhotoShop, ning seal määrata talle õige profiil. Värviprofiilide määramisest on juttu paragrahvis 3.2.2. Värviprofiili määramine.

2.2. Digitaalfotoaparaadid

Saadaval on väga suures ulatuses erinevaid digitaalfotoaparaate, näiteks võib erinevaid mudeleid soetada Nikon'ilt¹¹, Canon'ilt¹² ja Pentax'ilt¹³. Erinevad digitaalfotoaparaadid on võimelised tegema ka erineva kvaliteediga pilte. Tähtsamad asjad, mida tuleks vaadata digitaalfotoaparaadi juures on resolutsioon, lääts, suurendus (*zoom*) ja pildiotsija (*viewfinder*).

- Resolutsiooni puhul, mida mõõdetakse digitaalfotoaparaatide puhul megapikslites (MP¹⁴), on parem, kui see on võimalikult kõrge. Kui skannerite puhul saab valida resolutsiooni vastavalt sellele, kui suurt punktide arvu tolli kohta väljundis soovitakse, siis digitaalfotoaparaatide puhul sõltub nende resolutsioon täielikult selles saadaval olevatest megapikslitest. Seega, kui on vaja teha suure resolutsiooniga väljundi jaoks pilt, siis tuleks selleks valida võimalikult suure megapikslite arvuga fotoaparaat.
 - Läätsede puhul tuleks eelistada 100% klaasist läätsesid plastilistele.
 - Digitaalfotoaparaatidel on kahte tüüpi suurendusi: optiline ja digitaalne. Optilise suurenduse puhul suurendavad kujutist objektiivil läätsed. Digitaalse suurenduse puhul kasutatakse interpolatsiooni. See suurendus ei lisa pildile detaile, vaid venitab olemasolevat pikslite poolt hõivatud ala füüsiliselt suuremaks.
 - Pildiotsijate puhul on ka olemas digitaalne ja optiline. Optilise puhul vaadatakse läbi läätsede, digitaalse pildiotsija puhul tuuakse pilt fotoaparaadi taga olevale LCD paneelile.
- [14]

Digitaalfotoaparaadid võimaldavad salvestada üldjuhul kolme erinevat failitüüpi: JPEG, RAW ja TIFF. Kui kasutatakse JPEG või TIFF formaati, siis on tulemuseks fail, millel on 8-bitte piksli

11 <http://imaging.nikon.com/products/imaging/lineup/digitalcamera/index.htm>

12 http://www.canon-europe.com/Products_Solutions/index.asp

13 <http://www.pentaximaging.com/>

14 **MP** – megapiksel, tähendab miljonit pikslit.

kohta. Nende formaatide puhul on õigete sätete valimine pildi tegemisel väga tähtis, et saavutada võimalikult hea kvaliteediga pilt. Kõige kindlam, kuigi mahukam (16-bitti piksli kohta), on kasutada RAW formaati. Selles formaadis pildi puhul on hiljem võimalik RAW teisendusprogramme kasutades muuta pildi värvustasakaalu (*white balance*), värvi, teravust, kontrasti, selgust ja säri (*exposure*). Seega, kui algselt ei tulnud pilt just kõige paremini välja, siis muutes mõnda nendest sätetest, on võimalik ikkagi saada korralik foto.

Kui sisendfail luuakse digitaalfotoaparaadiga, siis määravad enamjaolt pildi üldise välimuse õige särituse ja värvustasakaalu valimine.

Säritus on üks tähtsamaid funktsioone kvaliteetse pildi saamiseks. Õige särituse valik tagab suurepärased detailid nii pildi varju kui ka valgustatud osas. Mida pikemat säri kasutatakse, seda rohkem valgust lastakse fotoaparaati ning seda heledam pilt tuleb.

Nagu esimesest peatükist selgus, sõltub inimese värvitaju valgusallikast. Näiteks, kui vaatleja vaatab roheline puu all olevat valget hobust, siis ta näeb hobust ikka valgena, kuigi lehtedelt peegelduv valgus annab hobusele roheka varjundi. Inimese aju oskab värve erinevates valgustes muuta ja tänu sellele inimene teab, milline peab olema valge värv, sõltumata valgusest. Digitaalfotoaparaatide puhul see ei toimi ja värvuste transformatsiooni protsessil on teatud spetsiifika. Kui seda sama hobust pildistada vale värvustasakaaluga, siis on tulemuseks roheline varjundiga valge hobune. Seega, õige värvustasakaalu valimine väga on tähtis, sest kui valge värv on täpselt määratud, siis ühtivad ka pildi teised värvid originaaliga.

2.2.1. Digitaalfotoaparaadi kalibreerimine ja profiilimine

Digitaalfotoaparaadi kalibreerimiseks tuleb valida õige värvustasakaal ja säritus vastavalt objektile ja keskkonnale, kus pildistatakse. Kui need on paigas, siis sellega on digitaalfotoaparaat ka kalibreeritud ning võib edasi liikuda profiilimise juurde.

Digitaalfotoaparaadi profiilimiseks on kõigepealt vaja pildistada mõnda värvitabelit, kus on ära toodud põhivärvid (vt Lisa 2). Selle pildistamisel peab jälgima, et terve tabel oleks ühtlaselt valgustatud ning säritus ja värvustasakaal oleksid õiged. Kui värvustabelist on korralik pilt olemas, siis see laetakse mõnda profiilimisprogrammi ning seal arvutatakse vastav värviprofiil.

Värviprofiilide loomine digitaalfotoaparaatidele ei ole kõige mõttekam, sest iga profiil töötab ainult selle valgustuse tingimustes, milles värvitabel pildistati. Ka värvitabelite värviulatus on väga piiratud võrreldes looduses leiduvate värvidega. Üldjuhul digitaalfotoaparaate ei profiilita. Selle asemel kasutatakse värviprofiili, mille fotoaparaat failile määrab või siis määratakse käsitsi ise sobiv värviprofiil nagu sRGB, AdobeRGB või ProPhotoRGB (neid värviprofiile käsitletakse hilisemas peatükis).

2.3. Failiga varustamine

Veel võib fail töövoogu siseneda mõne teise isiku käest, see tähendab, et pilt on kellegi poolt juba eelnevalt skaneeritud või siis digitaalfotoaparaadiga jäädvustatud. Sellised failid võivad olla erinevates formaatides (näiteks JPEG, TIFF, PSD või mõni muu) ning nende kvaliteet võib ka olla väga erinev. Neid faile tuleks töödelda neile kaasa panud värviprofiilides, aga kui see puudub, siis tuleb valida mõni sobiv värviprofiil ja see sellele määrata.

3. TÖÖTLEMISE TASAND

Sellel tasandil on kõige suurem osakaal monitoridel ning neile järgneb tarkvara, mida kasutatakse pildi töötlemiseks.

3.1. Monitorid

Monitorid omavad värvuste transformatsiooni protsessis kõike suuremat rolli, sest need on otseselt vaatleja „aken“ digitaalsesse maailma. Kui monitor näitab „valesid“ värve, siis pole ka võimalik teha ei korralikku fototöötlust ega ka graafikat.

Maailmas on üldjuhul levinud kahte tüüpi arvutimonitore, LCD¹⁵ ja CRT¹⁶, kuid suuremalt osalt on CRT'd, mis on suured ja kohmakad, asendunud kergete ja õhukeste LCD'dega ja selle tõttu pööratakse käesolevas töös suuremat tähelepanu just LCD monitoridele. Kõigepealt, et aru saada, millised füüsilised faktorid mõjutavad monitoride värvuste formeerumisel tekkivaid erinevuseid, tuleks välja selgitada, kuidas LCD monitorid töötavad.

3.1.1. LCD monitoride töö põhimõtted

Vedelkristallkuvari tehnoloogia kasutab valguse blokeerimise meetodit. LCD kuvar koosneb kahest polarisatsioonitasandist ja nende vahel olevast vedelkristallist. Tagantvalgustus läbib esimese polarisatsioonitasandi. Samal ajal elektrivälja rakendamisel molekulid, kas keerduvad spiraali või keerduvad spiraalset lahti, lastes nii valgust läbi teise polarisatsioonitasandisse ja loob sellega värvid ning pildi.[15]

LCD tehnoloogia areneb pidevalt. Kasutusel on ka erinevad vedelkristall-tehnoloogiaid nagu STN (*SuperTwisted Nematic*), DSTN (*Dual-scan STN*), FLC (*ferroelectric liquid crystal*), SSFLC (*surface stabilized ferroelectric liquid*).[16]

Kasutusel on ka erinevad tagantvalgustused. Kõige levinum on LED¹⁷ valgustus, mida

15 LCD - (Liquid Crystal Display) *vedelkristallkuvar*.

16 CRT - (Cathode Ray Tube) *kineskoopkuvar, katoodkiiretoruga kuvar*.

17 LED - (Light Emitting Diode) *valgusdiiod*. Pooljuhtdiiod, mis läbiva voolu toimel kiirgab valgust.

kasutatakse enamikus odavamates LCD kuvarites. Kasutatakse kahte erinevat värvi LED'e, kas valgeid või RGB LED'e. Valge LED on levinum ning RGB LED'i kasutatakse ainult kõrgekvaliteedilistes kuvarites, mida kasutavad graafikaga tegelevad professionaalid. Veel on kasutusel ELP¹⁸ tagantvalgustus, mida kasutatakse tihti suurte kuvarite puhul või siis kuvaritel, millel on ühtlane tagantvalgustus tähtis. Need valgustid on enamjaolt kas värvilised või valged. CCFL¹⁹ tagantvalgustust kasutatakse suurtel kuvaritel nagu arvuti monitorid ning tavaliselt on need värvuselt valged.[17]

Veel jagunevad LCD kuvarid aktiivmaatriks- ja passiivmaatrikskuvariteks. Aktiivmaatrikskuvarites ehk TFT-tüüpi vedelkristallkuvarites kasutatakse iga piksli juhtimiseks eraldi transistori, mille valmistamiseks kasutatakse nii-nimetatud kiletehnoloogiat. Kuna kiletransistorid on väga väikesed, siis toimub nende ümberlülitamine kiiresti ja seega on ka objektide liikumine ekraanil sujuv. Passiivmaatrikskuvarites juhib iga transistor tervet pikslirida ja seetõttu on seda tüüpi kuvarid ka aeglasemad. Kuigi passiivmaatrikskuvarite valmistamine on odavam, ei kasutata seda tänapäeval laialdaselt, sest need ei suuda kuvada videopilti nii kvaliteetselt, nagu seda suudavad aktiivmaatrikskuvarid.

Tänu kõikidele neile erinevatele tehnoloogiatele, mida kasutatakse erinevate LCD monitoride loomisel, sõltub ka täpne värv, mida nad suudavad esitada suuremalt jaolt just nendest tehnoloogiatest. Kuna neid tehnoloogiaid on palju, siis tõenäosus, et kaks monitori suudaksid esitada sama värvi ühesuguselt, on suhteliselt väike. Kui võtta arvesse ka erinevate tootjate eelistusi heleduse ja kontrasti sätetes, siis on tõenäosus, et erinevad monitorid suudavad kuvada ühesuguse numbrilise väärtusega värvi ühesuguselt, veelgi väiksem. Järelikult peaks kasutaja astuma samme selleks, et värvusi kuvataks monitoriekraanile usaldusväärselt.

3.1.2. Monitori kalibreerimine ja profiilimine

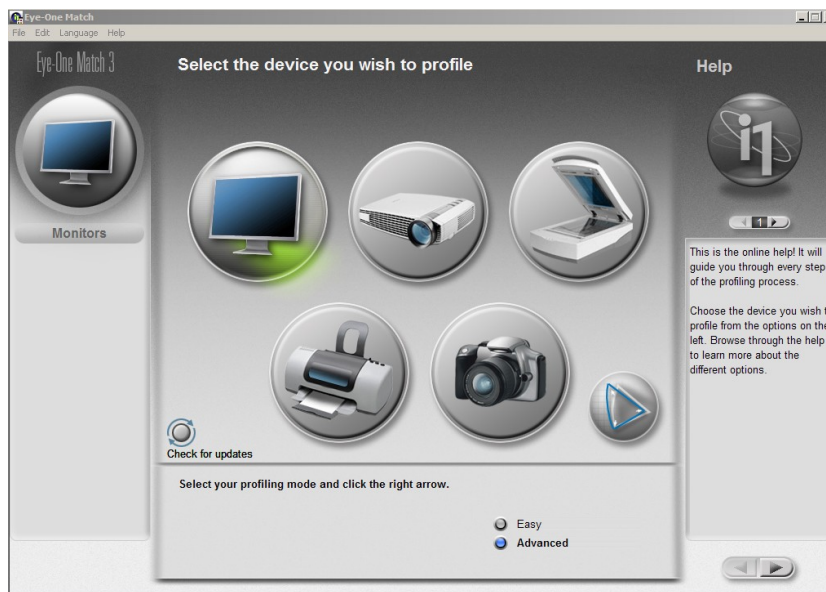
LCD monitoride kalibreerimisel tuleb arvestada nende mõningate eripäradega. Enamus odavamaid LCD mudeleid omavad ainult heleduse (*brightness*) seadistamise võimalust riistvara tasandil. Mitte ükski LCD monitor ei oma korralikku kontrasti seadistamise võimalust. Seega, kui teha kontrasti muudatust, siis tehakse need videokaardis.

