

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

VÁRZA FERENC

Soproni Egyetem
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Sopron
2024

Doktori (PhD) értekezés

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert egyetemi tanár

Doktori program: Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok

Programvezető: Dr. Fehér Sándor

Tudományág: anyagtudomány és technológiák

**FLEXO NYOMTATÁSSAL KÉSZÜLT HAJLÉKONY FALÚ
CSOMAGOLÓANYAGOK GYÁRTÁSI FOLYAMATÁBAN A KRITIKUS
PONTOK FELTÁRÁSA, KUTATÁSOK A LEHETSÉGES FEJLESZTÉSI
TERÜLETEKEN**

Készítette: Várza Ferenc

Témavezető: Joóbné Dr. Preklet Edina, Dr. habil. Horváth Csaba

Sopron

2024

**FLEXO NYOMTATÁSSAL KÉSZÜLT HAJLÉKONY FALÚ
CSOMAGOLÓANYAGOK GYÁRTÁSI FOLYAMATÁBAN A KRITIKUS
PONTOK FELTÁRÁSA, KUTATÁSOK A LEHETSÉGES FEJLESZTÉSI
TERÜLETEKEN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája

Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok programja

Írta:
Várza Ferenc

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola

Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok programja keretében

Témavezető: **Joóbné Dr. Preklet Edina**

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

Témavezető: **Dr. habil. Horváth Csaba**

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori komplex vizsgán **96%** -ot ért el,

Sopron, 2022. június 1.

Prof. Dr. Magoss Endre a Komplex Vizsga Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott Várza Ferenc, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a(z) Flexo nyomtatással készült hajlékony falú csomagolóanyagok gyártásának kritikus pontjainak feltárása, kutatások a lehetséges fejlesztési területeken című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.¹

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezető(i)met, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 20.....

.....
doktorandusz

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Kivonat

Flexo nyomtatással készült hajlékony falú csomagolóanyagok gyártási folyamatában a kritikus pontok feltárása, kutatások a lehetséges fejlesztési területeken

A nyomtatási technológiák átjárhatóságára vonatkozó kutatás során tesztnyomtatások segítségével minőségjavító paraméterváltoztatásokat határoztunk meg, amelyekkel közelíteni tudtuk az oldószeres és UV flexo technológiákkal elérhető nyomatképet és színteret. A színtérelmézések adatai alapján megállapítottuk, hogy egyes paramétercsoportokkal az oldószeres és UV flexo közötti átjárhatóság megvalósítható. A felhasznált festékek tulajdonságainak változása, a nyomtatás minőségét befolyásoló festékfelhordási problémák kutatása során vizsgáltam azokat a lehetőségeket, melyek egyszerűbbé és költséghatékonyabbá tehetik a csomagolásnyomtatás folyamatait.

A fehér szín jelentősége kiemelkedően magas a flexo nyomtatás során, ezért erre a területre nagy figyelmet fordítottam. Vizsgálataimmal sikerült meghatározni a legnagyobb fedőképességi szintet és legjobb festékfelhordást biztosító felületi mintázatot.

A matt lakkozás, mint felületkezelési megoldás az egynemű csomagolásokhoz vezető út kulcsfontosságú elemeként kutatásaim másik alappillére. A matt lakk esetében legtöbb esetben a magas hőállóság és az ujjlenyomat-állóság elérése az elsődleges szempont. Kutatásaink kezdetén az utóbbira indítottunk vizsgálatokat, mely során egy speciális matt lakkot fejlesztettünk ki és teszteltünk. Az elért eredmények vonalán tovább haladva létre hoztunk egy technológiát, mely lehetővé teszi a mattlakkozott felület struktúrájának megváltoztatásával különböző minták megjelenítését a nyomaton.

Szintén az egynemű csomagolóanyagokra való áttérés egyik feltétele, hogy a tükörnyomtatásnak megfelelő minőséget érhesünk el a direkt nyomtatás alkalmazásával. Az egyrétegű fóliák csak ebben az esetben helyettesíthetik a többrétegű, bonyolult szerkezetű nyomathordozókat, mivel az élelmiszeriparban minőségbiztonsági okokból az egyrétegű fólia használata csak direkt nyomtatás mellett alkalmazható. Kutatásunk célja volt, direkt nyomtatással olyan produktumot létrehozni, mely minimálisan tér el - az alapjaiban minőségibb eredményt biztosító - tükörnyomtatással készült nyomattól. Mindezt különböző klisémintázatok és lakktípusok tesztelésével értük el. Sikerült megvalósítanunk, hogy mind a színtér, mind a fényesség terén minimális különbséget mutató nyomtatásminőséget produkáljunk egynemű nyomathordozó használata mellett.

Abstract

Exploration of critical points in the production of flexo-printed flexible-wall packaging materials, research into possible areas of development

During our research related to interoperability of printing technologies, we specified quality-improving parameter changes with the help of test printings, by which we could make print images and colour gamuts achievable with solvent and UV flexo technologies converge. Based on the data of the colour gamut analyses, we concluded that with certain sets of parameters it was possible to reach interoperability between solvent and UV flexo.

In my research into changes of characteristics of applied inks, and inking problems that affect print quality, I explored the possibilities that might make the processes of packaging printing simpler and more cost-effective.

The significance of white colour is outstandingly high in flexo printing, thus, I focused with special emphasis on this area. With my investigations, I managed to determine the surface pattern yielding the highest opacity and best ink transfer.

Matte varnishing, as a surface finishing solution, and as a key element of the road to mono-material packagings, is another cornerstone of my research. In case of matte varnishes, most of the times the primary goal is to reach a high degree of heat resistance and fingerprint resistance. At the beginning of our explorations, we started examinations in connection with the latter, during which we developed and tested a special matte varnish. Moving forward along the results, we created a technology that made it possible to visualize different printed patterns by changing the structure of the matte varnished surface.

It is also a requirement of the changeover to mono-material packagings that we need to be able to achieve reverse printing quality with direct printing. Only in this case can monolayer foils replace multilayer substrates with complex structure, as in the food industry monolayer foils can only be used with direct printing due to quality and safety related reasons. Our research aimed at creating such a direct printed product that deviates minimally from the – fundamentally higher quality – reverse printed version. We accomplished that through the testing of various plate surface patterns and varnish types. In the fields of both colour gamut and gloss, we succeeded in achieving such a print quality that showed minimum deviation using mono-material substrate.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	9
1.1. Kutatási terület kijelölése, témaválasztás indokoltsága	9
1.2. Alapvető problémák feltárása, elemzése	10
1.3. A doktori disszertáció felépítése	12
2. Irodalmi áttekintés	13
2.1. A csomagolás fejlődése és funkciói	13
2.2. Hajlékonyfalú csomagolóanyag-gyártás és nyomtatás jelentősége	16
2.3. Flexo nyomtatás jellemzői	22
2.4. Flexo nyomdagépek	24
2.5. Oldószeres flexo vs UV flexo	25
2.6. A reológia jelentősége a flexográfiában	30
2.7. A minőségi flexo nyomtatás nehézségei	34
2.8. A fény- és színmérés a nyomdaiparban	37
2.9. A fehér szín jelentősége a flexográfiában	39
2.10. A csomagolóanyag – gyártás és nyomtatás új kihívásai	40
3. Alkalmazott anyagok, eszközök és módszerek	42
3.1. Alkalmazott alapanyagok	44
3.2. Alkalmazott nyomdagépek	45
3.3. Alkalmazott vizsgálati módszerek	46
3.4. Alkalmazott mérőműszerek	47
4. <i>A kutatómunka eredményei I. rész</i>	
Az oldószeres és UV technológia alkalmazhatósági kritériumainak vizsgálata	50
4.1. Célkitűzés	50
4.2. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények	50
4.3. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe	61
5. <i>A kutatómunka eredményei II. rész</i>	
Elő és hátoldali nyomtatás színterének vizsgálata, összehasonlítása	62
5.1 Célkitűzés	62

5.2. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények	62
5.3. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe	68
<i>6. A kutatómunka eredményei III. rész</i>	
A flexo festékek reológiai vizsgálata	69
6.1. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények	69
6.2. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe	75
<i>7. A kutatómunka eredményei IV. rész</i>	
A fehér festék felhordási problémáinak vizsgálata	76
7.1. Célkitűzés	76
7.2. Vizsgálati eszközök, módszerek és eredmények	76
7.3. Fejezet összegzése, a kutatás célja és hasznosítási területe	81
<i>8. A kutatómunka eredményei V. rész</i>	
Matt lakkozott felületek struktúrájának elemzése	82
8.1. Bevezetés, kutatási célok	82
8.2. Alkalmazott kutatási módszerek, eredmények, következtetések	82
8.3. Fejezet összefoglalása, az eredmények felhasználási lehetősége	88
9. Összefoglalás	89
10. Tézisek	91
11. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája	92
12. Irodalomjegyzék	94
13. melléklet	101
Köszönetnyilvánítás	121

1. Bevezetés

1.1 Kutatási terület kijelölése, témaválasztás indokoltsága

Az élelmiszeripari csomagolóanyagok nyomtatása és felületnemesítése a nyomdaipar jelentős részét képezi. Több, mint másfél évtizede dolgozom a csomagolóiparban – és különösen a nyomdatechnika, flexográfia területén – vezető mérnökként. A megszerzett tapasztalataim, és a gyakorlatban felmerülő és megoldásra váró feladatok és problémák ösztönöztek arra, hogy a fenti területtel mélyrehatóbban kezdjek foglalkozni. Munkám során számos olyan nyomtatástechnológiai problémába ütköztem, melyek megoldásához a tudományosan kutatott és publikált eredmények – különösen a magyar szakirodalmak tekintetében – nehezen fellelhetőek és jellemzően szűk, speciális területekre koncentrálnak, mellyel korlátozottan nyílik lehetőség egy átfogóbb problémakör vizsgálatára. Így nem volt kivitelezhető az általam kutatott területnek egyértelműen alapot és tudományos háttérrel biztosító eredmények tovább gondolása, sokkal inkább jellemző, hogy általánosan ismert és gyakorlatban is alkalmazott flexográfiai ismereteket felhasználva, az adott problémára vonatkozó vizsgálatokat a kiindulóponttól a megoldásig saját gondolatmenetem szerint végeztem. Mindezt nem csupán az indokolta, amit a szakirodalmi kutatásaim során tapasztaltam, de a gyakorlatban számos partnercéggel közreműködve a vevői igények felmérése, a tapasztalatok és reklamációk elemzése alkalmával is éreztem, hogy a megoldáskeresés során nem egyedi nehézségekkel, hanem egyfajta kollektív problémakörrel foglalkozom, melyekre a válaszként szolgáló ismeretek és technológiák még nehezen elérhetőek. Ugyanakkor azért sem egyszerű az aktuális, friss ismeretek megszerzése a flexográfiai újítások terén, mivel minden cégnek érdeke, hogy sikeres fejlesztéseik háttere és részletei a piaci előnyük zálogaként rejtve maradjon. Ez a felismerés arra ösztönzött, hogy olyan tudományosan is megalapozható eredményeket érjek el, melyek hozzájárulnak a flexográfiai eljárások fejlődéséhez oly módon, hogy a nyomtatási folyamat során számos gyakorlatban előforduló és ismétlődő akadályt elhárítanak. A Pandan Kft lehetővé tette, hogy kísérleti nyomtatásokat végezzek. A nyomtatott minták kiértékeléséhez egy laboratóriumra volt szükség. Több cég támogatott abban, hogy egy saját eszközökkel ellátott laboratóriumot hozzak létre.

A jelenlegi gazdasági válsággal sújtott időszakban a vállalatok fennmaradásának kulcsa a gazdaságos, illetve a megfelelő minőségű technológiák alkalmazása. Ez fokozottan igaz az élelmiszeripar területén. A termék megóvása és az értékesítés hatékonyságának növelése érdekében elengedhetetlen, hogy az áruk minőségi és dekoratív csomagolásban kerüljenek a polcokra. A védőborítás ára - különösen kisebb kiserelésű termékek esetében - nagyban befolyásolja az eladási árat. Minden gyártó célja az, hogy a költségek minimalizálása mellett biztosíthassa az elvárt minőséget. Ahhoz, hogy ezt el tudjuk érni, szükséges jobban megismernünk a rendelkezésre álló technológiákat és azok határait.

1.2 Alapvető problémák feltárása, elemzése

A hajlékonyfalú csomagolóanyagok az élelmiszeripari termékek ellátási láncában kiemelt szerepet játszanak és számos egymásnak is ellentmondó elvárásnak kell megfelelniük. A fokozatosan szigorodó higiéniai elvárások, a körforgásos gazdaság követelményei, az innovatív gyártási eljárások és a vásárlók igényeinek minél hatékonyabb kiszolgálása, mind olyan szempontok, amelyek további erőteljes fejlesztéseket indukálnak a hajlékonyfalú csomagolások anyagában, megjelenésében és alkalmazási módjaiban egyaránt. Mivel ezeknek a csomagolóanyagoknak túlnyomó része nyomtatott termék, így a legszélesebben alkalmazott flexográfia nyomtatási eljárással szemben is egyre magasabbak a követelmények a jövőben. A viszonylag fiatalnak tekinthető nyomtatási technológia gyors fejlődése, egyre szélesedő területeken történő alkalmazása számos olyan elméleti és gyakorlati problémát generál, amelyekben a tudományos kutatás módszerei nyújthatnak megoldást.

Munkám során számos alkalommal merültek fel olyan vevői igények, melyek egyértelműen tükrözték, hogy megnövekedett a kereslet a magasabb minőségű nyomtatott iránt. A versenyképességünk megtartása miatt fontos volt, hogy a jelenlegi műszaki berendezéseink használatával valósítsunk meg olyan folyamatokat, amelyek segítségével előállíthatók a magasabb minőségű termékek. Kutatásaimat motiválta, hogy a felmerülő technológiai nehézségeket a tudomány segítségével oldjam meg.

A kutatásaim öt problémakört vizsgálnak, melyek lényegüket tekintve összekapcsolódnak és részben egymásra épülnek. Az egyre újabb hajlékonyfalú csomagolóanyagok és csomagolószerek nyomtatással szembeni elvárásai gyakran ütköznek a technológia határaiba. Vizsgálataim az ilyen technológiai határterületek feltárását foglalják magukba törekedve az új - a nyomtatás attraktivitását is növelő - megoldások kidolgozására.

Kutatásom első blokkjában poliészter tükörnyomtatást vizsgálva célom azt bizonyítani, hogy megfelelően kiválasztott, újfajta kliséfelületi mintázatokkal és festékkel lehetséges az oldószeres nyomtatás 4 és 7 színes (CMYK és CMYKOGV) színterének fokozása, UV-flexohoz való közelítése, ezáltal az átjárhatóság kiterjesztése a két nyomtatási technológia között.

A színtér vizsgálatát nem csupán az egyes nyomtatási technológiák átjárhatósága miatt tartom fontosnak. A csomagolóanyag gyártásban a hátoldali nyomtatás - bevonatok migrációs hatásainak kivédése céljából – kizárólag több fóliaréteg laminálásával alkalmazható. Ezzel a megoldással azonban olyan összetett szerkezetű csomagolóanyagot gyártunk, mely komplex anyagából adódóan nehezen vagy egyáltalán nem újrahasznosítható. Amennyiben lehetővé tesszük, hogy a hátoldali nyomtatás minőségét az előoldali nyomtatás minősége megközelítse, nem lesz szükség a fólia több rétegben történő alkalmazására. Ismert, hogy az elő- és hátoldali flexonyomtatással készült nyomtatások színtere jelentősen eltérhet egymástól az anyagok eltérő kétoldali textúrája és a festékfelhordási különbségek miatt, amely nehezítheti

vagy akár akadályozhatja is bizonyos termékcsaládok egységes nyomtatott arculatának, színvilágának kialakítását. Vizsgálataimmal, mérési eredményeimmal azt kívánom bizonyítani, hogy egy megfelelő fényes lakk vagy speciális felület mintázat bevezetésével megvalósítható az elő és hátoldali nyomtatással készült nyomat közötti minőségbeli eltérések jelentős csökkentése. Célunk, hogy az általunk megalkotott lakk és az annak felvitelét lehetővé tevő klisé alkalmazása mellett egyszerűbbé váljon a környezetkímélőbb, és nagyobb százalékban újrahasznosítható termékek előállítás. Ha a laminált duplex, triplex szerkezetről szeretnénk áttérni a monoszerkezetre, ezzel a megoldással mindezt megtehetjük olyan módon, hogy a nyomatminőségben a fogyasztó számára észrevétlen, csupán minimális eltérések legyenek monofólia nyomtatása esetén.