18 ELP - (Electroluminescent Panel) *elektroluminescents paneel*.

19 CCFL - (Cold Cathode Fluorescent Lamp) *külmkatoodiga luminescentslamp*. Luminescentslamp, milles luminofoori ergastamiseks vajalikke elektrone emiteerivat katoodi ei kuumutatata.

Põhisammud:

1. Seadme valimine, mida soovitakse profiilida (vt Pilt 14). Antud juhul on selleks monitor.



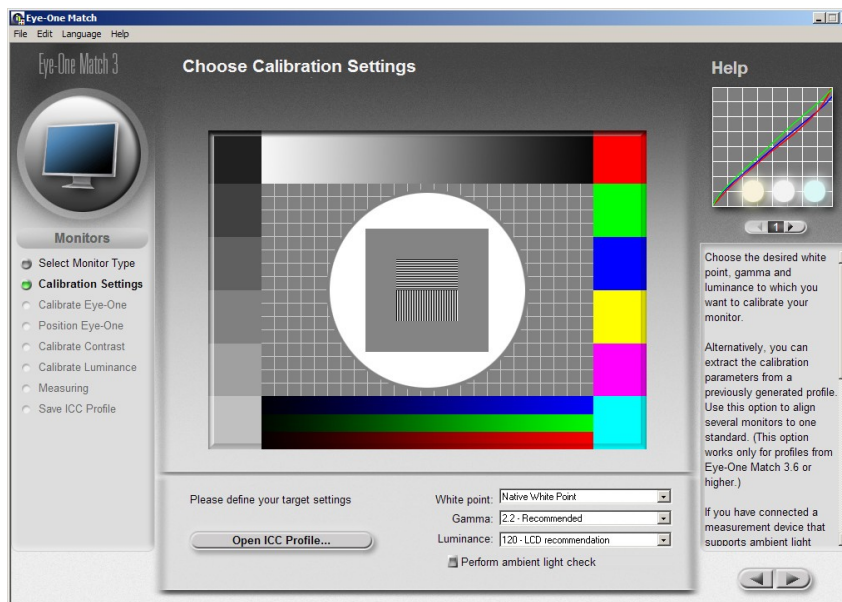
Pilt 14: Seadme valimine.

2. Monitori tüübi valimine (vt Pilt 15). Siin on võimalik valida LCD, CRT ja sülearvuti monitoride vahel. Kuna käesoleva töö raames oli eksperimendi (profiilimise protsessi) läbiviimisel profiilitavaks monitoriks LCD, siis valitaksegi pakutavatest variantidest LCD tüüp.



Pilt 15: Monitori tüübi valimine.

3. Kalibreerimise sätete valimine (vt Pilt 16). LCD monitoride puhul on soovitatav kasutada valgepunkti (*whitepoint*) „native“. Soovituslik gamma on 2.2. Luminents määratakse vastavalt ruumi valguse intensiivsusele. Mida eredamalt valgustatud ruum seda kõrgem peab olema luminents. Kui ruumi valgustus on muutlik, siis tuleks kasutada soovituslikku luminentsi, milleks on 120cd/m² LCD monitori puhul.



Pilt 16: Kalibreerimise sätete valimine.

4. Kolorimeetri kalibreerimine ehk selle viimine algseisundisse. (vt Pilt 17)



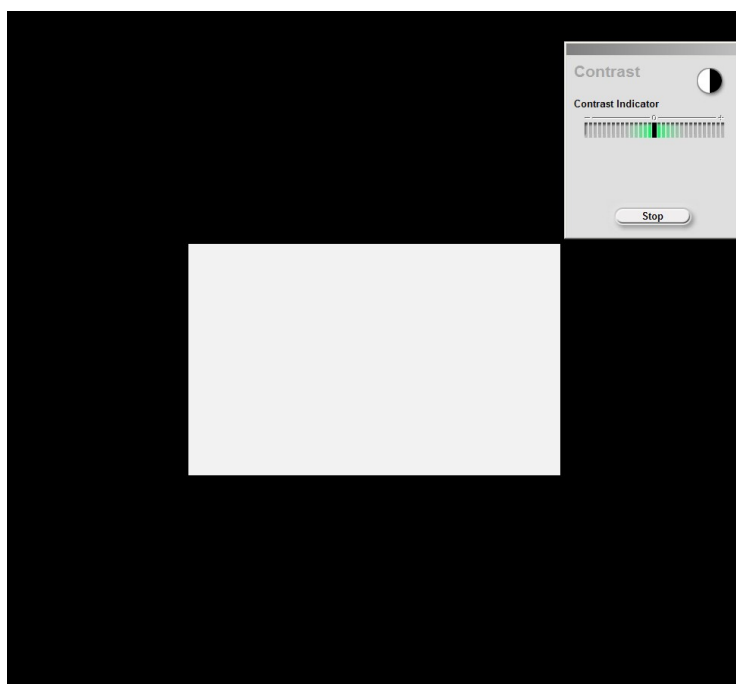
Pilt 17: Kolorimeetri kalibreerimine.

5. Kolorimeetri asetamine monitorile (vt Pilt 18). Enne kui liigutakse sellest punktist edasi, tuleks kindlaks teha, et ekraanisäästja (*screen saver*) oleks välja lülitatud, sest kui ta peaks protsessi käigus käivituma, siis see rikub profiilimise ära.

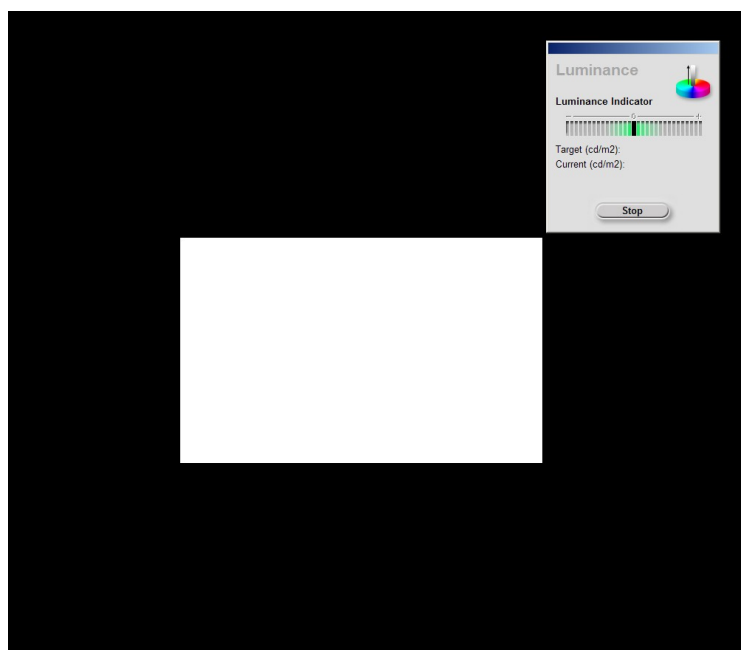


Pilt 18: Kolorimeetri asetamine monitorile.

6. Kontrasti (vt Pilt 19) ja luminentsi (vt Pilt 20) seadistamine. Indikaator peab jääma rohelisse alasse. Ekraani keskel oleval valgel ruudul asetseb kolorimeeter, mis teeb vajalikke mõõtmisi. Kui kontrasti või luminentsi muuta, siis tuleb seadmele anda mõned sekundid aega mõõtmiseks, et tagada kontrasti ja luminentsi indikaatori korrektsus.

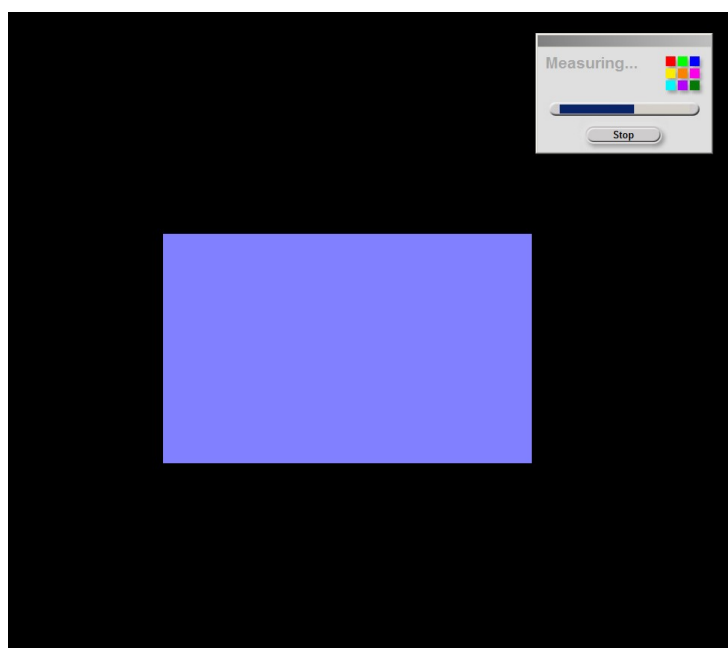


Pilt 19: Kontrasti seadistamine.



Pilt 20: Luminentsi seadistamine.

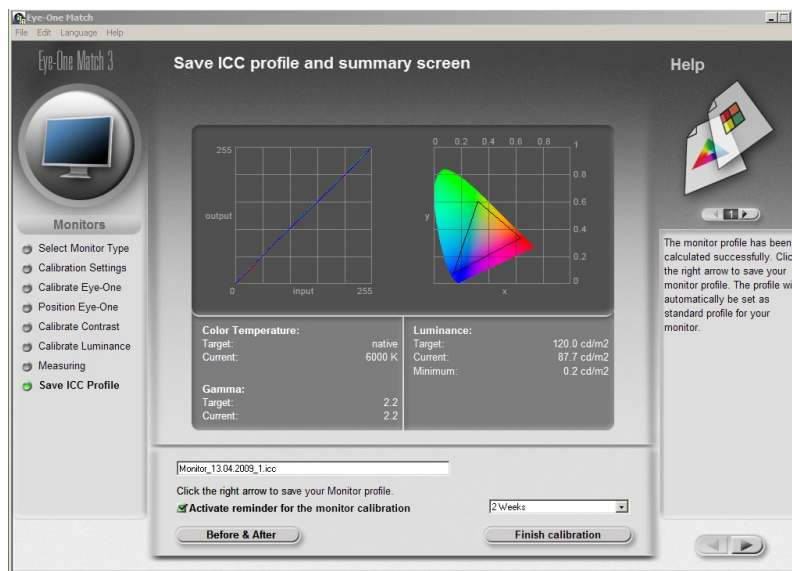
7. Sellega on kalibreerimise osa läbi ning hakkab seadme profiilimine (vt Pilt 21). Selle käigus kuvatakse ekraanile erinevaid värve ja kolorimeeter mõõdab iga värvi intensiivsust ning salvestab selle.



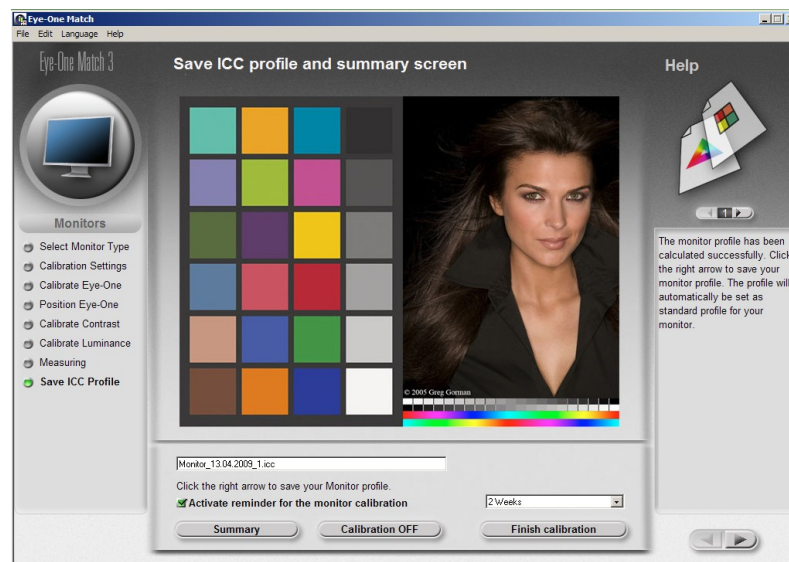
Pilt 21: Värvide mõõtmine ja profiili arvutamine.

8. Profiili salvestamine (vt Pilt 22). Profiil salvestatakse samasse kataloogi kuhu salvestati skanneri oma. Sellel sammul antakse ka ülevaade, kui hästi kalibreerimine õnnestus ning kui suur on antud seadme värviruum. Vasakpoolsel diagrammil on ära toodud RGB kanalid, mida paremini kõigi kolme jooned ühtivad, seda täpsemalt on monitor

kalibreeritud ja profiil arvutatud. Kuna antud monitori puhul nad kattuvad peaaegu täielikult, siis võib kindel olla, et värvid, mida monitor kuvab on korrektsed. Kui vajutada „Before & After“ nuppu, siis on võimalik visuaalselt näha monitori värvuste erinevust enne ja pärast kalibreerimist ja profiili loomist (vt Pilt 23). Värviprofiilid salvestatakse Windows Vista's ja Windows XP's: `\Windows\system32\spool\drivers\color`. Mac OS X's / `Library/ColorSync/Profiles` ja `/Users/<kasutajanimi>/Library/ColorSync/Profiles`.



Pilt 22: Profiili salvestamine.



Pilt 23: Monitori värvid enne ja pärast kalibreerimist ja profiilimist.

Kui monitor on kalibreeritud ja vastav profiil loodud, siis pannakse see automaatselt monitori vaikeprofiiliks.

3.2. Värvuste transformatsioon PhotoShopCS4'ja keskkonnas

Enne kui asuda erinevate profiilide kasutamise juurde, tuleks lahti seletada mõned terminid, mis käivad profiilide kasutamisega koos:

- Märgistamine (*tagging*) – kas värviprofiil on olemas või mitte. Kui failil on profiil olemas, kas sRGB, AdobeRGB või muu, on tegemist märgistatud failiga, kui profiil puudub, on märgistamata fail.
- Määramine (*assigning*) – värviprofiili määramine üldjuhul märgistamata failile, mõningatel juhtudel ka märgistatud failile, kuid see pole soovitatav.
- Integreerimine (*embedding*) – värviprofiili koopia „külge pookimine“ failile.
- Oletamine (*assuming*) – failil puudub oma profiil ning see oletatakse (ükski fail ei saa eksisteerida ilma mingi profiilita). Tavaliselt on oletatavaks profiiliks sRGB.

3.2.1. PhotoShop'i värviruumid

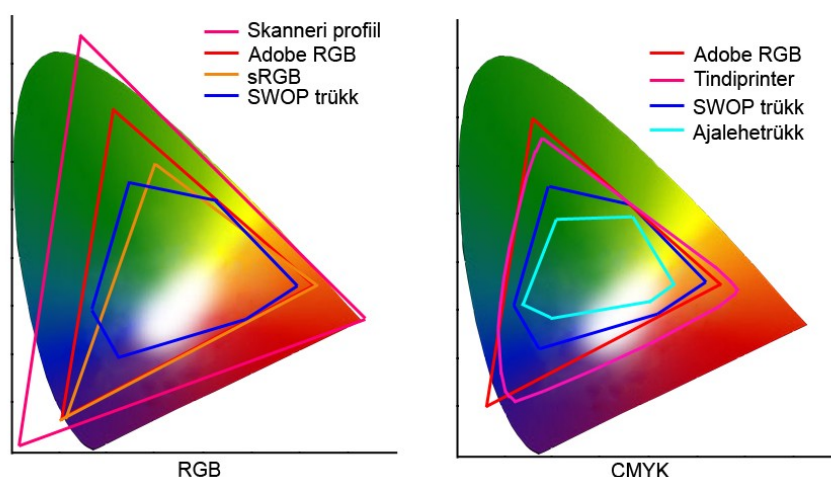
Working Spaces ehk *Editing Spaces* (töötlemisruum) – Värviruumid, milles toimub pildi töötlemine PhotoShopis, neile võib viidata ka kui PhotoShopi värviprofiilid.

Töötlemise värviruumi valimiseks tuleb arvesse võtta, kus töödeldud pilti lõpuks kasutatakse. Heaks tavaks võib pidada võimalikult suure värviruumi valimist, sest siis saab olla üpris kindel, et töötamise käigus säilitatakse kõik originaalpildil olevad värvid. Kuid tegelikult, kui töödeldakse näiteks 24 bitise värvisügavusega faili, siis on mõttekas kasutada värviruumi, mille ulatus on võimalikult lähedal pildil olevate värvide ulatusega. Pole mõtet hoida värviinfot, mida ei ole võimalik realiseerida.

PhotoShop CS4'jas on võimalik valida miteme erineva redigeerimisvärviruumi vahel:

- AdobeRGB(1998) - Suhteliselt suure värviulatusega ning sobib failidele, mis hiljem konverteeritakse ümber CMYK värviruumi.
- AppleRGB - Mac OS'ile omane värviruum. Kasutada siis, kui töödeldakse vanemate töötlusprogrammide faile, nagu PhotoShop 4.0 ja vanemad, või siis failide puhul, mis on suunatud Mac OS monitoridel kuvamiseks.

- ColorMatchRGB – Selle värviruumi ulatus baseerub Radius Presswiev monitoride värvilatusel. Küllaltki hea värviruum Mac'i kasutajatele, kes teevad trüki ettevalmistust. Kui töövoog on juba eelnevalt suunatud trükile, siis võib juhtuda, et tuleb kasutada just seda värviruumi. Kui alustatakse uue tööga, siis üldjuhul seda värviruumi ei kasutata (kasutatakse AdobeRGB'd, sest AdobeRGB on suurema värvilatusesega).
- ProPhotoRGB ja Wide Gamut RGB- Väga suure värvilatusesega värviruumid. Sisaldavad värve, mida pole võimalik tavalistel printeritel printida ega ka enamustel monitoridel kuvada. Kuigi need värviruumid võivad kasutamiseks olla liiga suure ulatusega, on nendest võimalik kasu saada kõrge kvaliteediga fotode töötlemisel. Nende värviruumide puhul on soovitatav kasutada vähemalt 16 bitilist värvisügavust.
- sRGB - On keskmise arvutimonitori värvilatusesega. Kõige laialdasemalt kasutuses olev värviruum ning paljude seadmete puhul ka vaikevärviruumiks. Ideaalne veebi minevate piltide töötlemisel, aga ei sobi trükiste tegemiseks oma piiratud värvilatuses tõttu. [8]



Pilt 24: Näited AdobeRGB ja sRGB värviruumide ja mõningate seadmete värvilatusesest. Skanneri värviruum on kõige suurema ulatusesega, aga samas ajalehe oma on kõige väiksem. [18]

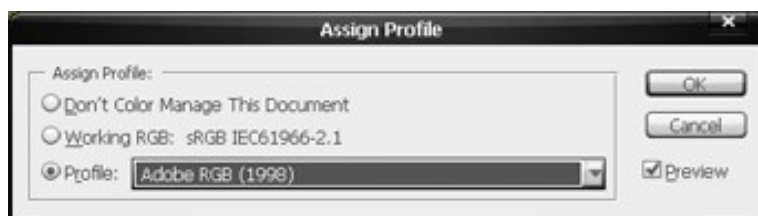
Pildil 24 (üleval) on näha kui erinevad on AdobeRGB ja sRGB värviruumide ulatused. sRGB'l on vähem rohelisi toone kui AdobeRGB'l. Sellest võib järeldada, et pildid, millel on palju erinevaid rohelisi toone, näevad paremad välja AdobeRGB värviruumis. Lisas 3 on toodud näited nende erinevate värviruumide kasutamisest. Seal on visuaalselt näha, kuidas võivad pildi värvid muutuda erinevates värviruumides.

PhotoShop'i värviruumid ja värvi profiilid on omavahel tihedalt seotud. Kui failil on oma värvi profiil, näiteks AdobeRGB, siis värviruum, milles seda töödeldakse PhotoShopis on ka AdobeRGB. Sellepärast võivad pildi värvi profiil ja PhotoShopi värvisätetes määratud

töötlemisvärviruum olla täiesti erinevad, sest PhotoShop austab faili enda värviprofiili. Kui failil puudub oma värviprofiil, siis kasutatakse töötlemiseks PhotoShopi värvisätetes ära määratud töötlemisvärviruumi, mis ühtlasi saab olema ka faili värviprofiiliks.

3.2.2. Värviprofiili määramine (*Assign Profile*)

See on protsess, mille käigus määratakse üldjuhul märgistamata failile värviprofiil. Selle protsessi käigus säilitatakse värvi numbrilised väärtused ning selle tõttu muutub värvivälimus. PhotoShopis saab failile profiili määrata järgimiselt: *Edit -> Assign Profile*. Ekraanile ilmub sätete dialoogi aken, kus saab valida kolme erineva sätte vahel (vt Pilt 25).



Pilt 25: Adobe PhotoShop CS4 profiili määramine.

- Esimese puhu eemaldatakse värviprofiil ning kasutatakse eelnevalt värvisätetes (*Color Settings*) määratud redigeerimisruumi profiili.
- Teine võimalus määrab failile redigeerimisruumi profiili. Kui failil puudus eelnevalt määratud profiil, siis nüüd määratakse sellele redigeerimisruumi profiil.
- Viimasena saab valida rippmenüüst erinevate profiilide vahel. Kui failil oli eelnevalt määratud profiil, siis see profiil kirjutatakse üle ning kui failil puudus eelnevalt määratud profiil, siis määratakse sellele vastav profiil.

Järgnevalt on toodud näide, kus märgistamata failile määratakse ProPhotoRGB profiil.

Näide:



Pilt 26: Vasakpoolsel pildil puudub profiil, aga parempoolsele on määratud ProPhotoRGB. [Pilt autori erakogust.]

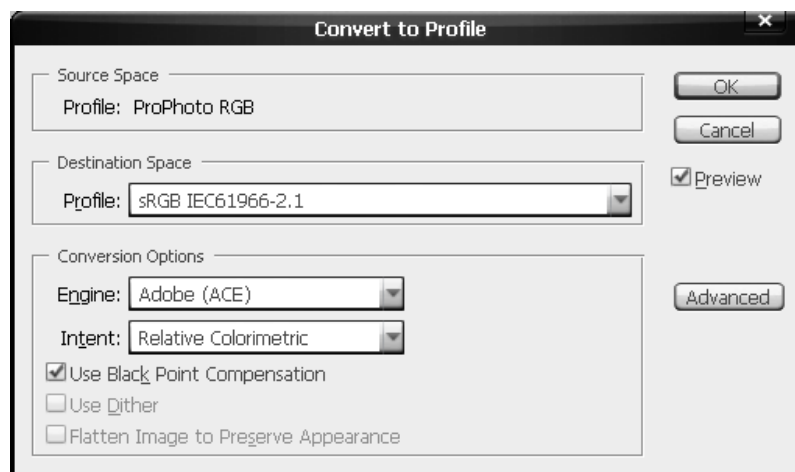
Üleval toodud pildid (vt Pilt 26) erinevad värvide poolest teineteisest märgatavalt. Vasakpoolsele pildile pole profiili määratud ning seega kasutatakse selle puhul redigeerimisruumi profiili, milleks on sRGB. Parempoolsele pildile määrati „Assign Profile“-i kasutades ProPhotoRGB. Pildid erinevad värvide poolest selle pärast, et profiili määramisega ei säilitata värvivälimust, vaid numbrilised väärtused. Järgneval pildil (vt Pilt 27) on ära toodud nende kahe pildi värvide numbrilised väärtused enne ja pärast profiili määramist. Kui vaadata RGB väärtusi, mis on vastavalt 51,60 ja 98, siis need ei ole üldse muutunud, aga LAB väärtuste puhul on 26'st saanud 31, 5'st -7 ja -24'st -31. Kuid kui soovitakse säilitada pildi värvivälimust, siis peaksid just LAB väärtused olema need, mida säilitatakse ja muutuma peaksid RGB väärtused.

HISTOGRAM	INFO	BRUSHES	NAVIGATOR
L:		26/ 31	C: 86/ 93%
a:		5/ -7	M: 78/ 68%
b:		-24/ -31	Y: 32/ 26%
8-bit			K: 23/ 11%
			8-bit
X:		3,11	W:
Y:		1,49	H:
#1R:		51/ 51	
G:		60/ 60	
B:		98/ 98	

Pilt 27: Värvide numbrilised väärtused enne ja pärast profiili määramist.