Kutatásom kitér a reológia problémakörének vizsgálatára. A festék viszkozitásának helyes beállítása a minőségi nyomtatás sarkalatos pontja. Egyes esetekben a beállításra, gyártás alatti korrekcióra kevés idő állhat rendelkezésre, továbbá a nyomdaüzemi hőmérséklet-tartomány határértékei közelében (pl. téli vagy nyári időjárási extrémítások hatásai miatt) a standard viszkozitásállítási módszerek hatékonysága jelentősen csökkenhet. A festékek viszkozitás-változásának ok-okozati feltárása a hatékony viszkozitásbeállítási módszerek kidolgozásának alapja.

A nyomatminőség biztosítása szempontjából további alapvető kérdés a fedettségi és száradási problémák vizsgálata. Flexonyomtatás során a fehér festékréteg minősége meghatározó a színtér és a nyomatkép tekintetében. Amennyiben árnyaltos fehér nyomtatása is szükséges - pl. speciális átlátszóság vagy más grafikai effektus érdekében - jellemzően indokolt a fehér festék nyomtatási paramétereinek finombeállítása is. Gyakori probléma, hogy az opacitás fokozása és az árnyalatok minőségi nyomtatása ellentétes irányú módosításokat igényel. Oldószeres festékek vizsgálata mellett célt volt olyan felületmintázat-típus és megfelelő Shore A keménységű polimerklisé definiálása, amelyek kombinációja egyszerre biztosít ideálshoz közeli fedettséget, festékfelhordást, pontnövekedést és rászterpontrajzolatot.

Kutatásaim egyik fő pillérének tekintem a matt lakkozás vizsgálatának témáját. A flexonyomtatásban elterjedt a nyomathordozók felületének részleges vagy teljes mattítása matt lakkok alkalmazásával. Mivel autotípiai rácsozást a lakkozó formánál jellemzően nem alkalmazhatunk - tekintettel a későbbiekben részletesen taglalt festékberakódási problémákra – céltom, egy új megközelítés és módszer kifejlesztése. Az új módszerrel az egyedi küllemen túl akár olyan új grafikai effektusokat is megvalósíthatunk, amelyek nagyobb védelmet nyújthatnak a termékhamisítás ellen.

A megfogalmazott célkitűzések alapján kidolgozott és bizonyított tézisek egyfajta bázis, jól értelmezhető elméleti kiinduló pontot és megfelelő alapot jelentenek a nyomtatott csomagolóanyagokat előállító és alkalmazó piaci szereplők által tervezett fejlesztésekhez, valamint a gyorsan változó piaci igényekhez való hatékony alkalmazkodáshoz. Eredményeim a szakma számára a gyakorlatban is jól hasznosítható innovációkat generálhatnak.

1.3. A doktori disszertáció felépítése

Az *Irodalmi áttekintésben* (2. fejezet) a tudományos irodalom azon elemeit sorakoztatom fel, amelyek relevánsak a disszertációm témáihoz, átfogó képet adva az egyes általam is vizsgált szegmensek fejlődéséről. Ebben a fejezetben szemléltetem a kutatás hasznosítási területének mai, illetve várható jövőbeni státuszát, ezzel hangsúlyozva a kutatási téma jelentőségét. Mivel a kutatásomnak döntő többségében gyakorlati elemei vannak, így nem hagyhatom figyelmen kívül a terület szakmai és technológiai oldalának bemutatását sem. A szakirodalom összeállításakor törekedtem arra, hogy a hajlékonyfalú csomagolóanyag-gyártás jelentősége, az alapanyagok és technológiák bemutatása mellett rámutassak a flexográfia azon területeire, amelyek meglátásom szerint még kidolgozatlanok, illetve ismertessem az olvasóval a kutatásaim alapjait képező nyomtatási nehézségek jelentőségét.

Alkalmazott anyagok, eszközök és módszerek címmel (a 3. fejezetben) mutatom be az általam alkalmazott alapanyagokat, módszereket nyomdagépeket és mérőműszereket, azok pontos paramétereivel, melyek vizsgálataink hátterét biztosították.

A kutatómunka vizsgálati eredményeit öt különálló fejezetben foglaltam össze, mivel a kutatást ezen öt hipotézis vizsgálatára és bizonyítására építettem. A vizsgált területek részben összekapcsolódnak ugyan, de az eredmények tükrében és az átláthatóság érdekében önálló részekként jelenítettem meg azokat. Elsőként az *oldószeres és UV technológia alkalmazhatósági kritériumainak vizsgálata* (4. fejezet) címmel leírom az oldószeres nyomtatás színterének fokozására irányuló vizsgálataimat, ahol a cél az annak UV-flexohoz való közelítése, ezáltal az átjárhatóság kiterjesztése a két nyomtatási technológia között. A színtér vizsgálatok bemutatását *az elő és hátoldali nyomtatás színterének vizsgálata, összehasonlítása* (5.) fejezetben folytatom, ahol a direkt és tükrönyomtatás közötti átjárhatóság kritériumait definiálom. A kutatómunkám következő blokkja *a flexo festékek reológiai vizsgálata* (6. fejezet) címmel vizsgálja és magyarázza az egyes festékek esetében a nyomtatás folyamata során tapasztalható sajátos, a fedőképességi tulajdonságukat befolyásoló változásokat. A fedőképesség fokozására irányuló kutatási eredményeket mutatok be *a fehér festék felhordási problémáinak vizsgálata* címmel következő (7.) fejezetben, ahol a szakirodalmi részben átfogóan bemutatott - nyomtatási problémák közül a fedettségi-, a berakódási problémák, valamint a FÁNK effektus kiküszöbölésére és a kifutó részek nyomtathatóságának vizsgálatára koncentráltan írom le eredményeimet. Kutatásom eredményeinek bemutatását *a matt lakkozott felületek struktúrájának elemzése* (8.) fejezettel zárom, melyben prezentálom, hogy hogyan hozható létre az eddigi két szint (lakkozott, nem lakkozott) helyett többféle fényességi/mattsági szintet egyetlen lakkozó formával, azon belül különböző geometriájú kliséfelületi struktúrákkal, autotípiái rács használata nélkül, berakódásmentesen.

Az Összefoglalásban összegeztem a kutatásim eredményeit.

2. Irodalmi áttekintés

2.1 A csomagolás fejlődése és funkciói

Az első csomagolási eszközként használt anyagok - mint a bőr, kagylóhéj, falevél - már az őskorban megjelentek. Őket azok a csomagolások követték - a kosár, a hordó, vagy a fadoboz - amelyek célja a tárolás volt. Majd a természetből közvetlenül felhasznált anyagokat a tartósabb és jobb minőségű kerámia, agyag, üveg, vas és az acél váltották fel. Az ipari forradalmat követően jelentek meg az olyan szintetikus előállított anyagok, mint a műanyag, mely mellett már használtak kartonpapírt, farostlemezt és alumíniumot is. A XIX. század első feléig a csomagolás feladata az áru védelme volt a külső hatásokkal szemben, de később a gyártók felismerték a csomagolás egyéb funkcióit is.

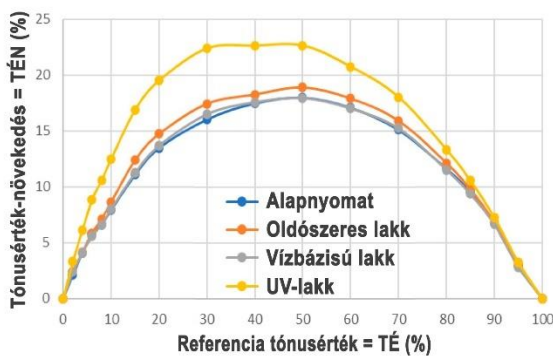
A szakirodalomban a csomagolás funkcióit többféle csoportosításban is megtalálhatjuk, de szinte mindegyiknél jelen vannak az alábbiak: védelmi funkció, logisztikai kezelési funkció, marketing funkció, információt közlő funkció [1, 2].

„A csomagolás fontos feladata a termék védelmén túl, hogy a környezetet védje a terméktől (folyadékok, levek, szirupok, porok stb.). Az élelmiszeriparban a csomagolásnak ezenkívül még egy fontos kritériumnak meg kell felelni: a csomagolóanyag a terméket nem szennyezheti” [3].

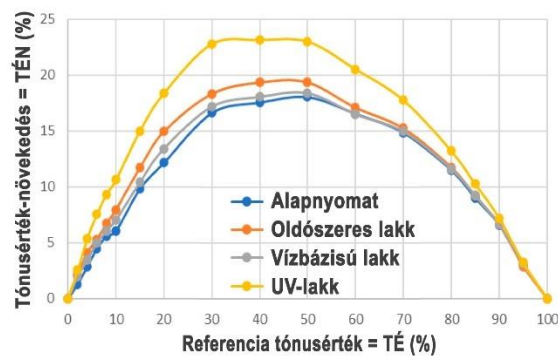
A lakkok kezdetben védelmi szerepet láttak el, ebből fejlődtek tovább egyedi megoldásokká. Manapság a legtöbb lakkozásnak még mindig jelentős a mechanikai-védelmi szerepe, de megjelentek olyan eljárások, melyek új lehetőségeket nyitnak a nyomdák számára, és a termékek iránti keresletet is növelik. Ha vásárlás során egy érdekesnek tűnő felületet lát a fogyasztó, akkor önkéntelenül is odalép, hogy megtapintsa. Csak attól, hogy a termékeket a fogyasztó megfogja, már jobbnak értékeli, nagyobb valószínűséggel veszi meg [4]. A szegmentális lakkozás vizuális hatása egyre nagyobb teret hódít a grafikus iparban. Míg a kezdetekben a lakkozást a termék védelme érdekében alkalmazták, ma már szinte minden termékcsomagolás tartalmaz bizonyos típusú lakkozást, eladhatóbbá és személyre szabottabbá téve azt [5]. A lakkozás bizonyos mértékig a legtöbb nyomtatásos technikával készült gyártási folyamatba beilleszthető, legyen szó ofszet-, festéksugaras- vagy flexo- nyomtatásról. [6]

A lakkok tulajdonságaira és hatásaira vonatkozó vizsgálatokról Tomislav Cigula „COATINGS IN GRAPHIC INDUSTRY” (Bevonatok a grafikai iparban) címmel a 2022-es GRID konferencián elhangzó előadásában foglalkozott. Tanulmányában leírja, hogy a felülnyomó bevonatok alapvető szerepe, hogy a felületek esztétikus megjelenését biztosítsák a magas fényű vagy matt felületnek és a fokozott dörzsölésállóságnak köszönhetően. Bár sok overprint lakk/bevonat van jelen a piacon, ezeket általában három csoportra osztják az összetételtől és/vagy az alkalmazási módtól függően [7]. Az ofszetnyomtatásnál a lakkot ugyanúgy hordják fel, mint a tintát. Ebben az esetben a

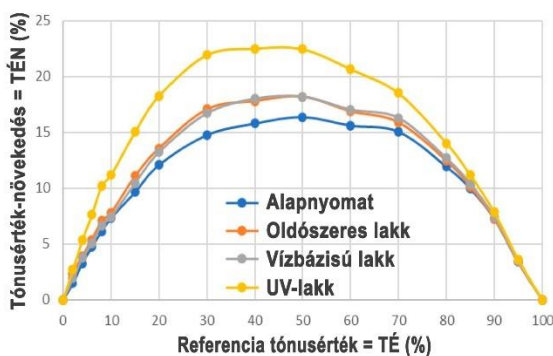
felhordás inline történik, és történhet spotnyomtatással vagy a teljes felületre. A vizes vagy vizes bázisú bevonathoz a prések gyakran rendelkeznek speciális nyomóegységgel, amelyet bevonásra terveztek. Ezeket gyakran a teljes kép lefedésére használják. Mind a lakk, mind a vízbázisú bevonatok további szárítóberendezések nélkül is kikeményednek. Másrészt az UV-bevonat UV-sugárzással keményedik. Az UV-bevonatot gyakran off-line nyomtatják, mivel a nyomdagépek többsége nem rendelkezik UV-száritóval. Emellett erőteljes elmozdulás tapasztalható az UV LED technológia irányába az alacsonyabb költségek, a környezetbarát trendek és a rövidebb indítási idő miatt (az UV lámpának fel kell melegednie a térhálósodási folyamat megkezdése előtt) [8]. Ennek ellenére az UV bevonat technológia magasabb fényességet és jobb dörzsölési ellenállást biztosít [9]. Nem újkeletű elvárás a lakkokkal szemben, hogy a lakk bevonatnak átlátszónak kell lennie, és nem szabad megváltoztatnia a nyomatok színét, ugyanakkor a korábbi kutatások megerősítették a színváltozásokat [10] [11] A MEGA kutatócsoport kutatása betekintést nyújtott a jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható lakkok felviteléből adódó színváltozásba [12]. A szerző a négy alapszín esetén szemlélteti a tónusértékváltozásokat a különböző laktípusok használata mellett. Minden esetben a legnagyobb eltéréseket a közepet tónusérték tartományokban láthatjuk.



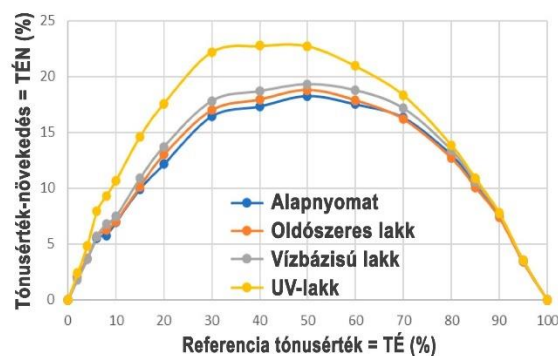
a)



b)



c)



d)

1. ábra: A bevonatos nyomatok tónusértékének növekedése (TVI) a) fekete, b) cián, c) bíbor, d) sárga

Amint az a 1. ábrán látható, a vízbázisú lakk kevésbé befolyásolja az összes felvitt bevonat tónusértékét (a bíbor hatás kivételével). Másrészt az UV-lakk felhordása a tónusérték jelentős változását és a nyomat sötétebb megjelenését eredményezi. [10] Az irodalomkutatásom során a fenti eredményeket találtam a lakkozással összefüggésben.

A lakkok vizsgálatában a MEGA kutatócsoport eredményei és a fenti tanulmányban olvasható kutatási eredmények jó alapot szolgáltattak, ugyanakkor az én kutatásaim a lakkok vonatkozásában, egy másik ágnak tekinthetők, mivel nem kifejezetten a tónusváltozás, hanem a fényesség és mattság vizsgálatára építettem azokat és nyomathordozóként nem kartont, hanem fóliát használtam. Irodalomkutatásaim során ennél közelebbi tudományos publikációt a témában nem találtam.

A csomagolástechnika is egyike napjaink rohamosan fejlődő tudományágainak, mely számos másik tudományterületre innovatív hatást gyakorol, például az élelmiszeriparra [13].

Az utóbbi száz évben számos új anyag és technológia jelent meg az élelmiszercsomagolás területén, melyek új fogyasztói szokásokat eredményeztek. Ezen szokások ugyanakkor visszahatottak a csomagolások fejlődésére. Ez elsősorban a műanyag csomagolóanyagok elterjedését jelentette, melyek nagy mennyiségben és olcsón állíthatóak elő. A különböző fogyasztói igények kielégítésére elterjedtek a speciális egységcsomagolások. Megjelentek az eltérő adagnagyságú termékek, mint a szett- csoport- és nagyfogyasztói csomagolás. Megnőtt a kereslet a kereskedelemben a minőségüket hosszabb ideig megőrző termékek iránt, mivel nőtt a szállítási távolság, és a szállítási költségeket legtöbbször csak úgy tudták lecsökkenteni, ha növelték a szállítás időtartamát. Napjainkra a hangsúly a kisebb üzletekről a nagy áruházakra helyeződött át, melyek önkiszolgáló volta miatt elengedhetetlen, hogy a csomagoláson megjelenjenek a termékről szóló információk. Az élelmiszerek csomagolását a vásárlók által támasztott igények, a műszaki szabályozás következtében felmerülő követelmények és a gazdaságossági, környezetvédelmi tényezők együttes figyelembevételével kell megtervezni és kivitelezni. Egy csomagolási eljárás megfelelő alkalmazásához sokrétű ismeretanyagra és számos folyamat összehangolására van szükség, mint az anyag- és technológiai ismeretek, jogszabályok ismerete, marketing, logisztika, nyomdaipar. „A jövőben remélhetőleg a jogszabályi, környezeti és társadalmi elvárásoknak megfelelően a környezettudatosság fogja alakítani a csomagolóanyagok felhasználást, kezelését. Várhatóan egyre természetesebbé fog válni, hogy az egyszer használatos, környezetre káros csomagolóanyagok helyett újrahasznosítható, a fogyasztók és termelők számára is költséghatékony megoldások kerülnek előtérbe” [3]. „A csomagolás világában a jövőt meghatározó fejlődési irányok helyes analíziséhez a következő fontos területekre kell fókuszálnunk: a fogyasztás, a technológia, a gazdaság, a fenntarthatóság, a divat és a kiskereskedelem forradalma. A mai fogyasztók vásárlásaik során egyre odafigyelőbbek és önellátóbbak. Mindinkább elvárják a hiteles tájékoztatást és jellemző rájuk az is, hogy mindent gyorsan (azonnal) akarnak. A fogyasztók hosszabb távon történő megtartásának egyik igen hatékony eszköze lehet a csomagolás segítségével kielégíteni ezeket az erősödő vevői igényeket.” [14].

2.2. Hajlékonyfalú csomagolóanyag-gyártás és -nyomtatás jelentősége

A hajlékonyfalú csomagolóanyaggyártás jellemzően műanyag és papír alapanyagokat használ. Napjainkban döntő többségében műanyag nyomathordozókat alkalmaznak az élelmiszeriparban, ezért választottam a tesztnyomtatások alapanyagaként ezt a nyomathordozót.

A műanyagokat nevezhetjük a XXI. század azon anyagainak, amelyek nélkül ma már nehezen tudnánk elképzelni az életünket [13]. A műanyag a legfiatalabb csomagolási alapanyag. Eredete a középkorig nyúlik vissza, mivel kecske vagy egyéb sovány sajtból már akkoriban is készítettek bizonyos szívós és áttetsző anyagokat, mint a szaru, amely az első „műanyag” tekinthető. A szakirodalom szerint az első komolyabb fejlesztései a ma ismert formájú műanyagok azonban a 19. század első felében voltak. Majd 1892-ben Charles Frederick Cross és Edward John Bevan (Clayton Beadle közreműködésével) szabadalmaztatta az ipari méretű viszkóz-előállítás technológiáját. Clayton Beadle papíripari szakemberként segítette hozzá a sikerhez a kémikusokat. A viszkóz nemcsak a regenerált cellulózalapú mesterséges selyem-, hanem a celofán- és szivacsgyártás alapanyaga lett [15].

A köznyelvben használatos „műanyag” szó helyett találóbbr a „polimer” kifejezés, mivel valójában többféle, különböző összetételű szintetikus anyagról beszélhetünk, amely a huszadik század folyamán alapjaiban megváltoztatta mindennapjainkat. A polimeris kifejezés két görög szóból származik: „poly” – jelentése: sok, „meros” jelentése: részek. Mint a név is sugallja, a polimerek nagy molekulák, amelyeket kisebb molekulák kémiai reakciójával létrejött ismétlődő egységek alkotnak. Ezeket az ismétlődő egységeket nevezzük monomereknek. Kezdetben ezek a polimerek szerves reakciók melléktermékeként jelentek meg. A tudósok kolloidoknak tekintették őket egészen Staudinger makromolekuláris hipotéziséig, melyet a tudományos világ 1920-ban ismert meg. [16] A polimer anyagok szintézise és tudománya a 20. századtól hatalmasat fejlődött így jutott el a Cellulóz-nitrát 1846-os szintézisétől, a belső vezetőképes polimerek 2000-ben történő feltalálásán át a 2005-ben kémiai Nobel-díjat nyert metatézis polimerekre való alkalmazásáig. [17]

„A műanyagok széleskörű alkalmazhatósága, relatív alacsony ára, rendkívüli tulajdonságai (hajlékonysága, szívóssága, záró és fizikai tulajdonsága, egyszerű megmunkálhatósága), esztétikus megjelenése lehetővé tette azok gyors elterjedését. Az 1900-as évek utolsó évtizedeitől a fosszilis alapú szintetikus polimerek előállítása és felhasználása jelentősen nőtt, a csomagolóipari területeken történő alkalmazása például visszaszorította a fém- és üvegcsomagolásokat, [18].

Minden anyag végső tulajdonságait vagy viselkedését a molekuláris tulajdonságai szabályozzák mikroszkopikus szerkezetekben. A szerkezeti jellemzők megértése és a szerkezetet befolyásoló tényezők jellemzői fontosak gyakorlati alkalmazásuk szempontjából. A polimer szerkezeti egységeit ún monomerek alkotják. A monomer

egységek egyesülnek, hogy kialakuljanak hosszú polimerláncok illetve egy főlánc és a perifériás atomok vagy csoportok. A főlánc lehet lineáris, elágazó és háromdimenziós hálózat [19].

A csomagolóiparban jellemzően a következő műanyagokat használják: kis sűrűségű polietilén (LDPE), lineáris kis sűrűségű polietilén (LLDPE), nagy sűrűségű polietilén (HDPE), biaxiálisan orientált polipropilén (BOPP), öntött polipropilén (CPP), biaxiálisan orientált polietilén-tereftalát, PVC, EVOH, tejsav (PLA), polivinilidén-klorid (PVDC), polivinil alkohol [20]. Biológiai lebomló sokféle típusban megjelenő polimerek, amelyek alkalmasak olyan filmek előállítására, melyek a hagyományos polimerekből készült filmek tulajdonságaival rendelkeznek. A fóliák fúvással, filmextrudálás, vagy öntött film extrudálás készülnek. Használják az ipar számos ágában, azonban a legnépszerűbb az élelmiszeriparban [21, 22].

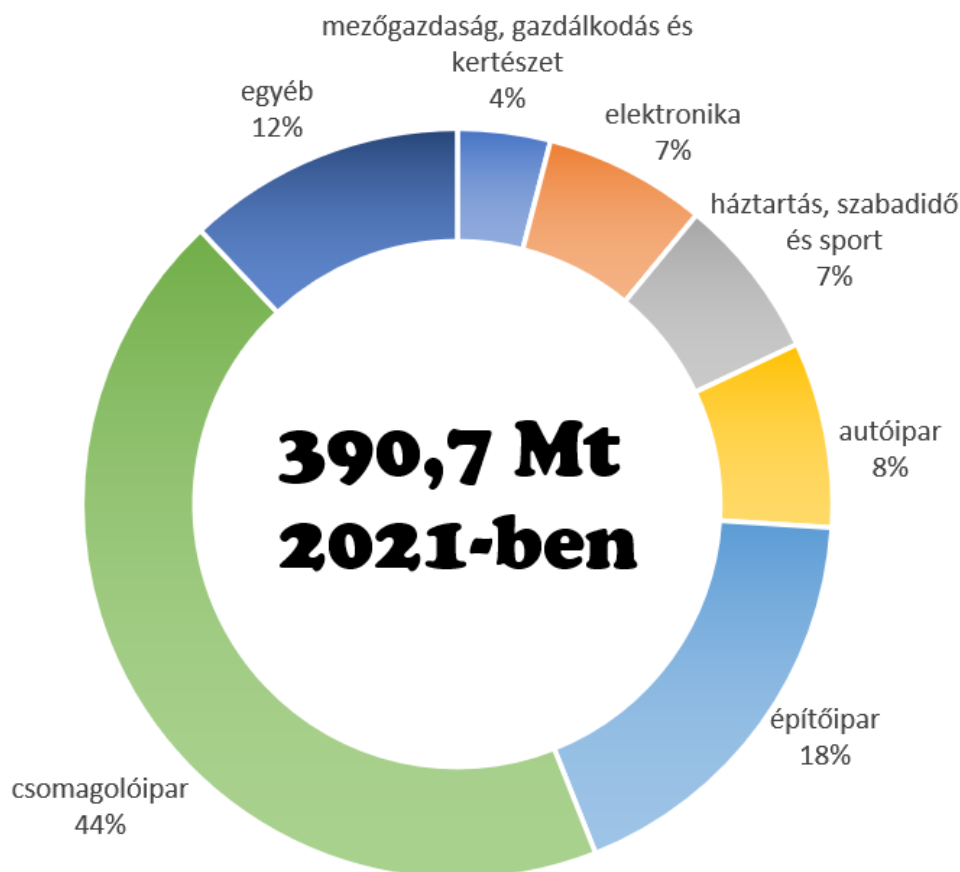
A polimerek tulajdonságai határozzák meg a csomagolóiparban betöltött szerepüket (1. táblázat).

Ha a csomagolóanyagoknak szakadásállóknak, hő- és páratartalomstabilnak kell lennie, valamint jó nedvesség- és/vagy oxigénzáró képességgel kell rendelkeznie, a poliszter fólia a megfelelő választás, függetlenül attól, hogy a nyomtatott eredmény egy eldobható, vagy hosszú élettartamra tervezett csomagolás. A PET-fóliák egykor csak általános típusokkal rendelkeztek, ma számos formája létezik, amelyeket speciális felhasználási területekre terveztek. Ezek a formák sajátos felületi tulajdonságokkal, érdességgel, tisztasággal vagy csúszási tulajdonságokkal rendelkezhetnek. Ezen kívül léteznek speciális változatok is, például matt, hővel hegeszthető, hőformázható, zsugorodó, alacsony zsugorodású és záróbevonatú fóliák. A poliszter fólia elsődleges felhasználási területei a következők: fényképezés (röntgen, fotóeszköz), mágneses rögzítés (számítógép, hang, műszer, videó) és reprográfia (mikrofilm sokszorosítása, tervezés, elrendezés), de a leggyorsabban a csomagolás és a nyomtatási felhasználás növekszik. A legtöbb fényképezési PET alapot, valamint néhány mágneses és reprográfiai alapot a bevonó céghez tartozó üzemek állítanak elő. Az ipari filmgyártók gyakorlatilag minden más felhasználási területet biztosítanak. A 20–90 hüvelykes (50,8 – 226 cm) tekerésszélesség gyakori számos végfelhasználásnál, a tekerés átmérője pedig gyakran 24–28 hüvelyk (60,96 - 71,12 cm), súlya pedig 1200–2000 font (544,31 – 907,18 kg). A flexográfiai alkalmazásoknál a kisebb tekerések elterjedtebbek, a 6 hüvelykes (15,24 cm) átmérőjű magok gyakorlatilag szabványosak, a 10 hüvelykeseket (25,4 cm) más felhasználási területeken alkalmazzák [24].

1. táblázat Polimerek a csomagolóiparban [23].

Polimerek fajtái	Kereslet Európában 2013-ban (%)	Használat a csomagolásban
PE (PE-LD, PE-HD, PE-LLD)	29.6	Fólia és fólia lap, sztreccs csomagolás, zsugorfóliázás, alacsony hőmérsékletű fólia típusok (fagyasztott élelmiszerek csomagolása), főzőtasakok, friss termékek csomagolófóliája; palackokhoz; ruhazsákok, szemeteszsákok, pékáruk, hús-, baromfi- és tejtermékek csomagolása, fúvással öntött tejtartályok, gyógyszerészeti és kozmetikai termékek csomagolása és növényvédő szerek csomagolása, rovarirtó szerek és műtrágyák; laminátumok része; szemetes és kiskereskedelmi táskák; összenyomható üvegek
PP	18.9	Öntött fólia nem élelmiszer csomagolásra: zacskók textilekhez, a laminátumok; BOPP élelmiszer csomagolás: snack, gabona, tejtermékek, cigarettacsomagolások és nyomásérzékeny szalagok; fröccsöntött edények és tálkák joghurthoz, fagylalthoz, vajhoz, és margarin csomagolásra; fúvással palackokhoz és széles szájú üvegekhez; visszafordítható csomagok; ékszerdobozok és beépített csuklópántos csomagok
PVC	10.4	Merev PVC palackok és csomagolólapok; rugalmas PVC-csomagolás fólia, lap, zacskó; buborékfólia csomagolás; zsugorfóliák; hőformázott tálkák
PS	7.1	Élelmiszer-csomagolás: hús és hal, tojásos kartondobozok, gyorsétterem, tejtermékek termékek, gyümölcs és eldobható tartályok; nem étel csomagolás: elektronikus hangszerek, hangkazetták ill CD-k, kozmetikumok, gyógyszerek, írószerek, különféle gépi szerszámok és tartozékok; Ékszerdobozok; néhány üveg, palackok és kupakok
PET	6.9	Műanyag palackok, fóliák élelmiszer- és gyógyszer-csomagoláshoz, laminátumok része; hőformázható csomagolás friss húshoz és hal; édességek és fagyasztott élelmiszerek; magas záró tulajdonságokat igénylő csomagolások

Az 2. ábra mutatja, hogy napjainkban milyen mértékű a műanyagfelhasználás világ- és Európa szinten. A világon évente több, mint 390 millió tonna felhasznált műanyag egyértelművé teszi, hogy a környezetvédelmi törekvések mellett is igen nagy igény van a műanyagok alkalmazására.

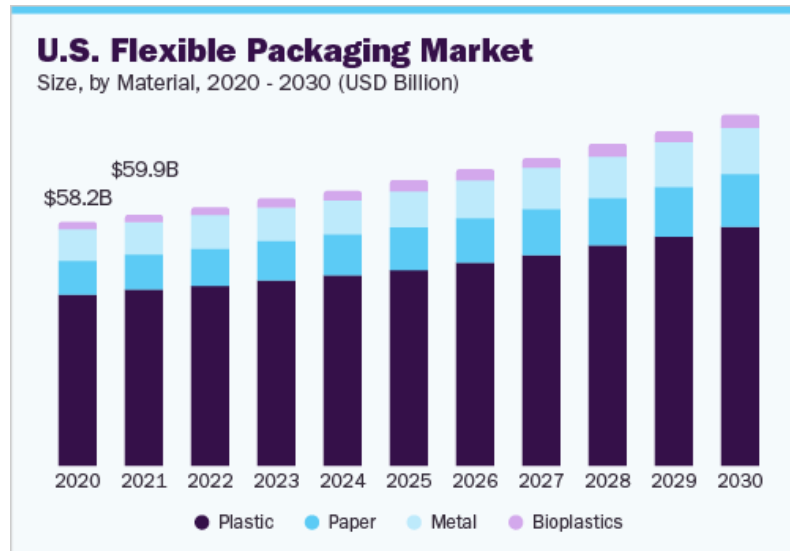


2. ábra A globális műanyagfelhasználás megoszlása 2021-ben világviszonylatban
Forrás: adatok: Conversio Market & Strategy GmbH (saját készítés)

A fenti adatok kerekített becslések, - és azokat a polimereket, amelyeket nem használnak műanyag alkatrészek és termékek előállításához (például textíliákhoz, ragasztókhöz, tömítőkhöz, bevonatokhoz stb.), nem tartalmazza – de ennek ellenére is jól érzékelteti a diagram, hogy 2021-ben a csomagolóipar és az építőipar volt a két legnagyobb felhasználó a világ műanyagpiacán.