3.2.3. Värviprofiili konvertimine (*Convert to Profile*)

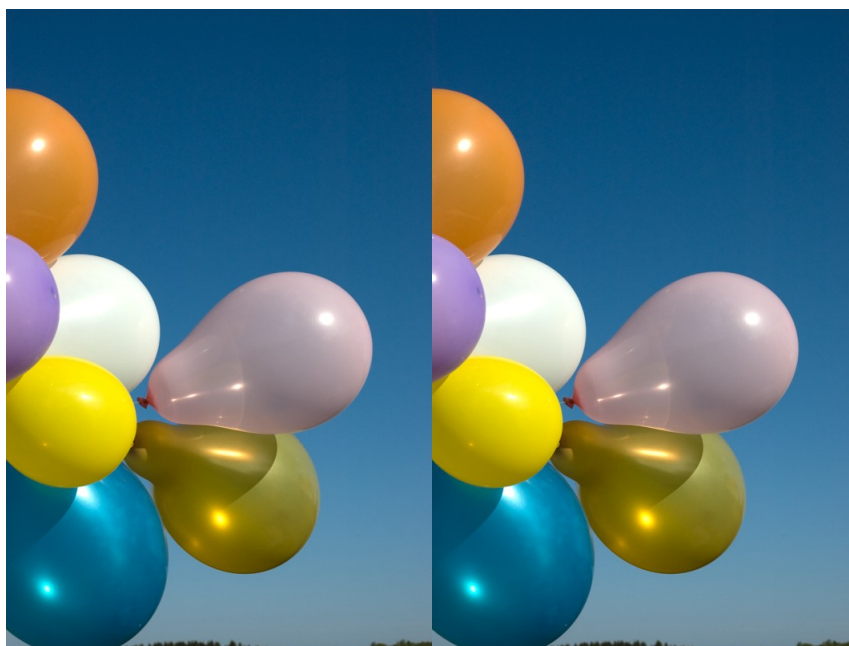
Selle protsessi käigus konverteeritakse värviinfo ühest profiilist teise. Profiili määramise puhul värvi numbrilised väärtused ei muutunud, aga selle protsessi puhul muutuvad. Siin säilitatakse värvivälimus. Konvertimist kasutatakse juhtudel, kui minnakse ühest värviprofiilist üle teise ning sealjuures soovitakse säilitada pildi värvivälimus. Näiteks, kui liigutakse üle RGB'st CMYK'i või siis, kui on vajadus minna üle näiteks ProPhotoRGB'st sRGB'le. Profiili konvertimise akna (Pilt 28) saab PhotoShop'is avada järgnevalt: *Edit -> Convert to Profile*.



Pilt 28: Värviprofiili konvertimise aken PhotoShop CS4

Siin on ära toodud lähteprofiil (*Source Space*), mis selle pildi puhul on ProPhotoRGB. Sihtprofiil (*Destination Space*) on see, millesse soovitakse olemas olev profiil konverteerida. Veel on võimalik valida ka mõningaid konvertimise suvandeid. Mootori (*Engine*) all on PhotoShop'is silmas peetud CMM'i, võimalik on valida Adobe (ACE) ja Microsoft ICM'i mootori vahel. Võimalus on valida ka erinevate tõlgendusviiside vahel. Märkeruuduga saab ära märkida, kas kasutatakse musta punkti kompenseerimist (*Black Point Compensation*) või mitte. *Use Dither* – kui see suvand aktiveerida, siis PhotoShop segab omavahel värve sihtprofiilis, et saavutada värv, mis eksisteeris lähteprofiilis. Kui failil on rohkem kui üks kiht (*layer*), siis võimaldab profiili konvertimine valida funktsiooni, mis liidab kõik kihid üheks kihiks, et säilitada pildi värvivälimus (*Flatten Image to Preserve Appearance*).

Näide:



Pilt 29: Vasakpoolne pilt on originaal ProPhotoRGB profiiliga, parempoolne on konverditud ProPhotoRGB'st sRGB'sse.

Nagu näha, on nende kahe pildi (vt Pilt 29) värvivälimus ühesugune, kuigi neil on erinevad värviprofiilid. See on sellepärast, et konverteerimise käigus arvutatakse värvi RGB väärtused ümber ning püütakse säilitada värvivälimus ehk LAB väärtused. Kui vaadata alljärgnevat pilti (Pilt 30), siis seal on ära toodud mõlema pildi ühe värvi numbrilised väärtused. Vasakpoolsel pildil on ProPhotoRGB profiiliga pildi numbrilised värviväärtused ja paremal pool on sRGB'sse konverteeritud pildi värviväärtused. Kui neid omavahel võrrelda, siis on näha, et LAB väärtused on mõlemal puhul identsed (31, -7, -32) ja seega on ka piltide värvivälimus ühesugune. RGB väärtused on muutunud, ProPhotoRGB väärtused on vastavalt 51, 60 ja 98, kuid peale konverteerimist sRGB'sse muutusid numbrid vastavalt: 8, 79 ja 123.

HISTOGRAM	INFO	BRUSHES	HISTOGRAM	INFO	BRUSHES
L :		31	L :		31
a :		-7	a :		-7
b :		-32	b :		-32
8-bit			8-bit		
X :		10,39	X :		10,46
Y :		5,71	Y :		5,83
#1R :		51	#1R :		8
G :		60	G :		79
B :		98	B :		123

Pilt 30: Vasakpoolsed värviväärtused on ProPhotoRGB pildi omad ja parempoolsed sRGB omad.

Konvertimise protsess toimub tegelikult iga kord, kui kuvatakse profiilitud pilti monitoril. Sellisel juhul toimub lennult konvertimine pildi värviruumist monitori värviruumi. Kui seda konvertimist ei oleks, siis kuvaks monitor värve valesti.

3.2.4. Tõlgendusviisid (*Rendering Intent*)

Tõlgendusviis määrab ära, kuidas värve konverteeritakse üleminekul ühest värviruumist teise. PhotoShopis on neli erinevat tõlgendusviisi:

- Tunnetusel baseeruv teisendus (*Perceptual*) - sobib fotode teisendamiseks, kui lõpp-profiil on kitsam algprofiilist (nt monitorilt printerile). Säilitatakse värvuste omavaheline kromaatile suhe.
- Küllastusel baseeruv teisendus (*Saturation*) - Võimalikult erksad ja küllastatud toonid. Toone muudetakse nii, et need täpselt täidaksid lõppvärviruumi.
- Relatiivne kolorimeetriline teisendus (*Relative Colorimetric*) - toimub valge punkti kompenseerimine, st kui algprofiili valge ei mahu lõpp-profiili, muudetakse kõik toonid tumedamaks. Pilt võib muutuda heledamaks või tumedamaks.
- Absoluutne kolorimeetriline teisendus (*Absolute Colorimetric*) - Toonid, mis kattuvad alg- ja lõpp-profiilis, teisendatakse täpselt, väljaspoole lõpp-profiili jäävad toonid asendatakse lähima võimaliku tooniga. Selle teisendusega võib juhtuda, et algselt erinevad toonid muutuvad ühesuguseks.[19]

Tõlgendusviisi valimiseks ei ole ette nähtud mingeid reegleid. See valitakse vastavalt maitsele ning soovile. Näiteks, kui on soov printimisel saavutada suurem kontrast ja kaotada pildil varjus olevad detailid, siis võib kasutada absoluutset teisendust (vt Lisa 4).

4. VÄLJUNDSEADMED TRANSFORMATSIOONI PROTSESSIS

Sellel faasis toimub pildi printimine või siis trükkimine. Selleks kasutatakse erinevaid printereid või siis saadetakse fail trükikotta.

4.1. Printerid

On olemas mitmeid erinevaid printerite tehnoloogiaid. Need tehnoloogiad jagunevad kaheks suuremaks kategooriaks: löökprinterid ja löögitud printerid.

Löökprinterid on maatriksprinterid (*matrix printer*) ja märgiprinterid (*character printer*).

- Maatriksprinterid kasutavad väikeseid nõelu tindi kandmiseks tindilindilt paberile.
- Märgiprinterid on põhimõtteliselt arvutiseeritud trükimasinad. Nende sisse on ehitatud kerad või latid, millel on tähtede ja numbrite reljeefid. Vastavat tähte lüüakse vastu tindiriba ning sellega kantakse täht paberile. Need printerid on kiired teksti printimisel, aga väga limiteeritud teiseks kasutuseks. Kuid neid saab kasutada kunstilisel eesmärgil, näiteks võib nende printeritega printitud pilte kasutada kollaažis.

Löögitud printerid on tindiprinter (*ink jet printer*), laserprinter (*laser printer*), termojugaprinter (*solid ink printer*) ja sublimatsiooniprinter (*dye-sublimation printer*).

- Tindiprinterid kasutavad tinditilgakeste pihustamiseks põhiliselt kahte meetodit. Esimesel puhul kuumutavad elektriimpulsid tillukesi takisteid, mis asuvad tindikasseti sees ning tekkivad aurumullid suruvad tindi düüsist välja. Teisel puhul on takistite asemel piesokristallid, asetsevad printimispeas, mis elektripinge toimel painduvad ja suruvad tindi välja.
- Laserprinterid kasutavad kuiva tinti (tonerit), staatilist elektrit ja kuumust, et kanda toner/tahm paberile.
- Termojugaprinterites on vahasarnased tindipulgad, mida sulatatakse ja siis kantakse paberile.
- Sublimatsiooniprinteris paiknevad nelja (CMYK) värvaine paneelid vaheldumisi plastilindil ning kõik värvid kantakse paberile järjestikku üksteise peale. Selleks kuumutatakse printidipea vajalikke punkte ja aurustab lindil olevat värvainet.

Sublimatsioonprinterid värvained on läbipaistvad, nii et alumised värvikihid paistavad pealmiste alt välja. Seetõttu ei ole siin vaja kasutada rastergraafikat, vaid võib värvainega katta kogu paberi pinna, reguleerides ainult värvaine hulka igas punktis. Kõige lõpuks kaetakse väljatrükk veel läbipaistva lamineerimiskihiga, mis kaitseb seda niiskuse ja ultraviolettkiirguse eest. Sublimatsioonprinterid võimaldavad printida kõige parema kvaliteediga värvipilte, kuid nende kulumaterjalid on ka teiste printeritüüpidega võrreldes kõige kallimad. [20]

Täpne värv, mille printer toodab, sõltub tindi värvidest, pigmendist või värvainest, paberi värvist ja viisist, kuidas värvaine reageerib paberiga nii keemiliselt kui ka füüsiliselt. Tindiprinteritel (*Ink jet printer*) esineb värvi muudatusi ajas, kui tint ja paber ei sobi omavahel korralikult. Värvilised laserprinterid on väga aldid niiskuse muutustele. Kommertstrükis võib värv muutuda tänu temperatuuri, niiskuse ja teiste väliste faktorite muutusele. Seega on tõenäosus, et kaks erinevat printerit prindivad ühesugust värvi samalaadsetest CMYK värvustest, on suhteliselt väike.[13]

4.1.1. Printerid kalibreerimine ja profiilimine

Miks printereid kalibreerida? Printeritel on üldjuhul tehase poolt juba kaasa antud värviprofiilid, kuid tavaliselt on need profiilid tehtud ühe prototüübi peal, kuid enne tegeliku seadme valmimist. Kuigi seadmed võivad tulla ühelt liinilt, ei ole nad kunagi identsed ning seega ei sobi kõigile ka üks värviprofiil. Printerid profiilimisel ei saa arvestada ainult printeri endaga, tuleb arvesse võtta ka paber, millele printitakse, tint ja printeri draiverid. Seega, kui muudetakse ühte nendest komponentidest, tuleks luua ka uus profiil. Järgnevalt antakse ülevaade, kuidas kõige tavalisemat tindiprinterit kalibreerida ja profiilida.

Enamusel printeritest on kaasas utiliit, millega on võimalik viia läbi põhiline kalibreerimine: puhastada ja joondada printimise pea. Kui printer on kalibreeritud, siis võib edasi liikuda printerid profiilimise juurde.

Profiilimise põhisammud:

Monitorid ja skannerid kalibreerimiseks kasutati Eye-One Match 3 kalibreerimise seadet, kuid

printeri kalibreerimiseks kasutatakse ColorMunki Photo²⁰ nimelist välist kalibreerimise seadet. Selle seadmega on võimalik kalibreerida ja profiilida veel ka monitore ja projekteid.

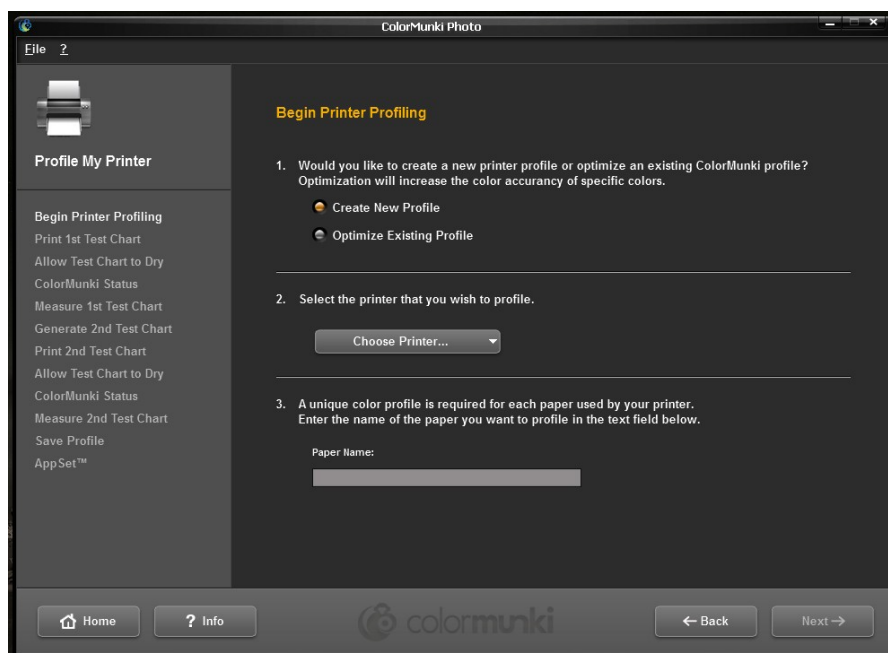
1. Valitakse seade, mida soovitakse profiilida (vt Pilt 31). Antud juhul on selleks printer.