A globális élelmiszer-csomagolási piac 2022-ben 362,9 milliárd USD volt, és 2023 és 2030 között várhatóan 5,7%-os összetett éves növekedési rátával (CAGR) fog növekedni. Az étkezési szokások változása és az élettempó felgyorsulása megnöveli a csomagolt élelmiszerek iránti keresletet, és várhatóan jelentős hatással lesz az élelmiszer-csomagolóiparra. Ezen túlmenően az élelmiszer-csomagolás által kínált előnyök, mint például a meghosszabbított és stabil eltarthatóság, a magas záró tulajdonságok és a

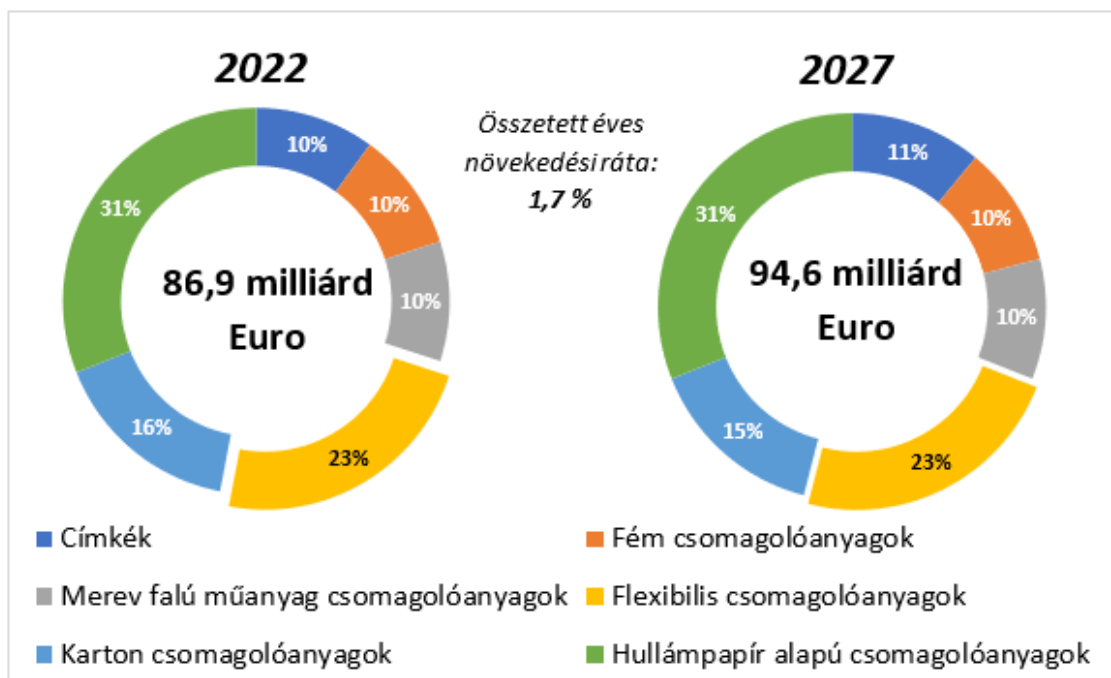
biztonság, fellendítették az élelmiszer-csomagolóipar növekedését. Az olyan tényezők, mint a nagyon sokrétűen felhasználható anyagok alkalmazása és a változatos anyagösszetételek elérhetősége a piacon, várhatóan továbbra is elősegítik az élelmiszer-csomagolóipar növekedését [22].



3. ábra: A rugalmas csomagolások piacának alakulása [25].

Anyagok alapján a rugalmas csomagolások piaca tovább szegmentálódik műanyagra, papírra, fémre és bioműanyagra . (3. ábra) Ezek közül 2022-ben a Műanyag alszegmens képviselte a legnagyobb piaci részesedést bevételt tekintve. A rendelkezésre álló opciók széles választéka és a fém társaihoz képest nagyobb szakítószilárdsága várhatóan elősegíti a kereslet növekedését az előrejelzési időszakban [25].

A Smithers Research piaci jelentése alapján Európa továbbra is a nyomdaipari termékek kulcsfontosságú régiója marad világviszonylatban is. Ennek ellenére 2027-ig csak mérsékelt növekedést várunk az európai nyomtatás összértékében. A csomagolás várhatóan a nagyobb értékű nyomtatott termékek mentén fog növekedni (4. ábra) [26]. A diagramon a sárga szín jelöli a flexibilis csomagolóanyagokat, melyek már 2022-ben európai szinten a nyomtatott csomagolások között a második legmagasabb értéket (23%) mutatták, mely az előrejelzések szerint 2027-re sem jelez csökkenést.



4. Ábra: Európa nyomtatott csomagolóanyag kibocsátásának megoszlása 2022-2027 [26].

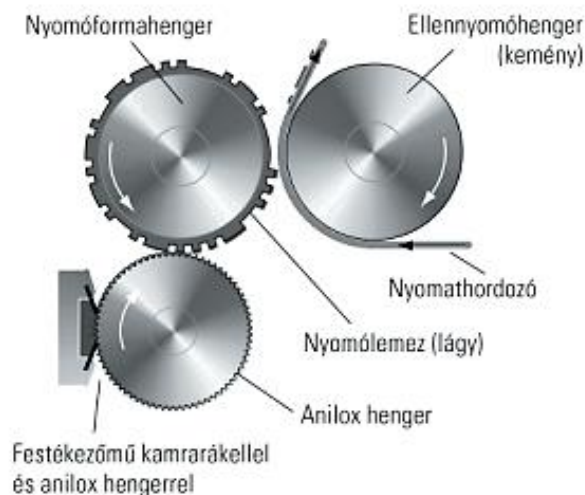
Az adatok az összes EU-27 tagállamra, valamint Norvégiára, Svájcra és az Egyesült Királyságra terjednek ki. Ukrajna és Oroszország nem lett figyelembe véve az elemzésben, mivel ezeken a piacokon - a háború miatt - jelenleg nagy a bizonytalanság. Az értékek euróra lettek konvertálva [26, 27].

Minden ipari területet általában két tényező befolyásol, a rendelkezésre álló technológia és a fogyasztók általános igényei. A nyomdaipar sem kivétel, ahol egyes ágazatok volumene csökkent, ami az iparág általános bevételeinek csökkenését eredményezte [28]. Ezenkívül a csomagolási rendszerek „zöldítésére” irányuló törekvések jelentősen negatív hatást gyakoroltak a csomagolóiparra [29]. E negatív hatások ellenére a nyomtatott csomagolás iránti igény előre jelzett és folyamatos növekedést mutat világszerte. Az igény növekedése a flexográfia piaci növekedésén túl, - mely 2024-ben 194,26 milliárd dolláros értéket mutat, ami 2029-re várhatóan 228,9 milliárd dollárra nő [30] - a flexográfia folyamatos fejlődését is előrevetíti.

A fenti tendenciák bemutatásával kívántam demonstrálni, hogy a műanyagok és azon belül a műanyag hajlékonyfalú csomagolások felhasználása nem csupán napjainkban magas, de dinamikusan növekvő tendenciát mutat és az előrejelzések szerint a közeljövőre nézve sem várható ebben jelentős változás. Ezen adatok is megerősítenek abban, hogy a flexográfiai kutatásaimnak van jövője. Fontos szerepük lesz abban, hogy hozzájáruljanak a selejt mennyiségének csökkentéséhez, az egyenmű, könnyebben újrahasznosítható csomagolóanyagok elterjedéséhez, ezáltal a csomagolóipar - mint legnagyobb felhasználói piac – polimerigényének csökkentéséhez.

2.3. A flexo nyomtatás jellemzői

Az emberiség történetének hajnalától próbálta rögzíteni az egyes motívumokat és a fontos információkat, eseményeket. Kiégetett agyagtáblákat és fabélyegzőket használtak már Gutenberg találmányát megelőzően is, de a nyomdagép feltalálása jelentette a nyomtatás technológiai fejlődésének valódi kezdetét. A technológia lényege - a digitális nyomtatás megjelenéséig - nem változott: egy adott tartalom sokszorosítása a nyomathordozóra egy nyomóforma és festék segítségével. Az első nyomathordozó a papír volt, mely ma is domináns szereplője a nyomdaiparnak. Igen változatos és kedvező tulajdonságaik miatt, azonban egyre elterjedtebbé váltak a műanyag nyomathordozók. 1912-ben, a celofánt tömegesen kezdték gyártani és a 30-as években a többszínű nyomtatás nyomathordozójaként is elterjedt. A műanyagok nyomtatásának következő jelentős szakasza volt az első kőolajszármazékokból készült polimer fóliák megjelenése az 1950-es években, amelyek forradalmasították a csomagolóipart [31].



5. ábra: A flexo nyomóegység működése [32]

A flexográfia a magasnyomtatás elvén alapuló eljárás, amely egy emelt képű, rugalmas fotopolimer lemezen található kép használatával működik (5. ábra) [6]. Fő jellemzője a rugalmas nyomóforma, amely relatív puha, összehasonlítva a hagyományos magasnyomtatás ólom nyomóformájával, és speciális festékadagolást tesz lehetővé. „A flexibilis nyomóformának és a kis viszkozitású nyomdafestéknek köszönhetően, a szívóképes és a nemszívóképes nyomathordozók széles skálája nyomtatható. Gumi vagy fotopolimer nyomólemezeket alkalmaznak a technológiához. A nyomóformák keménységét és vastagságát a nyomathordozó és a nyomtatott motívum határozza meg. A nyomathordozók széles skálája nyomtatható, a hullámkartontól a papír, műanyag fólia és fémfólián keresztül a kombinált nyomathordozóig.” [32] A festék a festéktartályból esetenként egy adagoló henger segítségével vagy egy zárt rákelkamrán keresztül kerül továbbításra az anilox hengerre. A rákelkamrás konstrukció esetében a felesleges festék eltávolítását az anilox henger felületéről egy rákelkés biztosítja, így csak a csészékben

marad festék. Az anilox henger csészéjéből a nyomóforma segítségével kimerítjük a festéket, majd a nyomathordozó felületére juttatjuk [33]. „A rákelkés alkalmazása (együtt a festékező rendszerrel) a raszterhengeren, stabilizálja a nyomtatási folyamatot. A gumi nyomóformákkal korábban csak kis és közepes nyomtatási minőséget lehetett elérni.” [32]

A technológia 1893-tól, a gumi nyomóformák USA-ban történő szabadalmaztatásától eredeztethető. Ezzel párhuzamosan Németországban és Angliában a bélyegzőnyomtatással indultak meg az első kísérletek. A XIX. század végén, XX. század elején jelentek meg az első gumi nyomóformáról történő nyomtatáshoz használt rotációs nyomógépek. Eredetileg a flexo nyomtatást anilinyomtatásnak nevezték, ami visszavezethető az anilin nyomófestékek alkalmazására. Az anilin nyomtatás minősége egyre javult és ezáltal nőtt az igény az ezzel a technológiával előállított termékek iránt. Mivel az anilin festékeknek, különösen az élelmiszeriparban, rossz hírük volt bizonyos káros mellékhatások feltételezése miatt, 1951-ben az USA-ban kiírt pályázat alapján lett az eljárás új neve flexográfiai nyomtatás. Ezt követően az anilin színezékek helyét pigmentek és más korszerűbb színezékek vették át és tovább javult a nyomóformák minősége is [33].

Az ötvenes évektől kezdődően nevezik flexográfiai nyomtatásnak a magyar szakirodalomban is. De abban is követtük az angolszász mintát, hogy röviden „flexo”-nak nevezzük ezt a nyomtatási technológiát. Használt a magyar szaknyelvben a „flexó” magyarosabban hangzó elnevezés is. A disszertációban a „flexo” elnevezést használtam rövidítésként.

A flexo különösen növekszik a csomagolási szektorban, ahol versenyez az ofszet és a mélynyomással az ügyfelekért [34] kolor és direkt színeket és különleges, valamint metalizált pigmenteket alkalmazva. A flexográfia viszonylag olcsó a mélynyomáshoz képest. Növekedése főként annak köszönhető, hogy folyamatosan javul a nyomtatási minősége, előnye, hogy gyakorlatilag bármilyen alapanyagra lehet nyomtatni, javuló festéktechnológia, gyors fejlesztés jellemzi a nyomóforma alapanyagok és az anilox minősége terén. A flexo nyomdagépeket szervomotorokkal szerelik fel, amelyek rövidebb beállási időt tesznek lehetővé, kevesebb beállítási hulladékot eredményezve [35]. A flexográfia gyakorlatilag bármilyen alapanyagra képes nyomtatni, legyen az papír, karton, fólia vagy alumínium [5]. A flexo nyomtatás különösen alkalmas teljes tónusok és raszteres munkák nyomtatásához. A képvisztaadásban is a legmagasabb minőség érhető el vele. A finom színátmeneteknél és az érzékeny bőrtónusoknál manapság a flexo nyomtatás eléri az ofszet- vagy a mélynyomás minőségét. A flexo nyomtatás alkalmazási területe olyan sokoldalú, mint maga az eljárás [36].

„A flexográfiai nyomtatás a hazai nyomdaipar egyik legnagyobb ütemben fejlődő ágazata. A gyors fejlődés egyben nagy terhet is jelent az eljárást alkalmazó nyomdák számára, különféle nyomathordozókra különböző összetételű festékekkel kell nyomtatni jó minőségű nyomatok előállításához „[37].

2.4. Flexo nyomdagépek

Négyféle nyomdagépet használnak a flexográfiában: központi ellennyomóhengeres gépeket, soros nyomdagépeket, többszintes, emeletes elrendezésű nyomdagépeket, valamint íves nyomdagépeket. A gép kiválasztása a nyomtatott munkák típusától függ. Mivel kutatási tevékenységem során az első két nyomdagépet alkalmaztam, az íves és az emeletes elrendezésű nyomdagépek részletes jellemzésétől eltekintek.

A központi nyomóművel rendelkező nyomdagépek tekercses gépek – mint a Soma MIDI II. - lehetővé teszik az egyoldalas nyomtatást. Az ilyen gépek munkasebessége magas, 6-12 m/s értéket tesz ki. Néhány modell esetében ez az érték akár 16 m/s is lehet. Az ilyen gépekben a nyomathordozó a központi ellennyomóhengeren helyezkedik el. A nyomtatóegységek száma a konfigurációtól, a modelltől és a gép rendeltetésétől függően változik. Általában a gépek 8 nyomóművel rendelkeznek, de különböző konfigurációkban, 2-től 12 nyomtatóegységig változhatnak. Az automatikus regiszterbeállító rendszer alkalmazása miatt az ellennyomóhenger és a formahengerek meghajtása független szervóhajtással rendelkezik. A munkafolyamatok optimalizálása és felgyorsítása érdekében a gépek túlnyomó része rendelkezik automatikus tekercscserélő rendszerrel és pályafeszítés-szabályozó rendszerrel. A magas sebesség és a keletkező hőmennyiség miatt az ilyen gépek hűtést igényelnek a központi ellennyomóhenger és a hűtőhenger esetén. A gépeket gyakran automatizált működésüket elősegítő rendszerekkel is felszerelik, mint például tekercsvezérlés, tekercshossz, tekercsfeszültség, színegyeztetés, ismétlődési hossz, festékviszkózitás és a hengerek nyomása a dob felületén [38].

Az inline vagy soros nyomdagépek – mint az általunk is használt Bobst M6 - olyan eszközök, amelyek a nyomtatási rendszerben tekercsről tekercsre vagy a tekercstől ívre történő megmunkálásra alkalmasak. Az alábbiak szerint kategorizálhatóak:

- keskeny pályás nyomdagépek, melyek nyomtatási szélessége 600 mm alatti, ami lehetővé teszi a magas minőségű nyomtatást, elsősorban címkék nyomtatására tervezve;

- közepes pályás nyomdagépek, melyek nyomtatási szélessége 600-1400 mm, műanyag fóliákon vagy alacsony minőségű papíron történő csomagolások nyomtatására használják;

- széles pályás nyomdagépek, melyek nyomtatási szélessége 1400 mm feletti, nagy tételek nyomtatása esetében használják, ahol elfogadható a kisebb minőség, például újságok nyomtatásához.

Az ilyen gépek munkasebessége 3-5 m/s, bár elérheti akár a 6 m/s-ot is. Általában 6-12 nyomóművet használnak, de ennél több is lehet. Lineáris felépítése miatt korlátlanul variálhatóak. Ugyanúgy, mint az íves nyomdagépek esetében, sok végkiszerező

folyamatot (pl: méretrevágás) inline, közvetlenül a nyomtatás után hajtanak végre. A lineáris szerkezetű gépeket gyakran felszerelik fólianyomtatáshoz, forgó szitanyomáshoz vagy digitális nyomtatáshoz használt egységekkel. A gyártás pontosságának és életképességének javítása érdekében gyakran automatikus színegyeztető rendszerekkel is felszerelik őket. Ez lehetővé teszi a magas minőségű nyomtatást és a gép gyors előkészítését nagy mennyiségű nyomtatáshoz. A polimer alapanyagok nyomtatásához használt gépek többsége rendelkezik egy korona kezelésre szolgáló berendezéssel is. A nyomtatás előtt közvetlenül a bázis felületi rétegének módosítása növeli a felületi feszültséget és javítja a festék tapadását a nyomtatott anyaghoz.

A keskeny pályás címkegyártásra tervezett gépek esetében alkalmazhatnak mágneses rögzítésű stanchengert, laminálóegységet, préglő egységet vagy akár egy lakkozó művet is. [39].