Pilt 31: Seadme valimine.

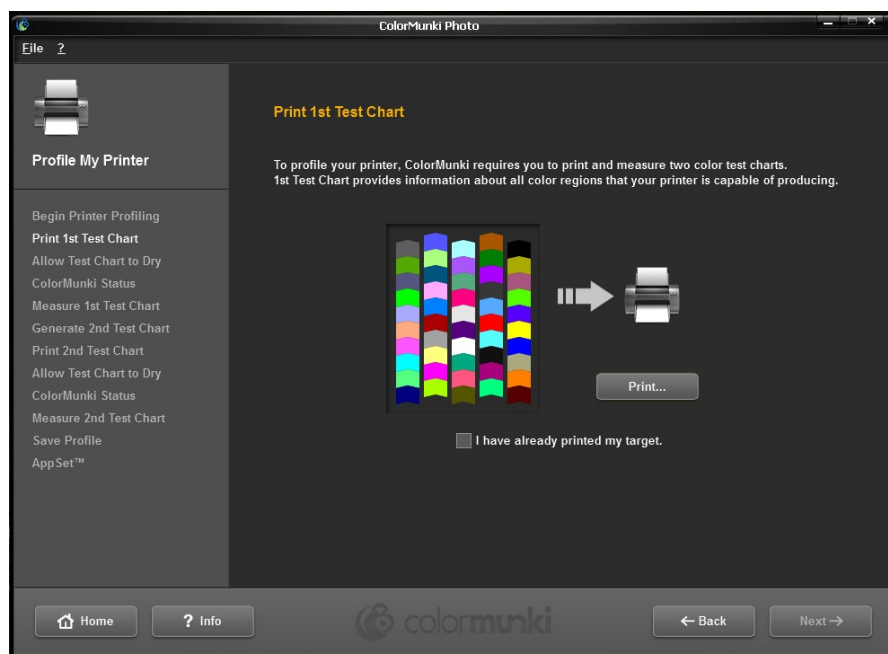
2. Antud spektrofotomeeter võimaldab luua täiesti uue profiili või muuta juba olemasolevat profiili. Selles etapis valitakse ka printer ning märgitakse paberi tüüp (vt Pilt 32). Erinevatele paberi tüüpidele tuleks teha erinevad profiilid, sest iga printeri tint reageerib erinevatele paberitele erinevalt.

²⁰ <http://www.colormunki.com/>



Pilt 32: Printeri ja paberi tüübi valimine.

- Järgnevalt printitakse esimene värvitabel (vt Pilt 33). Printimiseks tuleb kindlasti kasutada punktis 2 määratud paberit. Kui värvitabel on printitud, siis tuleks lasta sellel umbes 10 minutit kuivada, sest tindiprinterite puhul ei kuiva tindid koheselt ja niiskelt on värvid natuke teistsugused.



Pilt 33: Esimese värvitabeli printimine.

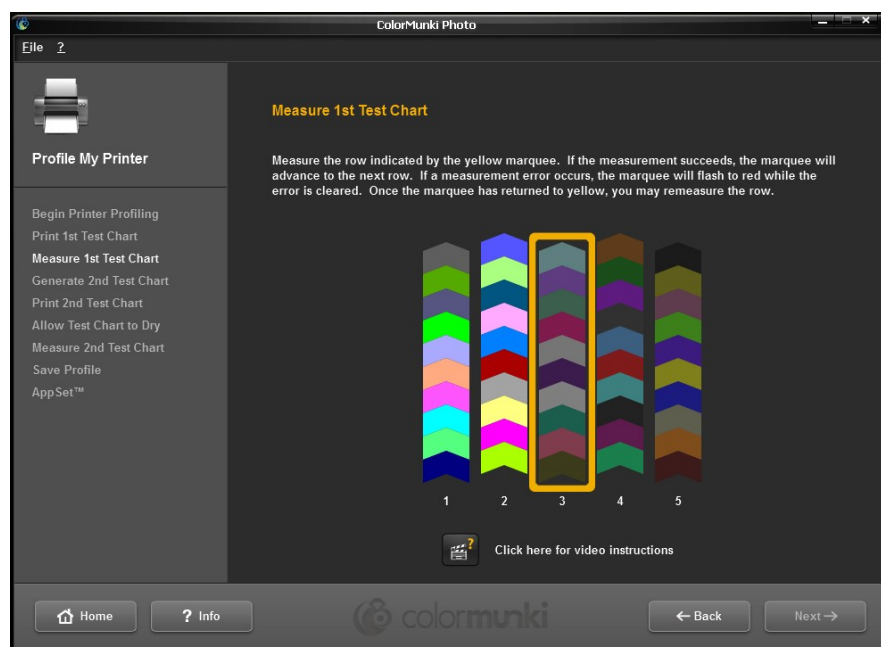
- Spektrofotomeetri viimine selle algseisundisse ehk kalibreerimine (vt Pilt 34). Sellel sammul viiakse kalibreerimise seade talle omasesse algseisundisse, millega tagatakse

korrekne profiili arvutamine.



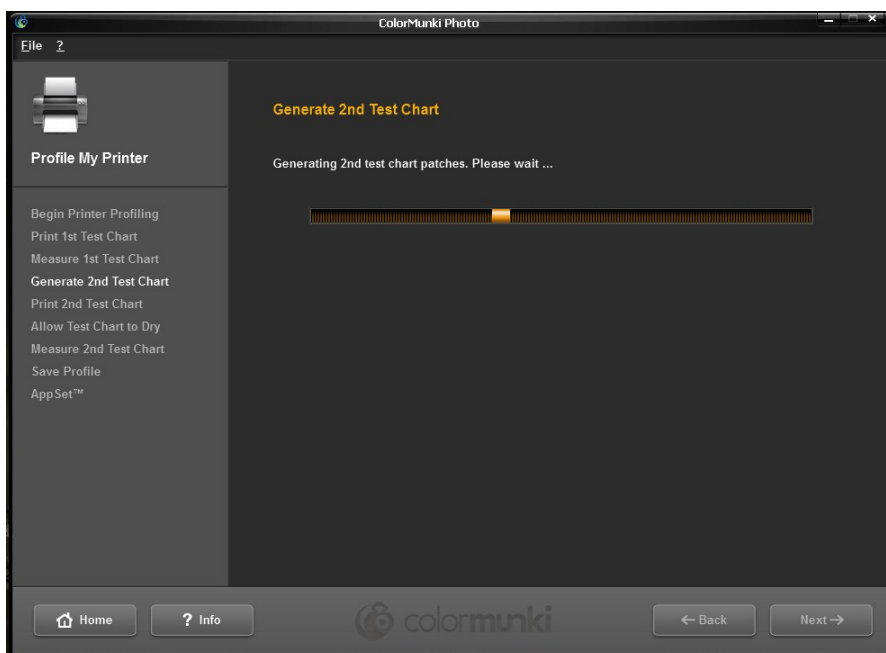
Pilt 34: Spektrofotomeetri kalibreerimine.

5. Esimese prooviliehe värvide mõõtmine spektrofotomeetriga (vt Pilt 35). Kui värvitabel on kuivanud, siis tuleb spektrofotomeetrit kasutades mõõta eraldi iga prinditud värviriba. Kui mõõtmine õnnestus, siis liigub oranž kastike automaatselt edasi järgmisele ribale.



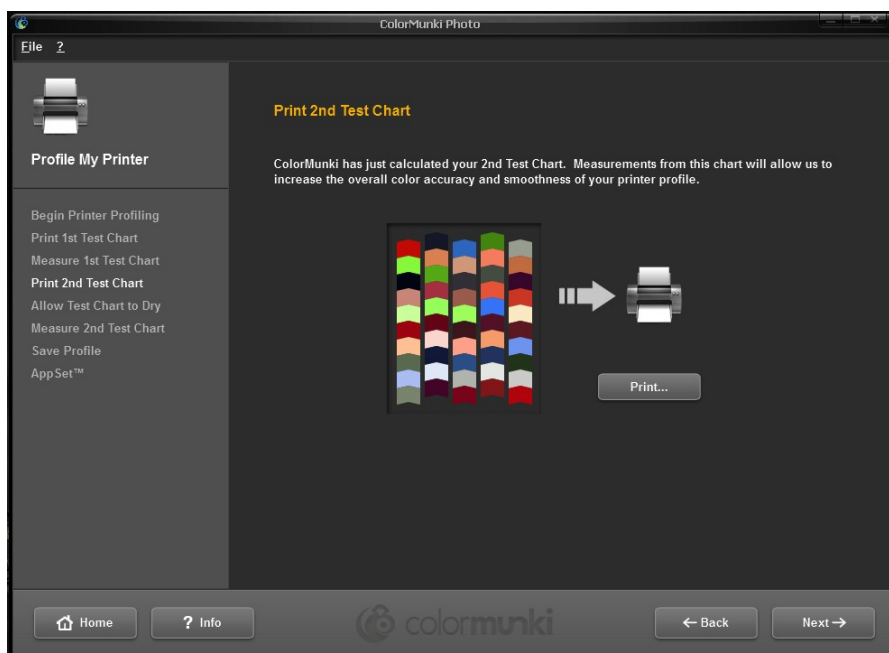
Pilt 35: Värvide mõõtmine.

6. Genereeritakse vastavalt esimesele proovilehele teine proovileht (vt Pilt 36).



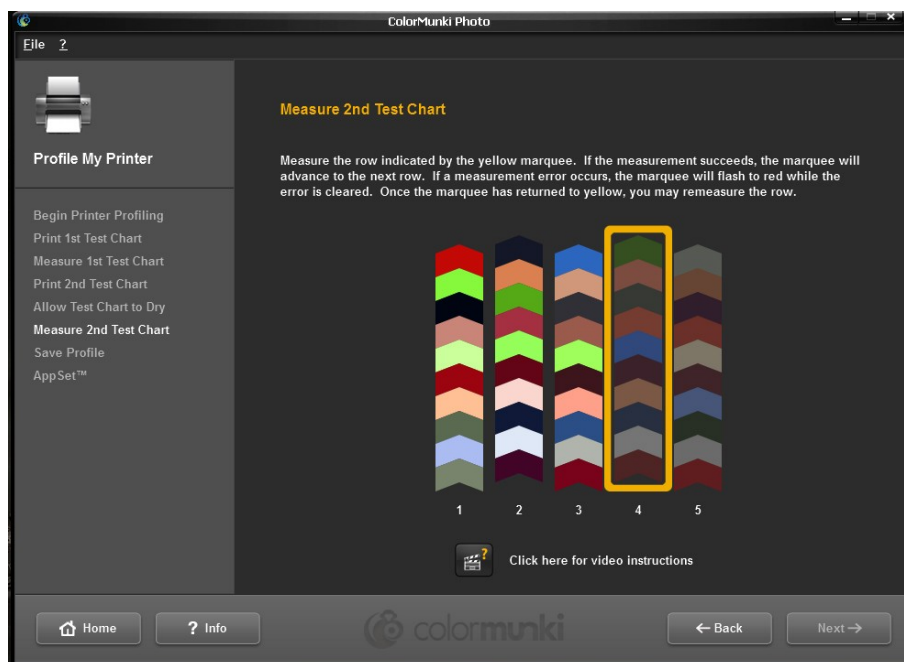
Pilt 36: Teise värvitabeli genereerimine.

7. Teise värvitabeli printimine (vt Pilt 36). Siin tuleb käituda sammuti nagu käituti esimese värvitabeli printimisel punktis 3.



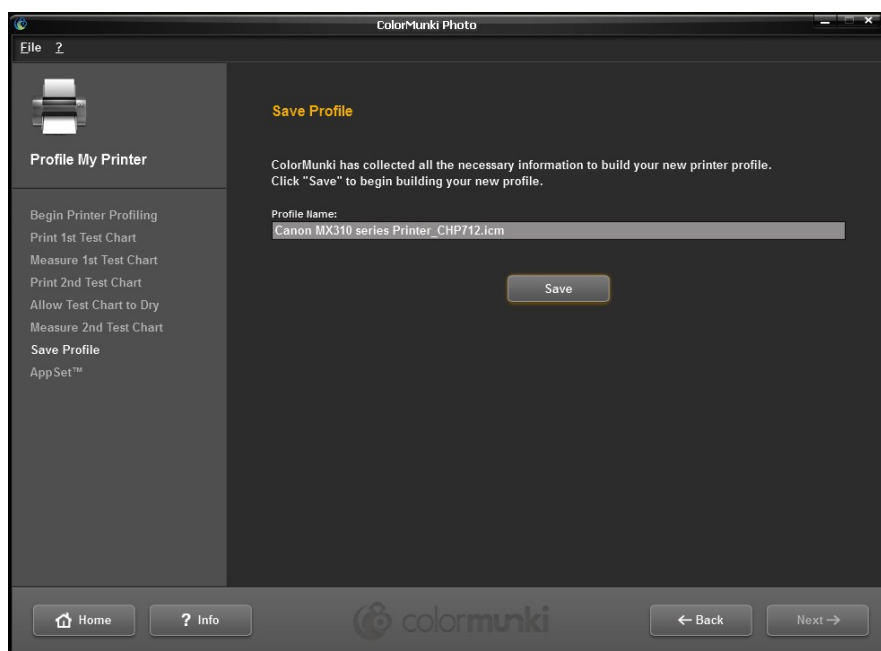
Pilt 37: Teise värvitabeli printimine.

8. Teise proovilehe mõõtmine (vt Pilt 38).



Pilt 38: Teise värvitabeli mõõtmine.

9. Värviprofiilile nime andmine ja selle salvestamine (vt Pilt 39). Salvestatakse skanneri profiiliga ühte kataloogi. Kui mõlemad värvitabelid on mõõdetud, siis koostab profiilimise tarkvara nende alusel printerile oma värviprofiili. Sellega on printerile värviprofiil loodud.



Pilt 39: Printeri värviprofiili salvestamine.

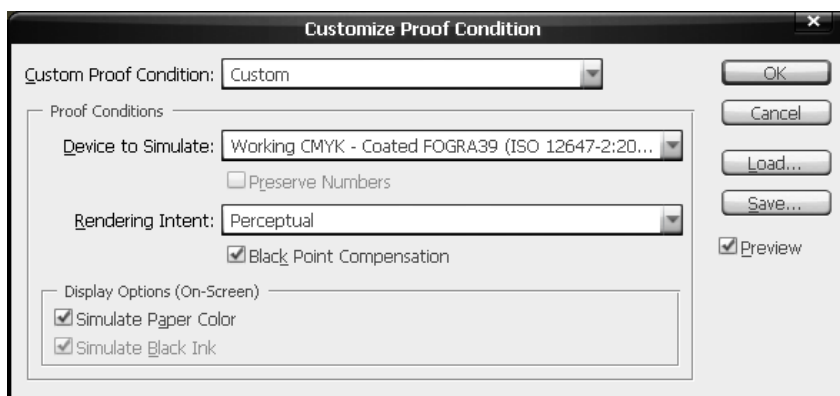
Kui monitori puhul määrati kohe automaatselt, peale värviprofiili loomist, see vaikeprofiiliks, siis printeri puhul tuleb alati ise valida õige profiil. Põhjus, miks printeri värviprofiili ei määrata kohe vaikeprofiiliks on, et iga kord ei pruugita kasutada sama paberit.

4.2. Trükikoda

Kui fail läheb printimisele trükikotta, siis on mõttekas kõigepealt teha *soft-proof*. *Soft-proofing*uga on võimalik monitoril näha, millised saavad olema pildi värvid, kui see prinditakse. *Soft-proofing*'u käigus konverteeritakse faili värviprofiil väljundi värviprofiili ja sealt tagasi monitori värviprofiili, see protsess toimub „lennult“, mis tähendab, et failile füüsiliselt muudatusi ei tehta.

Kuid *soft-proofing*'ul on ka puudus. Igal monitoril on oma fikseeritud värviulatus, mis tähendab seda, et monitor ei ole võimeline näitama värve, mis jäävad sellest välja. Sellisteks värvideks on näiteks küllastatud tsüaanid ja kollakas-oranžid, kuid need värvid on olemas printerite värviruumides. Seega toimub *soft-proofing*'u käigus värvide kadu, kuid seda on võimalik kompenseerida, kasutades erinevaid tõlgendusviise (vt. Peatükk 3.2.4. „Tõlgendusviisid“).

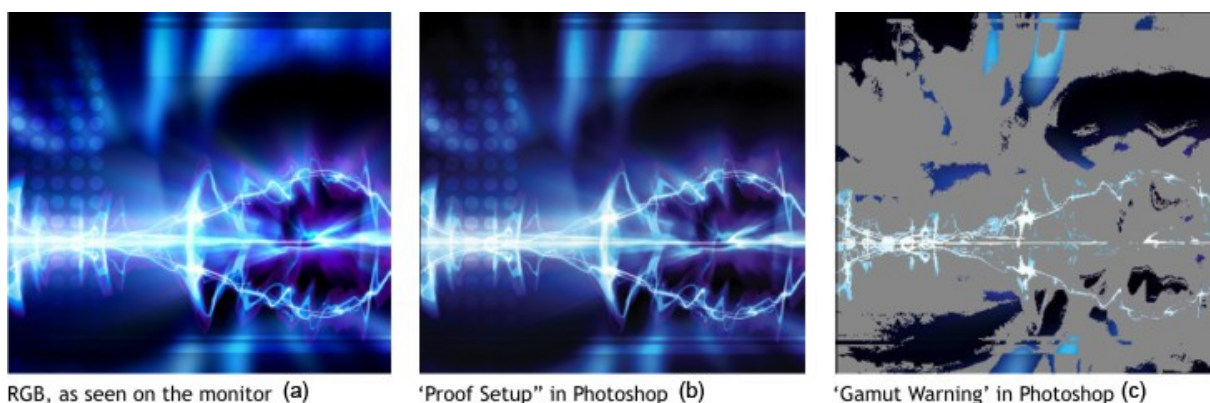
PhotoShopCS4'jas saab *soft-proofing*'ut teha järgnevalt: *View -> Proof Setup -> Custom*, sellega tuleb ekraanile järgnev aken (vt Pilt 40):



Pilt 40: *Proofing*'u sätete aken PhotoShopCS4.

Selles aknas on võimalik ära määrata seade, mida simuleeritakse (*Device to Simulate*), tõlgendusviis (*Rendering Intent*) ning kas simuleeritakse paberi värv ja must tint. Tunnetusel ja küllastusel baseeruvate ning relatiivse tõlgendusviisi puhul on antud võimalus valida ka musta punkti kompensatsioon (*Black Point Compensation*). See lisafunktsioon tagab detailide allesjäämist pildi varjuosades.

Kuna *soft-proofing*'ul on palju erinevaid funktsioone, mida omavahel kombineerides saadakse erinev tulemus, siis võib alguses tunduda, et sellel *proofing*'ul pole mõtet, sest originaalile vastava näidise saamine on võimatu. Tegelikuses ei vasta ükski *proof* sajaprotsendiliselt originaalile, alati on mingi erinevus. *Soft-proofing*'u kasutamise võtmeks on õppida neid erinevusi õieti tõlgendama. Kui tõlgendamine on selge, siis annab *soft-proofing* piisalvalt adekvaatse ülevaate sellest, milline saab olema pildi värvivälimus printimisel. *Soft-proofing*'u eeliseks on selle kiirus, paindlikkus, sest on võimalik simuleerida erinevaid seadmeid ja see on ka odavam, kui teha iga kord näidise tarbeks tegelik printimine.



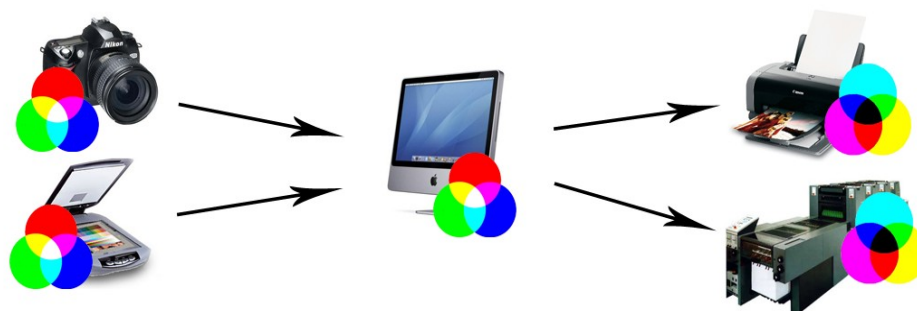
Pilt 41: *Soft Proofing ja Gamut Warning PhtotShop'is. [21]*

Pildil 41 (üleval) on ära toodud RGB värviruumis olev originaalpilt (a) ning see vaadatuna *soft-proofing*'ut kasutades (b). Nagu näha, on *soft-proofing*'u pildil värvid tuhmimad ning osa detalile on kadunud. See on tingitud sellest, et *soft-proofing*'u pilt on CMYK värviruumis, mis on paratamatult väiksema värviulatusega kui seda on RGB värviruum. Kui see pilt printida, siis on tulemus sarnane pildil (b) oleva pildiga.

Kasulik funktsioon, kui tegeletakse faili ettevalmistamisega trükki saatmiseks, on PhotoShop'i funktsioon *Gamut Warning*. Seda on võimalik sisse lülitada järgnevalt: *View -> Gamut Warning*. Kui see funktsioon sisse lülitada, siis võivad muutuda pildi osad värvid halliks, nagu on pildil 41 toodud pilt (c) „*Gamut Warning*“. Halli alaga on ära tähistatud kõik need värvid, mis jäävad CMYK värviruumist välja, mis tähendab seda, et neid pole võimalik printida. Järelikult, mida suurem on hall ala, seda rohkem vajab pilt värvitöötlust, sest kõik need värvid tuleks asendada CMYK värviruumi jäävatega. Paratamatus on see, et sajaprotsendiliselt pole võimalik neid värve asendada ning seetõttu tuleb leppida teatud värvikaduga.

5. TÖÖVOOD

Eelnevates peatükkides kirjeldatud värvuste transformatsiooni protsessis osalevatest seadmetes ja neid siduvat tarkvarast saab formeerida erinevaid töövoogusid. Kõige tavalisem töövoog on, et fail sisestatakse arvutisse, kus seda töödeldakse mõnes töötlusprogrammis ning lõpuks saadetakse fail printerisse või trükikotta printimisele (vt Pilt 42).



Pilt 42: Töövoog ja selles osalevad seadmed.

Eelnevalt selgus, et igal tasandil tuleb arvestada erinevate värviprofiilidega ning mingil etapil tuleb neid konvertida ühest värviruumist teise. Selle alusel, kas profiili konverteerimine toimub töövoogu alguse või lõpu osas, jagunevad töövood varajase (*early binding*) ja hilise (*late binding*) sidumisega töövoogudeks.

5.1. Varajane sidumine (*early binding*)

Varajase sidumise puhul konverteeritakse fail võimalikult ruttu väljundseadme värviruumi. Sellise töövoogu puhul näiteks konverteeritakse skaneeritud fail kohe peale skaneerimist CMYK värviruumi. See sidumine on kõige rohkem levinud trükiste töötlemisel.

Varajase sidumise eeliseks on selle lihtsus, sest juba töövoogu alguses konverteeritakse kõik failid ühe seadme värviruumi ning sellega saab kindel olla, et kõigil failidel on ka ühesugused värvid. Teine eelis, mis kaasneb varajase sidumisega on, et kaob ära oht kasutada värve, mida väljundseade ei ole võimeline produtseerima.