2.5. Oldószeres flexo vs UV flexo

Tapasztalataim alapján az utóbbi néhány évben megnőtt az igény a magas minőségű nyomtatott csomagolások iránt, mely az egyes termékek versenyképességét nagy mértékben befolyásolja. Sok cég a terméke piacképességét abban az esetben tudja biztosítani, ha az dekoratívabb csomagolásban kerül a polcokra, mindez a gyártási költségek kiugróan nagy növekedése nélkül. Abban az esetben, ha a gyártási technológiát változtatjuk meg, nyilván könnyebben elérhető a jobb minőség, de ezzel jelentős emelkedésre számíthatunk a gyártási költségek terén. Kutatásom egyik elemeként, olyan megoldást kerestem, mellyel a tradicionális nyomtatási technológiák alkalmazása mellett érhetünk el minőség béli javulást azzal, hogy a megfelelő komponenseket és folyamatokat alkalmazzuk. Ehhez ismernünk kell az egyes gyártási területeken alkalmazott technikákat és anyagokat.

A flexo eljárások jellemzően három különböző festéktípust használnak, amelyek oldószer bázisú, víz bázisú és UV-száradású [40]. Az 2. táblázat röviden összefoglalja az egyes területeken alkalmazott technológiákat. A vízbázisú flexo festékek technológiáját főként papírnyomtatásnál és speciális területeken alkalmazzák [41].

Mivel a fólianyomtatás területén a további két típus használata a legelterjedtebb így kutatásaim is ezekre épülnek, és a következőkben ezeket részletesebben ismertetem.

2. táblázat: Nyomdaipari festékek rendszerezése [42]

	Technológia	Nyomdafesték	Dinamikus Viszkozitás (Pa.s)	Folyási tulajdonságok	Réteg Vastagság (μm)	Szárítás	
Alacsony viszkozitású nyomdafestékek (folyékony festékek)	Flexográfia	Oldószer bázisú	0,05-0,5	newtoni vagy nem newtoni, nyírásra vékonyodó, az ideálistól kis mértékben eltérő	0.8-1	oldószer (alkohol) elpárologtatása	
		Víz bázisú				víz elpárologtatása	
		UV fényre térhálósódó			Akár 2,5	sugárzási térhálósítás	
	Mélynyomtatás	Oldószer bázisú	0,05-0,2	nem-newtoni	0,8-1	oldószer (toluol) elpárologtatása	
		Víz bázisú				víz elpárologtatása	
		UV fényre térhálósódó			5-8	sugárzásos térhálósítás	
	Tintasugaras	Festékek hőtechnikához	$1-5 \times 10^{-3}$	nem newtoni	<0,5	párolgás ill. abszorpció	
		A piezotechnológiához való hagyományos festékek (olaj vagy víz bázisú folyadékba kevert pigmentek)	$5-20 \times 10^{-3}$		<0,5	párolgás ill. abszorpció	
		Piezotechnológiás hot-melt festékek (megolvadt polimerbe vagy vízbe kevert pigmentek)	$10-30 \times 10^{-3}$		12-18	keményedés közben hűtés	
		Piezotechnológiához való UV festékek (pigmentek folyékony monomerben)	$10-30 \times 10^{-3}$		10-20	sugárzási térhálósodás	
		Festékek folyamatos technológiához (oldószeres vagy vizes bázisú)	$1-5 \times 10^{-3}$		<0,5	párolgás ill. abszorpció	
	Magas viszkozitású nyomdafesték	Ofszet	Olaj bázisú	40-100	nem newtoni nyírasi elvékonyodás, tixotróp	0,5-1,5	felszívódás, térhálósítás, ill. oxidáció
			UV/EB-re térhálósódó				sugárzásos térhálósodás
		Szitanyomás	Oldószer bázisú	2-4	tixotróp	20-25	párolgás
			Víz bázisú				párologtatás
UV fényre térhálósódó			UV-kötésű				
		Olaj bázisú	1 (a lenmagolaj viszkozitása miatt)		50	olaj és gyanta egyidejű abszorpciója és polimerizációja	
Tampon-nyomó festékek		Oldószer bázisú	1,5-20	nincs adat	10	párolgás ill. abszorpció	
	UV fényre térhálósódó	sugárzási térhálósítás					

Többségében oldószer bázisú flexográfiai festékeket használnak rugalmas csomagolóanyagok nyomtatására. A szakirodalomban sokféle besorolás létezik, de a legnépszerűbb a kötőanyag típusát és a pigmenteket veszi figyelembe, amelyek az oldószer alapú festékek fő részét alkotják. A felhasznált kötőanyag típusától függően az oldószer alapú pigmentfestékek a következők szerint osztályozhatók: nitrocellulóz (NC), poliamid (PA), polivinil-butiral (PVB), polivinil-klorid (PVC), akril, poliuretán (PU). A szerves oldószer alapú festékeket általában fóliákra, bevonatos papírra vagy hullámkartonra történő nyomtatáshoz használják. Előállíthatók festékek az előzőekben felsorolt kötőanyagok kombinációiként is: például NC/PU, NC/PA, PU/NC és akril/NC, de vannak olyan összetevők, ahol a társítás problémát okozhat például a PVB esetében, mert a kötőanyag kicsapódását eredményezheti. A kötőanyag megválasztása befolyásolja az olyan paramétereket is, mint a fényesség, a tapadás és a hegesztési ellenállás.

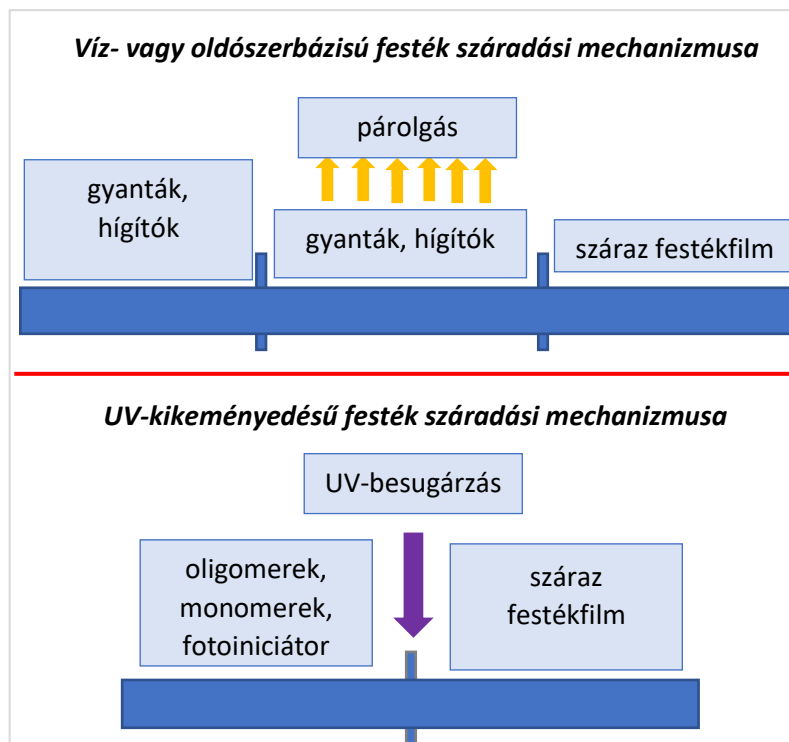
Az oldószer alapú festékek a nyomtatásra kész viszkozitás esetén 60-80% oldószert tartalmaznak, amelyek jellemzően a következők: etanol, n-propil-alkohol, izopropil-alkohol, n-propil-acetát stb.; némelyikük metil-etil-ketont (MEK), metil-izobutil-ketont (MIBK), toluolt és etil-acetátot is tartalmaz [43]. Ezen festékek előnye, hogy széleskörűen felhasználhatóak, így lehetővé teszik sokféle nyomathordozóra történő alkalmazásukat. További előnyei a kedvező ár a többi flexofestékhez képest, valamint az alacsonyabb szárítási költség a vízbázisú festékekhez viszonyítva. Hátrányuk azonban a gyúlékonyság és toxicitás; ezért felhasználásuk során nagyon fontos az oldószergőz megfelelő eltávolítása.

Figyelembe véve a festék anilox hengerrel történő átvitelének módját, a festéknek folyékony formában kell lennie, és rendelkeznie kell bizonyos jellemzőkkel, beleértve az alacsony viszkozitást (0,05-0,5 Pa*s), a magas oldószertartalmat és a pigmentek alacsony koncentrációját. Ez alól kivételt képeznek az UV-sugárzással térhálósodó festékek, amelyek nem tartalmaznak oldószert. Előállításuk alapja kötőanyagok, általában akrilátok, amelyek UV-sugárzás hatására térhálósodott réteggé alakulnak.

Oldószerbázisú és vízbázisú festékek esetében a festék nyomóalapon történő kiszáradása az oldószer elpárolgásának eredménye. Minél több illékony oldószer van a festékben, annál gyorsabban megy végbe a száradás. A nyomdafesték összetétele határozza meg a nyomtatási tulajdonságokat, beleértve a felületi feszültséget (bizonyos alapanyagok nedvesítésének képességét), a minőséget és a kapott nyomat egyéb tulajdonságait [44].

Az UV-re térhálósodó festékek a flexofestékek legújabb típusai. Két típusa van: radikális és kationos. Mindkét típus UV sugárzás hatására térhálósodik. Radikális típus esetén, amikor a sugárzás leáll, a kikeményedés folyamata is leáll. Kationos festékek esetében, a kikeményedés az UV sugárzás megszűnése után is tart. Az eltérő térhálósodási mechanizmusok ellenére, a rögzített festékrétegek hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek. A gyökös kikeményedés során a folyadék polimerizációja kötőanyag kémiai láncreakció eredményeként jön létre. Ez a folyamat a fotoiniciátorokkal kezdődik. Elnyelik az UV sugárzás energiáját és ennek hatására szétesnek. Ez két nagyon reaktív szabadgyököt hoz létre. A szabad gyökök ezután reakcióba lépnek a monomerekkel, amelyek így további gyököket hoznak létre. Eredményeképpen fotopolimerizációs reakció jön létre, amely hatására nagyon gyorsan kikeményedett festékréteg képződik. A kationos mechanizmus esetén egy fotoiniciátor savat állít elő, amely reagálva a kötőanyagra, elindítja a monomerek makromolekulákká való átalakulásának folyamatát. A láncreakció ezt követően a radikális reakcióhoz hasonlóan megy végbe. Az UV-festékek előnye a gyors kötés, amely a bevonat azonnali és teljes kötését eredményezi. Az UV festékeknek lényegesen magasabb viszkozitása, mint más flexográfiai festékeké. Ebből kifolyólag raszteres nyomtatás esetén előnyösebb tulajdonságokkal rendelkeznek. Az UV festékek sokkal drágábbak, mint a klasszikus flexográfiai festékek. Ennek oka a magas szárazanyag tartalmuk. Ezen festékek magas ellenállósággal és fényes felülettel bírnak ezért nem minden esetben szükséges laminálni őket. A másik nagyon előnyös tulajdonságuk, hogy a nyomtatás leállítását követően a festékező rendszerben sem szilárdulnak meg amennyiben nem éri őket UV sugárzás.

Az UV-sugárzással térhálósodó festékek hátránya, hogy károsak az emberi egészségre. A festék egyes összetevőit az egészségre veszélyesnek tekintik, például a kötőanyagokat vagy a fotoiniciátorokat. Kikeményedés után minden összetevő ártalmatlanná válik. Viskozitásuk a hőmérséklet változtatásával szabályozható. Éppen ezért fontos a megfelelő festékátvitel érdekében állandó, megfelelő hőmérsékletet tartani a nyomdagép festékegységeiben. Ami szintén fontos, az az időben korlátozott, megfelelő tárolásuk. A hosszan tartó tárolás során a festékben lévő monomerek lassú polimerizációs folyamatnak lehetnek kitéve. Manapság az UV festékeket szélesebb körben használják. Alkalmazásuk még kevésbé elterjedt, mint az oldószer- és vízbázisúak, de nagyon népszerűek a címkenyomtatásban. Ez annak köszönhető, hogy alkalmazásukkal a nyomtatási folyamat során kiküszöbölhetőek a festékszáradási problémák, valamint a gyúlékony és robbanásveszélyes oldószerek használata, a festék színintenzitásának változása. Az UV festékek alkalmazása lehetővé teszi, hogy kiváló minőségű és fényes nyomatokat kapjunk [45].



6. Ábra: Száradási mechanizmus [47]

Az UV-sugárzással térhálósítható festékeket és lakkokat a korábban felsorolt számos előnyös tulajdonságuk miatt gyakran használják a nyomdaiparban. A legjelentősebb előny, hogy a nagyon gyors térhálósodás (gyökös polimerizáció a másodperc töredéke alatt) lehetővé teszi a nyomtatott anyagok azonnali feldolgozását a nyomtatás után. Továbbá nagyon jó vegyszer és kopásállósággal rendelkeznek. A kötőanyag kiválasztásától függően a kikeményedett rétegek lehetnek rugalmasak vagy nagyon kemények (reaktív monomerek és oligomerek keveréke). Jelentős előnye, hogy a térhálósodáshoz alacsonyabb energiafogyasztás szükséges és a folyamat során nem tapasztalható oldószerpárolgás [48].

2.6. A reológia jelentősége a flexográfiában

A reológia területén történő információgyűjtés során számos, a flexográfiában is jól alkalmazható megállapításra és összefüggésre találtam, ugyanakkor munkám során sokszor volt szükségem arra, hogy a gyártási folyamat optimalizálása érdekében pontosabb képet kapjak a flexográfiai festékek viselkedéséről.

A reológiai vizsgálatok során a festék reológiai tulajdonságait, vagyis áramlási viselkedését és deformációját tanulmányozzák. A "reológia" kifejezés jelentése: az "anyag (folyadékok vagy gázok) alakváltozásának és áramlásának tanulmányozása". Ma a reológia az olyan anyagok áramlási tulajdonságaira és viselkedésére vonatkozik, mint például kenőanyagok, festékek, műanyagok, polimerek, szuszpenziók és sok más anyag. A nyomtatás folyamata során elengedhetetlen a festékek áramlási viselkedéséről, az áramlási időről és a festékek tapadásáról szerzett ismeretek alkalmazása [49]. Az

összefüggések meghatározása és a standardizálás kulcsfontosságú a minőségkontroll és a konzisztencia biztosítása szempontjából. Az ISO (International Organization for Standardization) több olyan szabványt is létrehozott, amelyek a flexo nyomtatás területén alkalmazhatók, és segítik a festék reológiai vizsgálatok standardizálását.

A flexonyomtatásban valójában folyamatosan szilárd felületet nedvesítünk festékkel, és ahhoz, hogy a nyomathordozón a festék megfelelően elterüljön, feltétlenül szükséges az egyes közbenső szilárd felületek megfelelő nedvesítési szintjének biztosítása. A megfelelő nedvesítéshez a gumihenger, raszterhenger és klisé egymáshoz képest emelkedő felületi feszültségű kell legyen, és a nyomdász a festék felületi feszültségét, ezáltal terülését tudja az oldószerekkel befolyásolni [50].

A nyomtathatóságot meghatározó elsődleges tényezők a nyomathordozó tulajdonságai, amelyeket a felületi tulajdonságok határoznak meg, mint például a felületi feszültség [51]. A viszkozitás egyfajta belső súrlódás, „az áramló testek (közegek) belsejében, az elmozdulással szemben fellépő nyíróerő. Newton törvénye alapján definiálható (newtoni folyadék). Az áramló folyadék sebesség-vektoraival párhuzamos felületek mentén ébredő csúsztató feszültség - amely a nyíróerő felület-egységre eső értéke - arányos a sebesség-gradienssel, vagyis az imént definiált felületek normálvektorának hatásvonalában mérhető sebesség-változás hossz-egységre eső értékével. Az arányossági tényezőt a folyadék dinamikai viszkozitásának nevezzük. SI mértékegysége a Pa*s Korábbi mértékegysége a P (poise) volt, $1 \text{ Pa*s} = 10 \text{ P}$. A műszaki gyakorlatban kisebb egysége, a centipose (cP) használatos. Számszerűen $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa*s}$. A festék viszkozitása fontos szempont, mivel befolyásolja, milyen jól terül a festék a hordozóanyagon és milyen egyenletesen fed. A hőmérséklet változása jelentős hatással van a festék viszkozítására” [52].

Gülhan Acar Büyükpehlivan és Mehmet Oktav a 2022-es GRID konferencián „CORONA TREATMENT AND ITS IMPORTANCE IN FLEXO PRINTING” (A koronakezelés és fontossága a flexo nyomtatásban) címmel megjelent tanulmányukban foglalkoznak az egyes alapanyagok reológiai tulajdonságainak vizsgálatával. Eredményeik azonban nem kifejezetten az általam kutatótt összefüggések, sokkal inkább a koronakezelés jelentőségének vizsgálatára szolgálnak.