Varajase sidumise üheks puuduseks on selle jäikus, sest kui fail on juba töövoogu alguses

konverteeritud mõne kindla seadme värviruumi, siis hiljem ei sobi seda faili printida mõne teise seadmega. Seega, varajast sidumist ei sobi kasutada siis, kui pole teada, milline on väljundseade ja siis, kui on vaja faili printida erinevate seadmetega. Varajane sidumine põhjustab ka faili suuruse kasvu, sest CMYK failidel on neli erinevat värvikanalit, aga enamus sisendseadmetest loovad RGB faile, mis on mahult väiksemad, sest neil on ainult kolm kanalit. Suurem fail tähendab jällegi aeglasemat faili avamist, salvestamist ja kopeerimist üle võrgu. Veel üheks puuduseks võib osutada varajase sidumise puhul see, kui näiteks PhotoShopis soovitakse kasutada erinevaid filtreid. Kui fail on konverteeritud CMYK värviruumi, siis väheneb erinevate filtrite arv, mida on võimalik kasutada, poole võrra ning need, mida on võimalik kasutada, ei anna nii head tulemust, kui RGB värviruumis oleva faili puhul. [13]

5.2. Hiline sidumine (*late binding*)

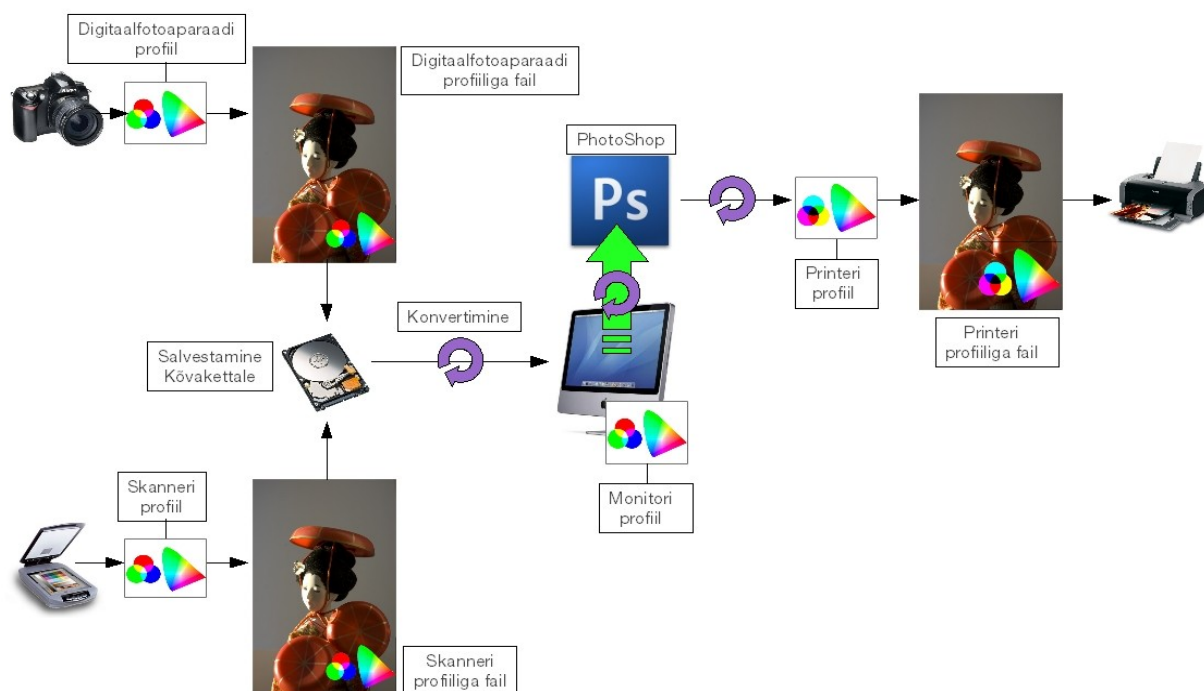
Hilise sidumise puhul viivitatakse võimalikult kaua faili konverteerimisega väljundi värviruumi. Näiteks, kui sisendfaili profiiliks on sRGB, siis hilise sidumise puhul tehakse faili töötlemine ka sRGB's ning väljundseadme värviruumi konverteeritakse fail vahetult enne printimisse saatmist. Üldjuhul kasutavad seda sidumist fotograafid.

Hilise sidumise suureks eeliseks on selle paindlikkus. Kui säilitatakse originaalfaili värviulatus, siis tänu sellele on võimalik hiljem konverteerida seda edukalt erinevate väljundseadmete värviruumidesse. Pilditöötlust on ka lihtsam teha suuremas värviruumis, kui seda on CMYK.

Hilise sidumise puuduseks on, et selles on rohkem kohti, kus on võimalik eksida ning tänu sellele faili lõpptulemus ära rikkuda. Näiteks, kui mingil etapil määratakse failile kogemata uus värviprofiil, tänu millele muutub värvivälimus, siis selle tagajärjel võib lõpptulemus olla originaalist väga erinev. Teiseks puuduseks hilise sidumise puhul on, et selle lõpptulemust saab hinnata hilises töövoos staadiumis. [13]

5.3. Värvuste transformatsioon töövoos

Värvuste transformatsiooni protsess toimub töövoos, kui fail liigub ühe seadme värviruumist teise seadme värviruumi. Joonisel 2 (all) on ära toodud faili liikumine sisendseadmest (digitaalfotoaparaat või skanner) väljundseadmesse (printer).

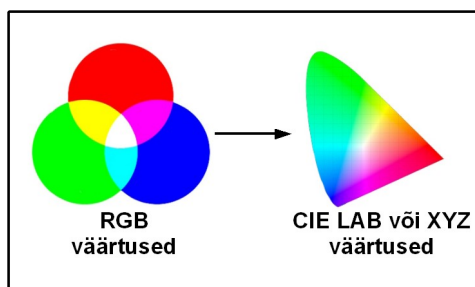


Joonis 1: Värvuste transformatsioon töövoos.

Sisendseadmest, kas siis digitaalfotoaparaadist või skannerist, tulevale failile määratakse vastavalt, kas fotoaparaadi- või skanneri profiil ning tulemuseks on failid fotoaparaadi ja skanneri profiilidega. Järgmisena salvestatakse fail arvuti kõvakettale ning sealt kuvatakse fail arvuti monitorile. Enne faili kuvamist toimub faili värviprofiili konverteerimine sisendprofiilist monitori värviprofiili. Edasi avatakse fail fototöötlusprogrammiga PhotoShop ning sellisel juhul toimub uus konverteerimine faili värviprofiilist programmi töötlemisvärviruumi ning sealt tagasi monitori värviprofiili. Kui soovitakse teha varajast sidumist, siis selles faasis konverteeritakse fail kohe printeri värviruumi ning muudatusi failis tehakse printeri värviruumis. Kuid kui tegemist on hilise sidumisega, siis tehakse failile muudatusi, kasutades programmi töötlemisvärviruumi ning enne printimist konverteeritakse fail ümber printeri värviprofiili. Tulemuseks on printeriprofiiliga fail, mis saadetakse printerisse printimisele.

Kuidas konvertimine aset leiab ning mis komponendid selles osalevad? Et konverteerimine saaks üldse aset leida, siis kõigepealt on vaja värviprofiili, millest konverteeritakse ehk sisendprofili ja värviprofiili kuhu konverteeritakse ehk siis väljundprofili. Joonise 2 puhul on näiteks sisendprofili skanneri profiil ning väljundprofili monitori oma. Järgmisena on vaja erinevaid tõlgendusviise, millest räägiti paragrahvis 3.2.4. Neljanda komponendina on vaja „mootorit“, mis oskaks eelnevate komponentidega midagi peale hakata ning selleks on CMM²¹. CMM on värvihaldusmoodul, mis defineerib, kuidas vastandada ühte värviruumi teise värviruumiga. CMM'e on erinevaid, näiteks PhotoShopis on võimalik valida kahe erineva CMM'i vahel: Adobe (ACE) ja Microsoft ICM'i vahel, kuid kõik CMM'id omavad ühte funktsiooni, milleks on värviruumide teisendamine. Kõik eelnevad komponendid seob omavahel kokku üheks tervikuks CMS²² ehk värvihaldussüsteem. CMS on tarkvara, mis võrdleb omavahel sisendprofili ja väljundprofili ning kui vaja, teeb vajalikke korrekture, et esitada värv erinevates seadmetes võimalikult samalaadselt ja võimalikult täpses vastavuses originaaliga. Kui kõik komponendid on olemas, siis läbib CMS profiili konvertimiseks järgmised neli etappi:

1. Kõigepealt koostab CMS tabeli, kus vastandatakse sisendprofili RGB (või CMYK) väärtused CIE XYZ või LAB väärtustele, kasutades selleks relatiivset kolorimeetrilist teisendust (vt Skeem 2).

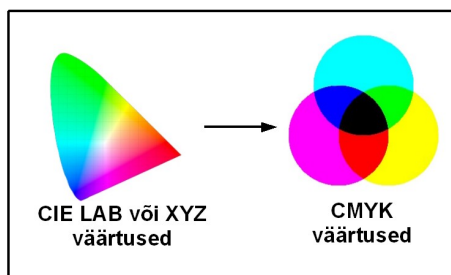


Skeem 2: RGB väärtuste vastandamine CIE XYZ või LAB väärtustele.

2. Järgmisena koostab CMS tabeli, kus vastandatakse CIE XYZ või LAB väärtused väljundprofili CMYK (või RGB) väärtustega, kasutades selleks kasutaja poolt valitud tõlgendusviisi (vt Skeem 3).

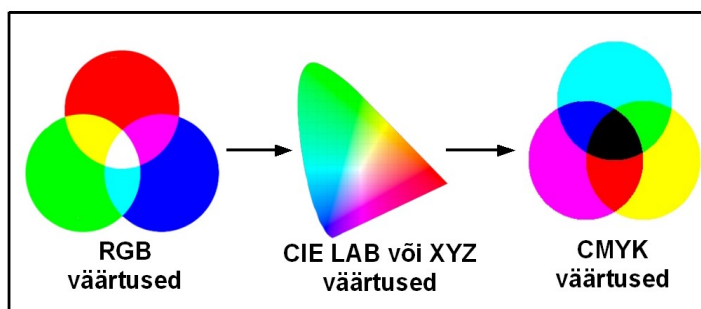
21 **CMM** – Color Management Module ehk Color Management Engine

22 **CMS** – Color Management System



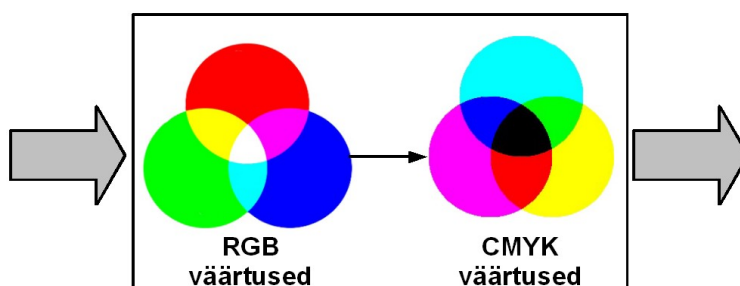
Skeem 3: CIE XYZ või LAB väärtuste vastandamine CMYK väärtustega.

3. Kasutades CMM'is defineeritud värvide vastandamise algoritmi, ühendab CMS eelnevates sammudes loodud tabelid, võttes aluseks ühised CIE XYZ või LAB väärtused ning koostab uue tabeli, mis läheb otse sisendist väljundisse (vt Skeem 4).



Skeem 4: Konverteerimise tabeli koostamine.

4. CMS „söödab“ kõik sisendfaili pikslid ja värvid läbi kolmandas punktis loodud tabeli, konverteerides sellega väärtused sisendprofiilist väljundprofiili (vt Skeem 5).



Skeem 5: Väärtuste teisendamine konverteerimise tabeli alusel.

Peale eelnevalt selgitatud nelja sammu läbimist on faili konverteeritud sisendprofiilist, milleks võis olla näiteks sRGB, väljundprofiili, näiteks printeri värviprofiili (CMYK).

Kuna igal seadmel on oma kindel värviulatus/võimekus (*gamut, range*), millel põhineb ka seadme profiil, siis toimub mingi värvuste transformatsioon iga kord kui toimub konverteerimine ühest profiilist teise. Kõige suurem transformatsioon leiab aset, kui liigutakse RGB värviruumist CMYK värviruumi, sest nende kahe värviruumi ulatus on kõige erinevam.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli luua ülevaade värvuste transformatsiooni protsessist graafilise info töötlemise erinevates faasides ning uurida, kuidas on võimalik saavutada olukord, et värvuste transformatsiooni protsessis värvuste moonutused oleksid minimaalsed ja milliste tegevuste kaudu oleks võimalik garanteerida, et transformatsiooni protsessi resultaat oleks võimalikult lähedane originaalile, kui seda soovitakse. Töö käigus jõuti järeldusele, et värvuste transformatsiooni protsess leiab aset kõigis kolmes faasis:

- sisendfaasis
- töötlemisfaasis
- väljundfaasis

Igas faasis osalevad erinevad seadmed ning igal seadmel on oma värviulatus (*gamut*), mida see on võimeline esitama. Värvulatus erinevus seadmetes on põhiliseks värvuste muundumise põhjuseks ning kahjuks seetõttu ei ole värvuste muundumisest võimalik saajaprotsendiliselt vabaneda, mingid erinevused originaalist jäävad alati.

Selgus ka, et värvide kvaliteet sõltub osaliselt tehnoloogiast, mida on kasutatud seadme ehitamiseks. Näiteks, mõnelt odavamast klassi LCD monitorilt ei saa oodata heade värvide kuvamist isegi siis, kui seda kalibreerida, sest tal puuduvad selleks vajalikud füüsilised omadused.

Järelikult, kriitilisemad lülid värvuste transformatsioonis on skannerid, monitorid ja printerid. Kui need seadmed on korralikult kalibreeritud ja seadme kasutamisel kasutatakse õigeid profiile, siis on värvuste soovimatute moonutuste esinemise võimalus minimaalne.