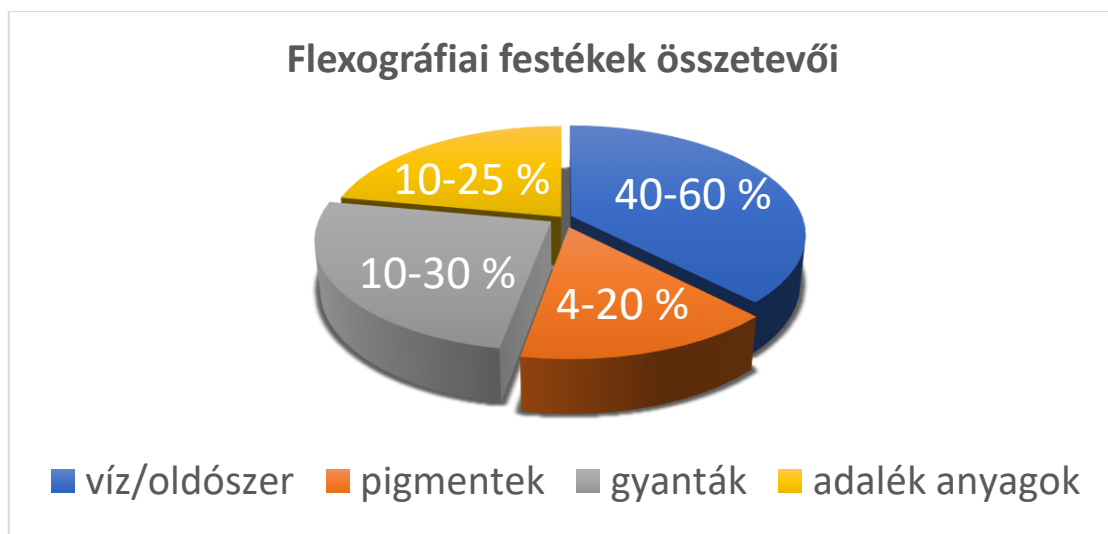
A flexo nyomtatásban használt műanyag filmek és alacsony viszkozitású festékek felszíni feszültsége a legfontosabb paraméter a nyomathordozó és a festék felületi viszonyában. Ezeknek a paramétereknek az optimális értékein tartása elengedhetetlen a minőségi nyomtatási eredményekhez. Többek között a nyomathordozókra alkalmazott korona kezeléssel érhető el a legjobb felületfeszültségi értékek [53, 54]. A koronakezelés egy nagy feszültséget használó fizikai folyamat, mely főként filmrétegek kezelésére szolgál. Az alapelv az, hogy a kezelt műanyag felületen a nagyfrekvenciás és nagyfeszültségű koronás kisülés (nagyfrekvenciás AC feszültség 5000-15000 V / m²-ig) alacsony hőmérsékletű plazma előállításához vezet, amely szabad radikális reakciót okoz a

műanyag felületen és térhálósítja a polimert. A felület durva lesz, és növeli nedvesíthetőségét a poláris oldószerekkel szemben [55]. A korona-előkezelés hátránya a relatív alacsony aktivációs potenciál és a néha inhomogén végeredmény a kezelt felületen. Néhány egyedi esetben pedig nemkívánatos kezelés éri a film ellenkező, hátsó oldalát is. Továbbá a kapott felületi feszültség nem marad sokáig stabil, a kezelt komponensek csak korlátozott ideig tárolhatók.

Általános szabály, hogy ha egy nyomathordozó felületi feszültsége körülbelül 10 mN/m-rel nagyobb, mint a festéké, akkor megfelelő kötés és tapadás jöhet létre a folyadék és a hordozó felülete között [56, 57]. A PET-et lényegesen magasabb felületi energia jellemzi, mint a poliolefineket, bár ez gyakran módosítást igényel. Felületi energia értéke a nem aktivált anyag esetében körülbelül 42 mJ/m² [58]. A PET koronakezelése több funkcionális csoport megjelenését okozza a kezelt felületen, mint a PP vagy a PE esetében [59]. Pyatetskii (1991) kifejlesztett egy modellt, amely leírja a PET filmek aktiválásának az érintkezési szögre gyakorolt hatását a folyamat paramétereitől – mint a sebesség, az elektródák feszültsége és a földelt elektróda burkolatának vastagsága – függően [60].

A flexo nyomtatási technológiához alacsony viszkozitású festékek szükségesek, amelyek lehetővé teszik a rendszeres festékáramlást a nyomtatóegységben. A festék viszkozitása általában 0,05-0,5 Pa.s. alatt van [6], és a flexo festékek folyási ideje 18-35 s (Ford pohár, 4 mm-es kimeneti átmérő) [61, 43].

A festékek összetétele (7. ábra) alapvetően befolyásolhatja a nyomtatási folyamat hatékonyságát és a nyomat minőségét. A festékösszetevők (oldószer, pigmentek, gyanták és adalék anyagok) aránya – azok fizikai tulajdonságaiból adódóan is - hatással lesznek a festék viselkedésére a gyártási folyamat során. Ugyanakkor ezen tulajdonságok a környezet hatásaitól függően változtathatóak.



7. ábra: Festékösszetevők aránya a flexográfiai festékek esetében

A flexo festékeket koncentrátumként állítják elő. A hígítóval kevert és vízbázisú flexo festékek koncentrátumai magasabb, 0,1-0,25 Pa.s. viszkozitással rendelkeznek. Az UV flexo festékek még magasabb, körülbelül 0,4 Pa.s. viszkozitásúak. Az UV-flexográfiai nyomdafestékeket azonban megemelt hőmérsékleten nyomtatják, és jól ismert, hogy a viszkozitás csökken a hőmérséklet emelkedésével. Nyomtatás előtt a flexo festékeket a festékgyártó által megjelölt oldószer hozzáadásával a kívánt viszkozításra állítják be. Az illékony hígítószer a nyomtatás során elpárolognak, ezzel viszkozitás- és színváltozást okoznak. A flexo nyomdatechnológiában a színintenzitás változások főként a festék viszkozitás változásaihoz kapcsolódnak. Ha a nyomdafesték túl alacsony viszkozitású, akkor a festékterülete nem megfelelő a nyomathordozón, és az elkészült nyomatok elégtelen színintenzitással és nem megfelelő optikai sűrűséggel rendelkeznek. Azonban, ha a nyomdafesték túl magas viszkozitású, a száradt festék rossz tapadást mutat a nyomathordozóhoz.

A nyomdafestékek egy rendkívül fontos feltételnek kell megfelelniük- a nyomdagépen folyékonyan kell lenniük, és a nyomtatás után a felületen a lehető legrövidebb időn belül meg kell száradniuk. A nyomdafesték viszkozitása csökken a nyomtatási folyamat hőmérsékletének növekedésével, de a hígítószer párolgásával és a nyomdafesték oxidációs polimerizációjával a viszkozitásuk növekszik. Ezért a nyomdafesték nem tartalmazhat nagyon illékony hígítószereket, amelyek elpárolognak a festék áramlása közben a festékegységben, és megváltoztathatják a reológiai tulajdonságokat. Emiatt a festékek áramlási viselkedése és viszkozitása meghatározó a nyomtatási folyamat során. Ráadásul a viszkozitás az áramlási viselkedéssel együtt jelentős hatással van a festék nyomtatási egységben történő áramlására is. A nyomdafesték reológiai jellemzői, mint például a tixotropia, az előfolyási érték és a tapadás, hatással vannak a nyomtatási teljesítményre, és ezáltal a nyomtatási minőségre [62].

A nyomdafestékek nem ideális newtoni folyadékok, vagyis viszkozitásuk a nyíróerő hatására csökken. Az ilyen reológiájú folyadékokat tixotróp folyadékoknak nevezzük. A nyíróerő megszűnésével a viszkozitás emelkedni kezd. A nyomógép több egységében nyíró igénybevétel éri a festéket: hengerek közötti rések, festékpumpa, rákelkamra. A viszkozitás nyíróerő hatására bekövetkező csökkenéséhez a festéket fel kell keverni [43].

A szakirodalomban leírt összefüggések a nyomdaipari folyamatok tervezéséhez fontos és alapvető ismereteket jelentenek. Ugyanakkor nem adnak választ az általam vizsgált problémára, mely kifejezetten arra koncentrál, hogy az egyes beállítások és paraméterek meghatározásakor milyen nagy szerepe van a festék hőmérsékletében a nyomtatási folyamat során bekövetkező változásnak. A nyomtatási folyamat egészét vizsgálva, színekre lebontva milyen reológiai hatásokat idéz elő a festékek hőmérsékletének és a nyíróigénybevételnek a változása.

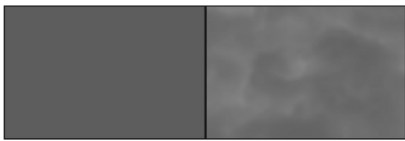

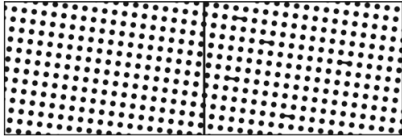
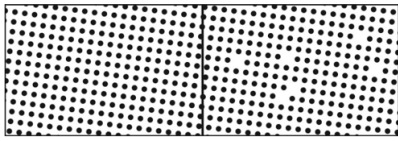
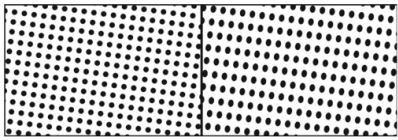
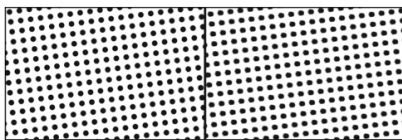
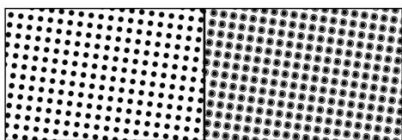
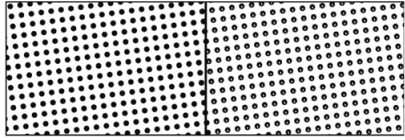
2.7. A minőségi flexo nyomtatás nehézségei

A Műanyagok Enciklopédiájában [63] a minőséget úgy definiálják, hogy „azoknak a tulajdonságok összessége, amelyek megkülönböztetik a termék egyes egységeit, és meghatározzák az egyes egységek elfogadhatóságának mértékét a felhasználók számára.” A nyomtatási minőség olyan kifejezés, amelyet nehéz meghatározni. A megrendelő igényeitől függ. Eltérő lesz a megjelenés egy információközlő nyomtatás és egy prémiumnyomtatás esetében. Az első típus esetében a magas minőség azt jelenti, hogy teljesen olvasható. A többszínű nyomtatás esetében fontos a színek, átmenetek stb. megjelenítése, amelyek igénylik a folyamat szabványosítását. Ha többszínű luxusnyomtatással foglalkozunk, amely a termék reklámozását jelenti, akkor a minőségi követelmények lényegesen magasabbak.

A nyomtatási minőséget számos tényező határozza meg, például a nyomtatási alapanyagok és festékek típusai és tulajdonságai, valamint a nyomtatási folyamatnak számos egyéb paramétere. Ezek a tényezők szorosan kapcsolódnak egymáshoz, változnak a folyamat során, és attól függenek, hogy melyik technikát választjuk. Általánosságban elmondható, hogy a nyomtatási folyamat legfontosabb paramétereit, amelyek befolyásolják a nyomtatási minőséget, a következők: nyomdagép, annak felépítése és műszaki állapota; nyomtatási sebesség; a nyomtatási nyomás értéke az egyes zónákban, amely felelős a nyomásszabályozás pontosságáért; nyomtatógység típusa; nyomólemez tulajdonságai, gyártástechnológiája és felhasznált anyagai; festék felviteli sorrendje; festékek típusa és tulajdonságai; alapanyag típusa és tulajdonságai [64].

A flexográfia nagyléptékű fejlődésének egyik motiváló tényezője, hogy alapvető piaci igényé vált a növekvő minőségi elvárásoknak való megfelelés. A minőségi fejlődés útjában állnak például az alábbi nyomathibák (3. táblázat), melyek okai - ellentétben az olyan nyomtatási hibákkal, mint a ködhatás, helytelen színerősség, a festékátvitel a következő nyomtatási egységbe és a pontnövekedés – könnyen félreértelmezhetőek, így ezeknek a hibáknak a megjelenését tévesen más nyomtatási problémaként azonosíthatjuk. A 3. táblázat több eleménél például a felsorolt nyomtatási hibák a színadatokban a színmetrikai fényesség, illetve a tónusérték növekedését okozzák, amely ezáltal félreértelmezhető és - tévesen - a túl alacsony festékintenzitással hozható összefüggésbe [65].

3. táblázat: Leggyakoribb flexográfiai nyomtatási hibák [64]

Nyomtatási hiba	Nyomtatási hiba megjelenése	Nyomtatási hibák okai	Hatása a színadatokra
A festékfoltozódás hatása pontozott vagy márványozott nyomtatott képként jelentkezik a teljes nyomtatott területen.		- egyenetlen klisé-nyomdagéphenger- vagy alapanyag-felület - helytelen festékviszkózítás - túl magas rékelpenge nyomás	színmetrikai fényesség növekedés
A túlyuk hatása apró világos pontokként jelentkezik a teljes nyomtatott területen		egyenetlen klisé-nyomdagéphenger- vagy alapanyag-felület -festék habzása -túl alacsony nyomtatási nyomás	színmetrikai fényesség növekedés
Az összekapcsolódás hatása az egyéni képpontok közötti festék összeköttetéseként jelentkezik		túl magas festékviszkózítás; az anilox henger és a klisé paraméterei nem kompatibilisek; túlzott nyomás	tónusérték növekedés
A hiányzó pont hatása hiányzó pontok formájában jelentkezik a pöttyös területeken		helytelen: -rækelpengeszög -alapanyag -oldószer típus vagy keverési arány	tónusérték növekedés
Deformált képpontok: A képpontok alakja jelentősen eltér az eredeti pontok alakjától		túl magas: -nyomásbeállítás - relief mélység a kliséen túl alacsony felületi feszültség a nyomathordozón	
Pontatlan nyomtatott képpont: a képpont alakja jelentősen eltér az eredeti alaktól		túl magas: -festékviszkózítás -nyomásérték klisére száradt festék	tónusérték növekedés
Szegélyhatás: a képpontot egy gyűrű veszi körül		-az anilox henger túl magas átviteli térfogata -túl alacsony rækelésnyomás -túl nagy nyomásbeállítás	
Fánkeffektus: a képponton hézag látható		-túl alacsony festékviszkózítás; -a festék túl gyorsan szárad; -túl magas festék hőmérséklet	tónusérték csökkenés

Kutatásaim során a következőkben taglalt problémákkal foglalkoztam, mivel pályafutásom alatt legjellemzőbben ezek a nyomtatási nehézségek akadályoztak abban, hogy a meglévő technológiai háttérrel minőségi nyomtatásokat készíthessünk. Továbbá az általam vizsgált problémákra nem találtam megfelelő, tudományosan alátámasztott megoldást.

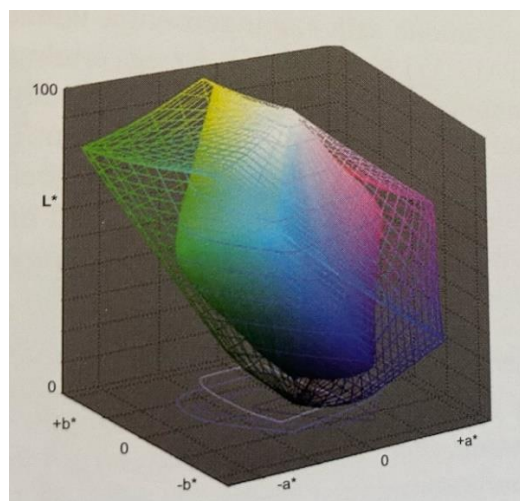
Az első általam kutatott megjelenítési probléma a fedettség, - melyet a fehér szín vonatkozásában kutattam - ami gyakorlatban a fehér festék fedőképességét, telítettségét jelenti. Ez nagy jelentőséggel bír az erős, kontrasztos színek megjelenítésekor, mivel egy gyenge fedőképességű fehér alkalmazása mellett egy jó minőségű, szép nyomat is szürke-fátyolosnak tűnhet. Továbbá problémát jelenthet a különböző színű termékek megjelenése, áttűnése a csomagolóanyag grafikáján.