Käesoleva töö raames viidi läbi terve rida eksperimente, mille käigus uuriti, kuidas on võimalik transformatsiooni protsessi teatud faasi mõjutada nii, et minimeerida soovimatuid moonutusi värvuste transformeerumisel. Katsetati töötlusprotsessis osalevate seadmete kalibreerimist ja profiilimist ning jälgiti, millised muudatused toimuvad värvuste transformatsioonis. Selgitati ka välja, milliseid võimalusi pakub töötluskeskkond PhotoShopCS4. Jõuti arusaamisele, et seal on võimalik siduda failiga profiile ja vajaduse korral teha profiilide konverteerimist. Esitati ka kogu värvuste transformatsiooni protsessi kajastav skeem ja selgitati kokkuvõtlikult, mis ühes või teises faasis toimub.

Käesolevat tööd on võimalik mitmes suunas edasi arendada. Üheks suunaks on vaadelda, kuidas värvuste transformatsiooni probleemid on lahendatud erinevates veebibrauserites. Teiseks suunaks on võtta detailsema ja põhjalikuma uurimise alla transformatsiooni protsessis osalevad seadmed. Põhimõtteliselt võiks põhjalikumalt uurida ka erinevaid kalibreerimise protsesse, näiteks tarkvarapõhist kalibreerimist (näiteks programmiga Adobe Gamma).

Käesoleva töö koostamine oli töö autori jaoks huvitav, loominguline ja andis avarad võimalused integreerida töösse õppimise käigus omandatud teadmised ja autori poolt akumulieritud kogemused.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Grey T. 2004. Color Confidence - The Digital Photographer's Guide to Color Management. Alameda:SYBEX Inc.
2. What Wavelength Goes With a Color? [24.04.2009]
http://eosweb.larc.nasa.gov/EDDOCS/Wavelengths_for_Colors.html
3. Nähtav värvispekter [24.04.2009]
http://electricalfun.net/visible_spectrum.htm
4. Introduction to Color [24.03.2009]
<http://www.wiu.edu/art/courses/design/color.htm>
5. Tammert M. 2002. „Värvisõpetus teoorias“. Tallinn:Aimwell
6. RGB color model [24.04.2009]
http://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model
7. CMYK: cyan, magenta, yellow, black [24.03.2009]
<http://www.cecs.csulb.edu/~jewett/colors/cmyk.html>
8. Colour Management in Practice [16.04.2009]
<http://www.jiscdigitalmedia.ac.uk/stillimages/advice/colour-management-in-practice/>
9. 1976 CIELAB Color Space [24.04.2009]
<http://www.rpdms.com/cielch/index.html>
10. How Scanners Work [15.04.2009]
<http://computer.howstuffworks.com/scanner.htm>
11. Scanner Specifications [15.09.2009]
<http://www.nuance.com/scannerguide/firsttimeusers/specifications/>
12. Calibration versus Profiling [25.04.2009]
<http://www.imagescience.com.au/kb/questions/64/Calibration+versus+Profiling>

13. Fraser B., Murphy C., Bunting F. 2005. Real World Color Management. Berkeley: Peachpit Press
14. How to Choose a Digital Camera [20.04.2009]
http://www.ehow.com/how_3875_choose-digital-camera.html
15. How Computer Monitors Work, LCD Monitors [16.04.2009]
<http://computer.howstuffworks.com/monitor5.htm>
16. How LCDs Work [16.04.2009]
<http://electronics.howstuffworks.com/lcd5.htm>
17. Backlight [16.04.2009]
<http://en.wikipedia.org/wiki/Backlight>
18. Color Workflows for Adobe® Creative Suite® 3 [25.04.2009]
http://www.adobe.com/designcenter/creativesuite/articles/cs3ap_colorworkflows_print.html
19. Värvihaldus [15.04.2009]
http://www.multiprint.ee/user_upload/prepress_loeng_7_cm_yheskoos.pdf
20. How Inkjet Printers Work, Impact vs. Non-impact [17.04.2009]
<http://computer.howstuffworks.com/inkjet-printer1.htm>
21. Color My World [26.04.2009]
http://www.istockphoto.com/article_view.php?ID=303
22. GretagMacbeth'i värvitabel [27.04.2009]
<http://static.photo.net/attachments/bboard/00E/00Edc0-27156284.jpg>

SUMMARY: Color Transformation Process

The aim of this B.A thesis was to give an overview of color transformation processes in different phases of graphical data processing and see how to make different devices, that take part in those phases, behave so that the colors they create would be reliable in every phase.

In order to understand how computer devices, like scanners, monitors and printers behave and how to make them reliable, so that the colors what they present are authentic and as close to the original color appearance of the image, we first must understand how those devices work. Because of that author of this thesis first looks into what main technologies are being used for building those devices and how they effect the color produced by the device.

Author also gives and overview of how to calibrate and profile some of the devices that are in common use, like flatbed scanner, LCD monitor and ink jet printer, because calibration and profiling gives a good color consistency over different devices.

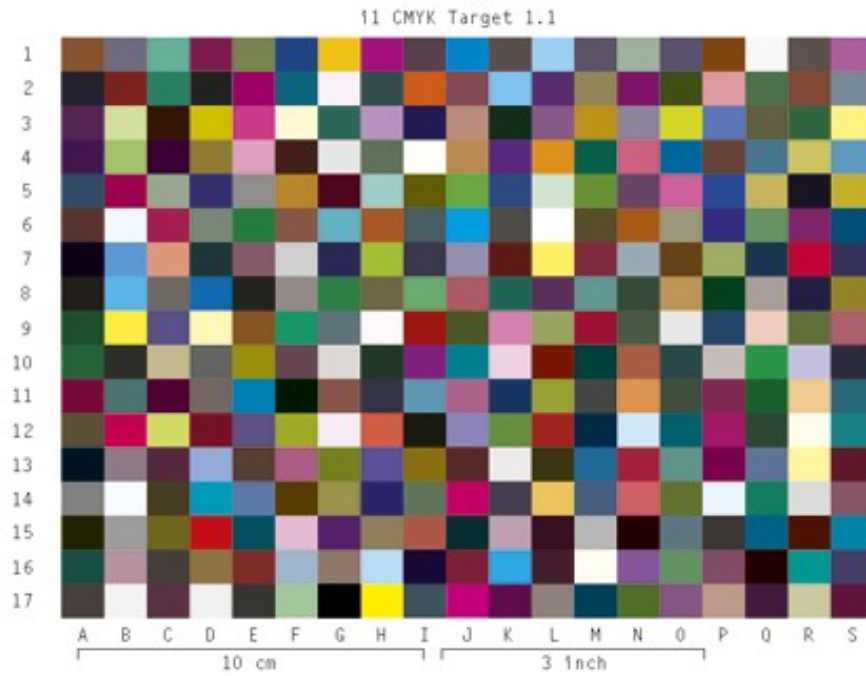
This thesis gives also an overview of profile conversion form one color profile to another, because profile conversion takes place in every phase of graphical data processing. For example from scanner profile to monitor profile. Because every device has it's own color profile and color gamut, there will always be some differences in colors of original and final output image after conversion from one profile to another.

Color transformation process is something that is always a part of graphical data processing and the author of this thesis has conclude that there is no way to remove it totally, there will always be some differences in the original and processed image.

LISAD

LISA 1. Kalibreerimisseadmete värvitabelid printeri profiilimiseks

Eye-One Match 3'e värvitabel printeri profiilimiseks.



ColorMunki Photo värvitabelid printeri profiilimiseks.



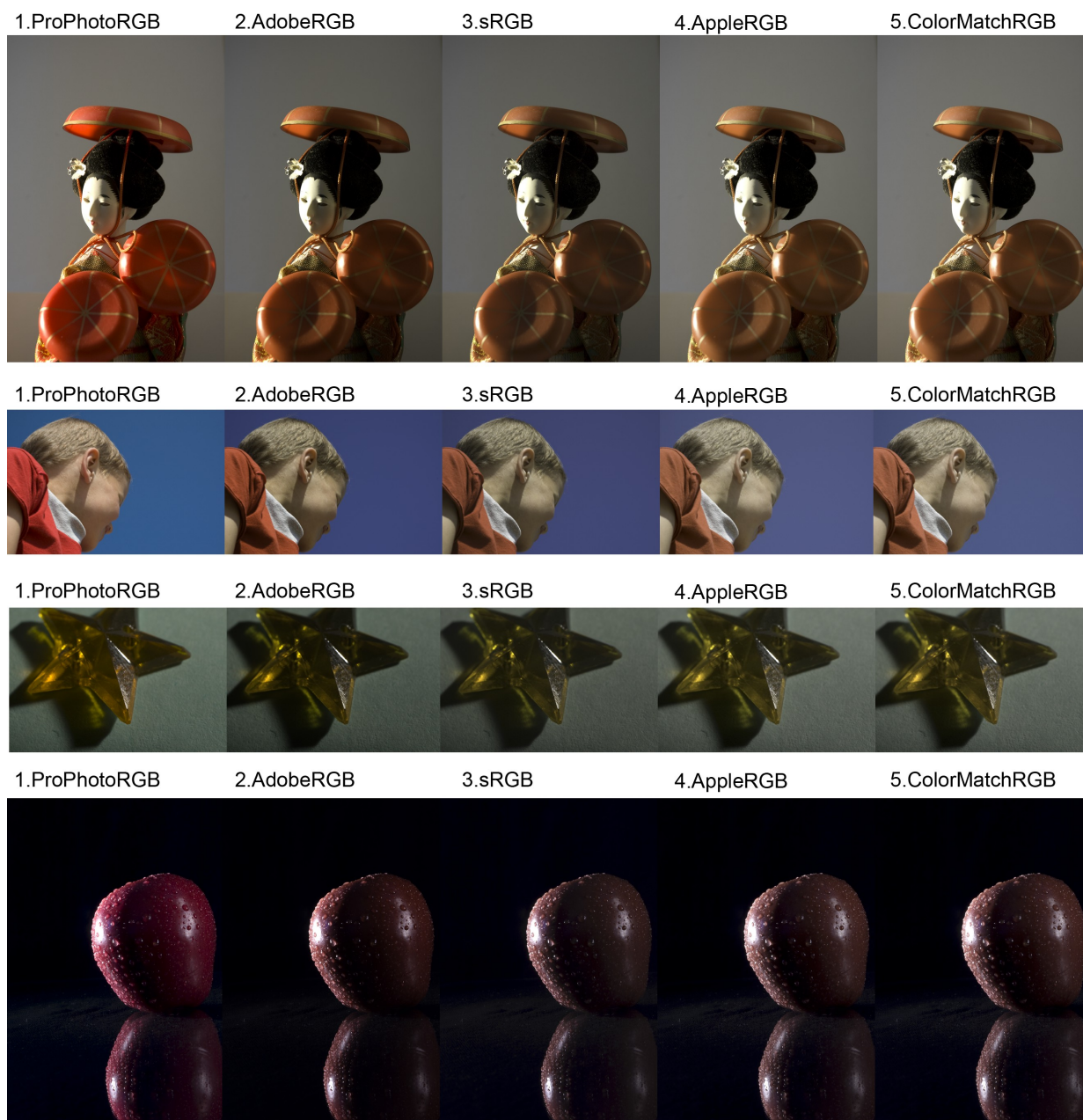
Lisa 1: Eye-One Match 3'e ja ColorMunki Photo värvitabelid printerite kalibreerimiseks.

LISA 2. Värvitabel digitaalfotoaparaadi profiilimiseks



Lisa 2: GretagMacbeth'i värvitabel digitaalfotoaparaadi profiilimiseks. [22]

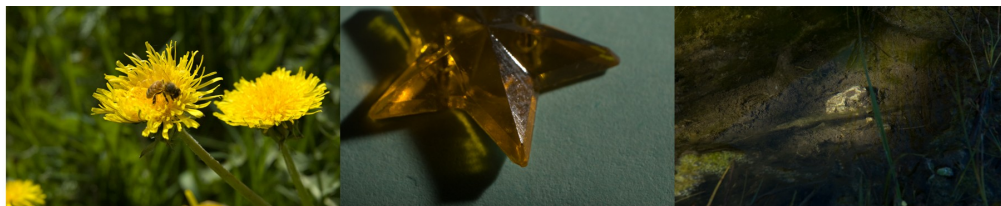
LISA 3. PhotoShotpCS4 värviruumid



Lisa 3: Adobe PhotoShopCS4'jas olevate värviruumide erinevused. [Pildid autori erakogust.]

LISA 4. Tõlgendusviisid

1. Originaal



2. Tunnetusel
baseeruv



3. Küllastusel
baseeruv



4. Relatiivne



5. Absoluutne



Lisa 4: Erinevad tõlgendusviisid (Rendering Intent). [Pildid autori erakogust.]