A száradási, berakódási problémák esetében a festék gyors száradása miatt a kis raszterpontok közötti rész betömődik száraz festékkel és ennek következtében a következő legördülésnél megjelenő, nem kívánt nyomatképi elem alakul ki.

A következő probléma a kifutó képrészek nyomtathatósága. Ez alatt a TEV effektust értjük, ami a lelépő élnél keletkező festékfelhordásból adódó plusz vonalat jelenti. Valamint a FÁNK effektus, ami szintén nem ideális festékátadásból adódóan a kör alakú raszterpont helyett egy fánk alakú festékpontot jelenít meg a nyomaton.

Gyakori probléma, hogy egy már korábban alkalmazott nyomtatási technológia esetén az elérhető szintér jelentősen nagyobb, mint standard flexo technológiában. Ezekben az esetekben a flexo technológia alkalmazhatósága érdekében elengedhetetlen a szintér növelése.

„Minden reprodukálási rendszernek a sajátos jellemzője, hogy mekkora a létrehozható színek összessége, az úgynevezett reprodukálható színtartomány (angol szakkifejezése: color gamut). Mivel minden színíngér három független adatával egy térbeli pont, a reprodukálható színtartomány egy térbeli halmaz az adott színíngertérben” (8. ábra) [66].



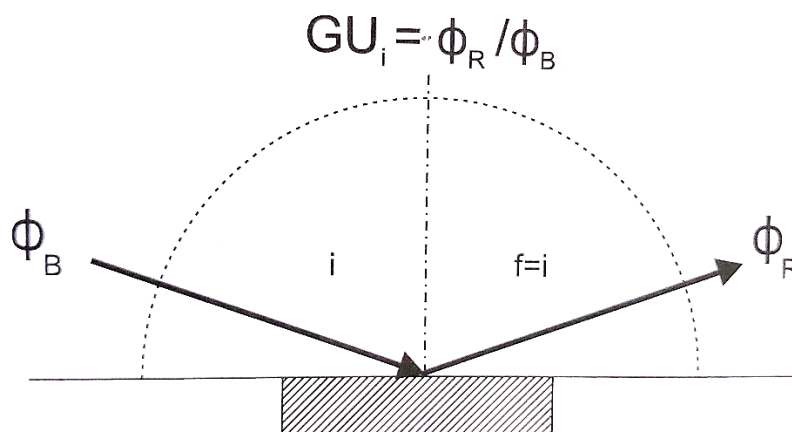
8. ábra: Az Adobe RGB 1998 (külső háló) és egy Epson R2400 nyomat reprodukálható színtartománya a CIELAB színíngertérben [66]

A reprodukálható színtartomány szemléltetése mellett, a különböző rendszerek színtartományainak összehasonlítására is alkalmazzák a 8. ábrán látható térbeli halmaznak az a^*b^* síkra eső vetületét.

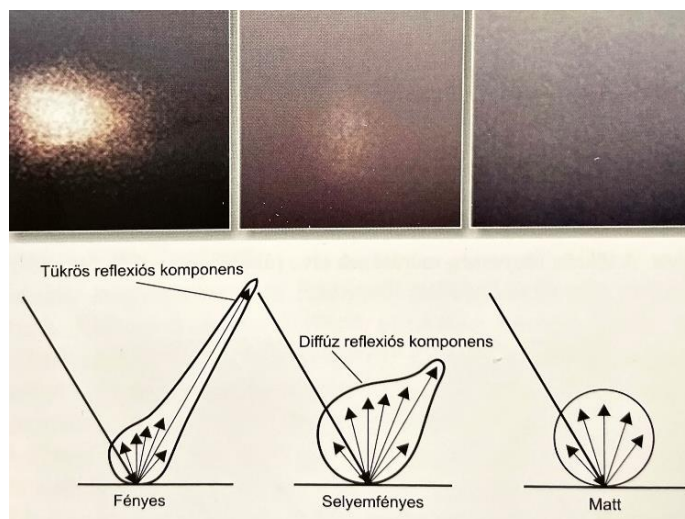
A 38. Nemzetközi Kutatási Konferencián már 2011-ben téma volt a „Megnövelt színtér nyomtatás a flexo csomagolásban” Ennek kapcsán megállapítást nyert, hogy a szabványos négyszínnyomó festékekkel a Pantone® spot color skála színeinek mindössze 60%-át lehet reprodukálni. További megállapításként szerepelt, hogy a próbanyomtatás során használt hordozók hatással voltak a festékdenzitásra és az elérhető színtér méretére. Három különböző hordozóra készültek a nyomatok: 54lb félfényes Litho, PCS (proprietary coated label stock = szabadalmaztatott bevonatú címkeanyag) és Fasson® 2,6 mil (kb. 0,05 mm) vastagságú gyöngyfehér bevonatú biaxiálisan orientált polipropilén (BOPP) film. A sima, mázolt hordozó általánosan jobb nyomtatási minőséget eredményezett. A lakk a különböző típusú nyomathordozókon eltérő mértékű hatást gyakorolt. A lakk minden színnél és minden hordozón általánosan csökkentette a nyomatfoltosodás mértékét. Egy átlagosan lakkozott nyomat színtere nagyobb volt, mint a lakkozatlané. A speciális színsorrend szintén hozzájárult a színtér növekedéséhez [67].

2.8 A fény- és színmérés a nyomdaiparban

„Az ipari gyakorlatban szabványosított fényességmérési módszerek a tükrös fényességet határozzák meg, és a fényesség értéket ún. GU (gloss unit) egységben adják meg. A GU egy adott törésmutatójú, polírozott fekete üvegfelület (9. ábra) tükrös reflexiójához viszonyított érték” [68].



9. ábra: A tükrös fényesség mérésének elve (általában $i = 20^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 85^\circ$) [68].



10. ábra: Felületek a visszavert fénynyalábok paramétereinek függvényében [68]

A különböző felületekről eltérő mértékben verődik vissza a rábocsátott fénynyaláb. A visszavert fénynyalábok paramétereitől függően három féle felületet különböztetünk meg, ezek a fényes, selyemfényes és matt felületek (10. ábra).

A színadatok összehasonlításához, kommunikálásához és tárolásához mérési rendszert kell alkalmazni. A színek összehasonlításakor az emberi látórendszer a legmeghatározóbb, de nem tud sem számokat rendelni a színekhez, sem pontosan megjegyezni őket. Ezért van szükség valamiféle numerikus mérési szabványra és egy szervezett módszerre a színek közlésére. Ha egy tárgyat nem fehér fényforrással néznek meg, az észlelt szín a megvilágítás árnyalatát veszi fel. Bár a napfény a legtermészetesebb módja a tárgyak megtekintésének, nem ideális fényforrás a tárgyak színének megítélésére; egyszerűen túl változó. Mesterséges fényforrások állnak rendelkezésre, amelyek szabályozhatók és meghatározhatók az átlagos, természetes nappali fény, valamint az izzó- és fénycsövek szimulálására. A fényforrások számszerűsítésére egy Kelvin-fokban ($^{\circ}\text{K}$) kifejezett színhőmérséklet-skálát használnak. A különféle mesterséges fényforrások színhőmérséklete körülbelül 4000°K és 6800°K között van. A D50 CIE Standard Illuminant színhőmérséklete 5000°K , ami átlagos természetes nappali fényt képvisel, és ez a grafikai vizsgálatokhoz legszélesebb körben használt színhőmérséklet. A spektrális görbe a forrás fényének mennyiségét mutatja a látható hullámhossz-tartományban, ami nagyjából 400-700 nanométer.

Általában a CIE D50-es szabványos világítást használják a prepress- és nyomdaiparban. Ezt a világítást a relatív spektrális sugárzási eloszlás $S(\lambda)$ határozza meg 300 nm és 780 nm között, ahogyan az összes CIE világítás esetében. A CIE azt javasolja, hogy referencia fehéreként egy tökéletesen visszaverő diffúzort használjanak. Ez a fehér - a referencia abszolút fehér standard - az ideális visszaverést és diffúziót egyesíti a veszteség nélküli visszaveréssel. Ennek megfelelően a sugárzási tényező $b(\lambda) = 1,0$ $c \lambda$ [380 nm., 780 nm] (CIE, 1971). Az ipari változata egy referenciafehérnek minden spektrális mérőeszközben található.

A 45/0-mérési geometriát (45 fokos szögben irányított megvilágítás a függőleges mintavételi nyílás felé vagy fordítva) általában nem átlátszó felületek nem átlátszósági méréseihez használják. Enyhén textúrázott felületeket megbízhatóan lehet mérni kör alakú megvilágítással 45 fokos szögben a függőleges mintavételi nyílás felé (CIE, 1971).

2.9. A fehér szín jelentősége a flexográfiában

„A hétköznapi és gyakorlati életben számos anyag, tárgy színe a fehérrel asszociált. Az észlelési feltételektől függően körülbelül 5000 megkülönböztethető színt hívnak fehérnek, és további, mintegy 30000-re tehető azon színek száma, amelyeket kékes-, sárgás-, zöldes- stb. – fehérnek neveznek. Fizikai megközelítéssel fehér az a felület, amelynek relatív nagy a világossága (általában CIE $Y > 65$) és diffúzan reflektáló” [67]. Egy tárgy színét, így a fehér vagy közel fehér nyomathordozók fehérségét is reflexiós spektrumuk határozza meg. Ez az érték azt számszerűsíti, hogy a tárgy a megvilágító fényforrás sugárzásának kék, zöld, sárga és vörös komponenseit milyen mértékben veri vissza [69].

A nyomdaiparban és azon belül a flexonyomtatásban az „igazi fehér” szín megjelenítése az egyik legbonyolultabb dolog. Mivel a termék - piacra kerülése során – a fény vonatkozásában is eltérő paraméterekkel bíró közegbe kerül, nagyon fontos kritérium, hogy a normál megvilágítás, illetve a különböző spektrumú megvilágítás esetén is, a felületről visszavert reflexiós spektrum egyformán fehér színérzetet eredményezzen. Ez egy képernyő esetében viszonylag egyszerű feladat, hiszen csak a kibocsátott fény spektrumát kell az alapszínek (legtöbb esetben RGB) megfelelő arányával előállítani. Reflexió esetén ugyanakkor a megvilágításnak többféle spektruma is lehet. Nehéz feladat, hogy a reflektált fény spektruma mindig fehér színhatást produkáljon. A kívánt szín eléréséhez - a produktum egyéb minőségbeli jellemzőinek megtartása mellett - mind az alapanyag, mind a festékanyag, mind a nyomóforma komplex vizsgálata és összehangolt alkalmazása szükséges.

Az ofszetnyomtatás alapanyagai gyakran optikai fehérítő komponenst is tartalmaznak, ami azt jelenti, hogy a látható tartományon kívüli UV hullámhosszú megvilágítás reflexióját átkonvertálják látható tartományba, ezzel érve el extra fehérséget. Ez némi nehézséget jelent a nyomtatás színmenedzsmentjében, a flexo alapanyagoknál ugyanakkor nem jellemző ilyen komponens használata.

A flexonyomtatási alapanyagok között tapasztalataink szerint a nagyobb vastagságú, fehér polietilén fóliák a legjobbak a fehérségük szempontjából. Sajnos elég nagy az átlátszóságuk, ezért több réteget (4-6) egymásra téve érhető el az, hogy meg tudjuk mérni az anyag fehérségét. Ez vetekszik a jó proof-papírok fehéértékével, ugyanakkor nincs benne optikai fehérítő komponens. Tehát akár $L > 96$ értékeket is kaphatunk, de már a 95 fölötti érték is jó fehérségnek számít. A jó fehér pedig alapvető feltétele a szép, nagy színdinamikájú nyomatoknak.

A flexográfiai technológiával nyomtatott termékek az eltérő csomagolási igények miatt változatos anyagszerkezettel, sokszor több rétegből is állhatnak. Szükség lehet a nyomtatás során fehér nyomtatásra előoldali, illetve hátoldali nyomtatás esetén is. Ilyen esetben a fehér festékréteg fedőképessége a leggyakoribb prioritás. Ehhez a legegyszerűbb lehetőség a festékfelvitel növelése. Ugyanakkor a festéknek meg is kell száradnia. Ha a fehér festékekkel betűket, logókat is meg kell jeleníteni, akkor a finomabb felbontás elérése tovább korlátozza a felhordható festékmennyiséget. Ha pedig raszteresen szeretnénk árnyalatokat is létrehozni, az még finomabban kontrollált festékfelvitelt igényel, ami csak vékonyabb festékréteggel kivitelezhető. Prepress oldalról lehetséges a két igény szétválasztása két külön fehérnyomtatásra, több rétegben felvitt fehér nyomtatás előkészítése által: az egyik fehér réteg lehet nagyobb felvitelű, durvább rajzolattal, a másik pedig kisebb festék átadású, finomabb elemekkel vagy raszterrel. Ilyen igényeknél jöhet jól a flexo nyomóforma mikrostruktúrált felülete, ami az egyenletesebb festékezéssel javítja az adott (kisebb) mennyiségű fehér festék esetén is a fedőképességét, lehetővé téve azt, hogy akár egy réteggel is megoldhatóvá váljon a két ellentétes elvárás teljesítése.

A fentiek alapján érzékelhető, hogy a megfelelő alapanyag kiválasztása mellett a célzott eredmény eléréséhez fontos kritérium az adott feladathoz legoptimálisabb festék és nyomóforma együttes alkalmazása. A festékezés eredményességét számos tényező befolyásolja: a nyomóforma festékfelvétele, a nyomtatási sebesség, a nyomóerő, a hőmérséklet, valamint a nyomóforma, és a nyomathordozó tulajdonságai. A fehér szín az, melynek nyomtatásakor a jelentkező nehézségek hatványozottan jelen lehetnek. Ugyanakkor ez a problémakör napjainkban még kevés - a gyakorlatban is igazán jól működő - eredménnyel bír, ezért választottuk a kutatás egyik alappilléreül.

2.10. A csomagolóanyag-gyártás és nyomtatás új kihívásai

Több tényező is elősegítette, hogy a csomagolás szerepe és jelentősége erősödik napjainkban. Közülük a legfontosabb a globalizáció és az abból következő gazdasági változások. A csomagolás szerepének megváltozására hatással vannak a fogyasztói és a társadalmi változások is, melyek elsősorban demográfiai változásokra vezethetők vissza. Világviszonylatban a népességszám növekedése jelent kihívást, mely a csomagolásfelhasználás mértékének növekedését eredményezi [70]. Ez a folyamat a csomagolási alapanyagok szűküléséhez, és azzal párhuzamosan azok árának növekedéséhez vezet, ami sokszor technológiai innovációra kényszeríti a fejlesztőket.

A műanyag csomagolóanyagok megjelenése új távlatokat nyitott az élelmiszerek eltarthatóságának fejlesztésében is. A műanyagok története mindössze 155 évre nyúlik vissza, a bioműanyagok felhasználása pedig csak néhány évtizedes múlttal rendelkezik. Ennek ellenére az utóbbiak alkalmazása az elmúlt időszakban a hagyományos műanyagok használatának mértékét számottevően meghaladó mértékben növekedett. Az utóbbi években mind az ipar, mind a tudomány részéről jelentősen nőtt az érdeklődés

a természetes polimerek iránt, amely feltehetően a hulladékkezelés területén jelentkező nehézségekkel, az arra vonatkozó jogszabályokkal függ össze. A bioműanyagok fejlesztésére nézve további ösztönző tényező lehet az ipar számára rendelkezésre álló fosszilis nyersanyagok csökkenő mennyisége [13].

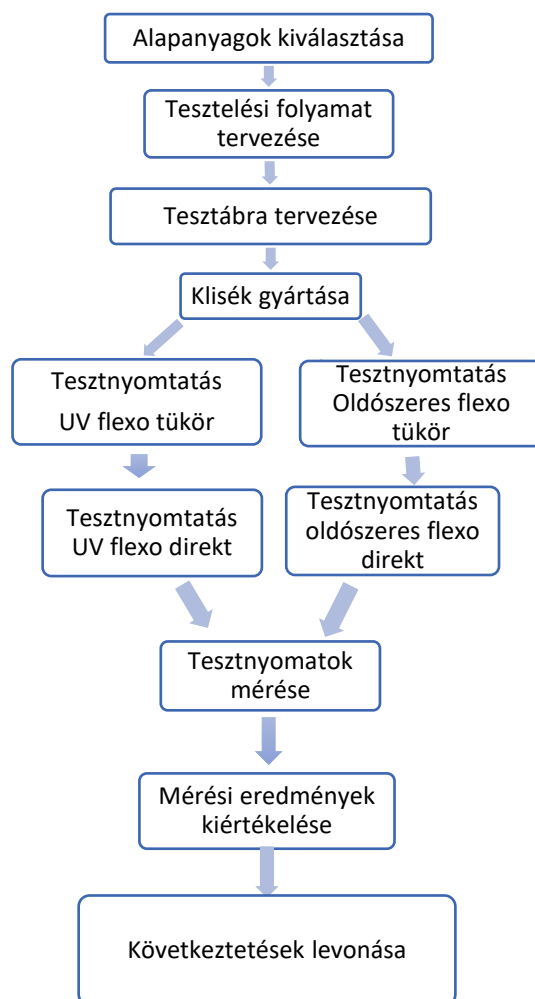
A környezet megítélésének változása a környezetbarát csomagolási megoldások elterjedését eredményezte. Egy vállalati kutatás alapján a csomagolási szakemberek közel 40 százaléka a környezetvédelmet tekinti a szektor legfontosabb kihívásának, melynek meg kell felelni. A kutatás szerint a zöld kihívásra a menedzserek többféle stratégiát alkalmaznak, melyek közül a leggyakoribb az „újrahasznosítható” állítás használata a csomagoláson (65%), a csomagolás mennyiségének csökkentése (57%), újrahasznosított, bio (41%), vagy komposztálható alapanyagok alkalmazása (25%) [71].

Az iparágak új trendekkel szembesülnek, mint a fokozott környezetvédelem és a technológiák „zöldítése” és ez alól a csomagolóipar sem kivétel. Ezen kritériumoknak való megfelelés nem befolyásolhatja (ronthatja) az alapvető követelményeknek való megfelelést, mint a termékvédelem és az esztétika [72]. Az esztétikai és védelmi szempontok ugyanakkor sok esetben többretegű összetett csomagolóanyagok használatát eredményezik. A kartoncsomagolások ötvözése szintetikus (többnyire polimer) anyagokkal megnehezíti a biológiai lebomlásukat, és az újrahasznosíthatóságukat egyaránt [73].

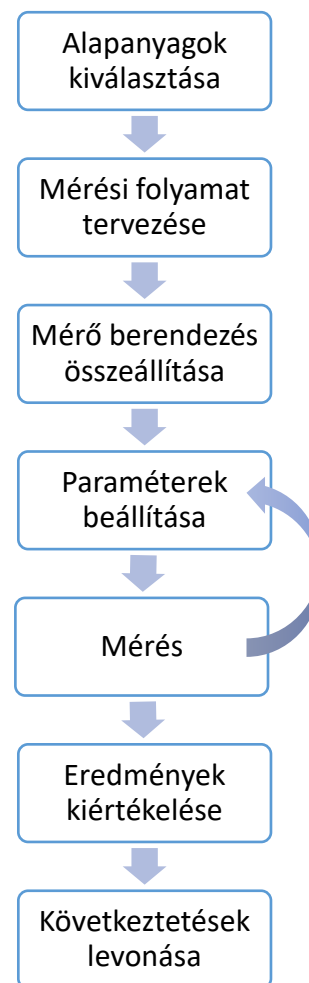
A környezetvédelmi elvárások mellett a nyomtatott csomagolások felé támasztott alapvető elvárás a nyomat megfelelő minősége. A nyomtatott csomagolás minőségi tényezőit csökkentheti külső hatás, például UV-indukált degradáció. Az UV-sugárzás (100-380 nm) nem csak a festékek kifakulását okozza [74] hanem felelős az anyag sárgulásáért és szilárdságának elvesztéséért is [75, 76]. A festék fakulása és sárgulása a nyomtatott lenyomatok vizuális megjelenésének minőségi romlásához vezet, így azok kevésbé vonzóak a felhasználó számára. Ezenkívül a festék kifakulása a termékinformációk (pl. vonalkódok) elvesztésével járhat, ami veszélyezteti a fogyasztó tájékoztatáshoz való jogát, és sérti az EU fogyasztóvédelmi törvényét. Ennek a jelenségnek a csökkentése érdekében az egyik megoldás egy olyan bevonat létrehozása, amely kiküszöböli ezeket a problémákat. A vízbázisú lakk (továbbiakban: WB) a leginkább környezetbarát bevonattípus a piacon, amely rendelkezik ipari, technológiai és kereskedelmi képességekkel, mivel nem hoz létre veszélyes párologtatást kezelés vagy kikeményedés során [77]. A WB lakknak van néhány árnyoldala UV-lakkal összehasonlítva, például fényállóság, záró tulajdonságok stb. tekintetében [78] Néhány kutatást végeztek nano méretű vegyületek beépítésével a kereskedelmi lakkokba, amelyek javítják a fejlesztési potenciált [79, 80, 81]. Az egyik ilyen vegyület egy fém-oxid, a titán-dioxid (TiO₂), amely jól ismert az UV-sugárzás elnyelő képességéről, és gyakran használják festékek, színek, bevonatok, fényvédők stb. részeként [82, 83].

3. Alkalmazott anyagok, eszközök és módszerek

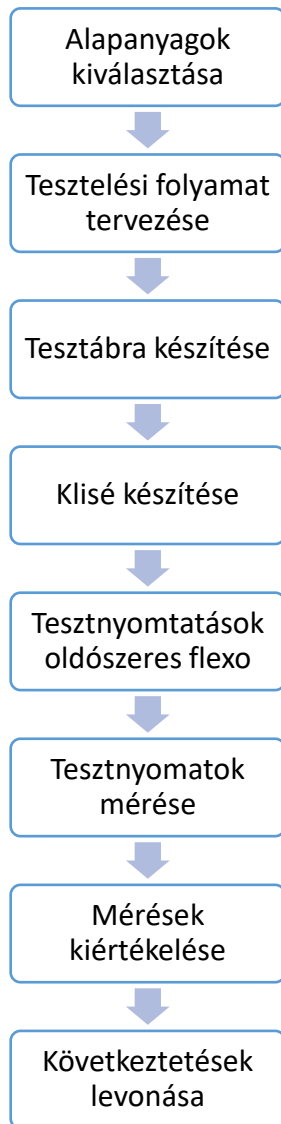
Ebben a fejezetben bemutatom az alkalmazott anyagok, eszközök és géppark konstrukcióját. A kutatásaimhoz használt alapanyagok, gépek és mérőműszerek kiválasztása során törekedtem arra, hogy eredményeim reprodukálhatóak és széles körben is alkalmazhatóak legyenek, ugyanakkor munkám kereteit meghatározták az általam elérhető eszközök. Több céggel konzultálva választottam ki azokat a berendezéseket, melyek beszerzésével összeállítottam egy saját labort, mely használata mellett a disszertációban szereplő mérési eredmények voltak produkálhatóak. Kutatásom öt hipotézise négy vizsgálati folyamat mentén valósult meg (11-14. ábra)



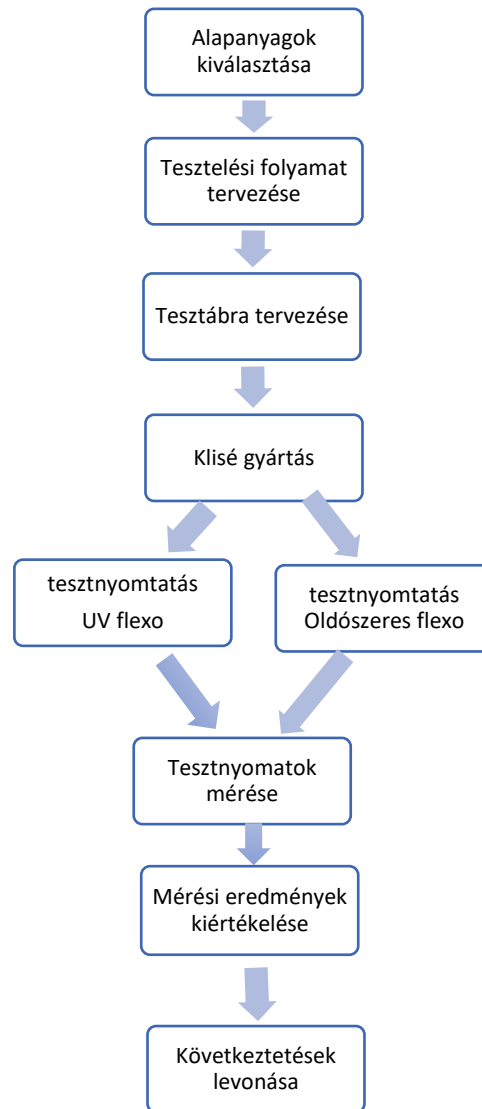
11. ábra: Tükör és direkt nyomtatás, valamint az UV és Oldószeres technológia átjárhatóságának vizsgálata



12. ábra: Reológiai mérések



13. ábra: Fehér nyomtatás vizsgálata



14. ábra: Matt nyomtatás vizsgálata

3.1. Alkalmazott alapanyagok

Nyomathordozó: A bi-orientált poliészter (polietilén-tereftalát vagy PET) fólia egyedülálló mechanikai, termikus és kémiai tulajdonságai miatt a legjelentősebb hordozóvá válik számos flexográfiai alkalmazásban. Többek között ezért is esett a választásunk erre a nyomathordozóra a kutatásunk fő alapanyagaként. Tesztnyomatásaink során nyomathordozóként 12 mikronos F-AUT PET fóliát alkalmaztunk. Az F-AUT egy átlátszó BOPET fólia. A fólia egyik oldala lakk bevonattal rendelkezik, a másik oldal pedig korona kezelt és megfelel az EU és az FDA élelmiszeripari alkalmazásokhoz használt műanyagokra vonatkozó előírásainak.

Klisé típusok:

- Flint ACE-D: Standard digitális klisé; FLAT TOP: nitrogénkamrás UV-A levilágítással, felületi mintázat kialakítása: lézerezés során; Shore A keménység: 78 Sh A.
- Flint ACT-D: Standard digitális klisé; FLAT TOP: nitrogénkamrás UV-A levilágítással, felületi mintázat kialakítása: lézerezés során; Shore A keménység: 74 Sh A.
- MacDermid LUX ITP-60: Anyagában FLAT TOP klisé, felületi mintázat kialakítása a lézerezés során lehetséges; Shore A keménység: 78 Sh A.
- DuPont EASY ESE: Anyagában FLAT TOP és anyagában felületi mintázott klisé; Shore A keménység: 74-76 Sh A.

Festék típusok:

- Oldószeres festékek: - Doneck Pronat Euro-Base család
- UV festékek:
 - Flint Group Flexocure Ancora 50 B3 alacsony migrációs színes festék
 - JKM Pronat UV Flexo Low Migration White NLM- alacsony migrációs fehér festék

Lakk típusok:

- Oldószeres nyomtatásnál: - Doneck Pronat termékek
- UV nyomtatásnál: - Actega Wessco termékcsalád 3615 és 26.351.28

3.2. Alkalmazott nyomdagépek

Az általunk alkalmazott SOMA Flex Midi II nyomdagép (15. ábra) paraméterei a következők: Oldószeres, központi ellenhengeres szervo meghajtásos nyolc színes flexo nyomdagép. Maximális nyomtatási szélesség: 1076 mm. Maximális mechanikai sebesség: 450 m/perc. Nyomtatási ismétlési hossz: 330-800 mm. A festék szállítás pneumatikus pumpákkal történik zárt rákélkamrákon keresztül. A festékek állandó reológiai paramétereit az ultrahangos viszkozitás mérő rendszer és az automata viszkozitás szabályzó rendszer biztosítja. A felhordott festék szárításáról nagy teljesítményű elektromos szárítók gondoskodnak.



15. ábra: SOMA Flex Midi II nyomdagép

Az általunk alkalmazott Bobst M6 soros UV flexo nyomdagép (16. ábra) paraméterei a következők: hagyományos UV technológiás, soros elrendezésű, kilenc színes flexo nyomdagép. Maximális nyomtatási szélesség: 670 mm. Maximális mechanikai sebesség: 200 m/perc. Nyomtatási ismétlési hossz: 300-600 mm. A festék szállítás pneumatikus pumpákkal történik nyitott rákélkamrákon keresztül. Nyomtatás során minden esetben alacsony migrációs festékeket használunk. A felhordott festék térhálósításáról nagy teljesítményű UV lámpák gondoskodnak. Az M6 berendezésen a Revo hétszínű Digital Flexo technológiát használjuk, amely – egyéb előnyök mellett – gyors átállást tesz lehetővé kiterjesztett színterű nyomtatással, amely a Pantone színek 90-95 százalékát hét színből állítja elő.



16. ábra: Bobst M6 soros UV flexo nyomdagép

3.3. Alkalmazott vizsgálati módszerek

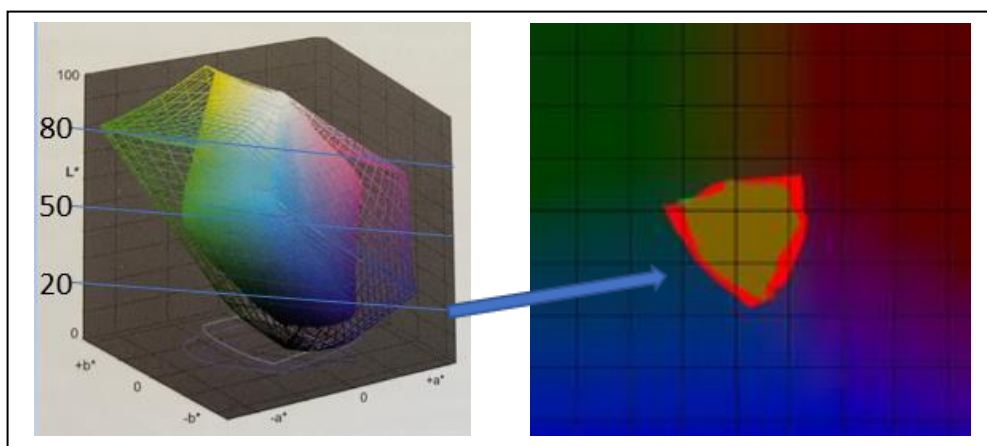
Fedettségi érték vizsgálati módszere: Egy saját összevetési módszert alkalmaztunk a fehér tesztnyomatok fedőképességi szintjének meghatározására, saját fekete referenciával, ami az opacitásmeghatározáshoz hasonló, és az elérhető műszerek segítségével kivitelezhető volt. A teszt nyomatokat egy fekete alapfóliára lamináltuk, és a laminátumon mértük Xrite exact spektrofotométerrel a CIE $L^*a^*b^*$ értékeket. Itt az abszolút értékeket nézzük, azaz mennyire tudjuk megközelíteni az ideális színtani fehéret ($L^*=100$ $a^*=0$ $b^*=0$). A fedés mértéke mindig függ az alátétanyagtól is. Mérhető az alapanyag fedett-fedetlen részének a ΔE ($L^*a^*b^*$) színkülönbsége is. Azonban minden esetben fontos az alátétanyag pontos beazonosíthatósága, megnevezése, hogy később más mérésekhez is beszerezhető legyen ugyanaz az anyag. Ezekkel a feltételekkel leginkább csak a CIE $L^*a^*b^*$ mérések L^* értékére kell koncentrálnunk, az a^* és a b^* abszolút értékeknek 2-3 alatt szükséges maradniuk. Az alátétanyag pontos paraméterei: Fekete PE fólia vastagság: 100 my; $L^*10,42$; $a^*0,31$; $b^*1,21$

A kitöltési arány és a geometriai értékek mérésére a fehér tesztnyomatok esetében egy Peret flex pro megnevezésű műszert használtunk.

A méreteloszlás elemzését TiO_2 pigmentek esetében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Horiba Partica LA-950V2 berendezéssel végeztük.

A fényességi értékek méréséhez Biuged BGD 516/3 műszert használtuk.

A színtér ábrák mérése X-Rite i1iO 2 készülékkel GMG OpenColor programmal történt. A program meghatározta az egyes színterek térfogati értékeit és képes két színtér adattartományt összevetni, amelyről bármilyen L értékben síkmetszeti képet készíthetünk. Vizsgálataink során az 20, 50 és 80-as L értékek esetén készítettünk sík metszeti képeket. (13.1.Mérési eredmények, színtérmetszetek M1-M15 ábra)



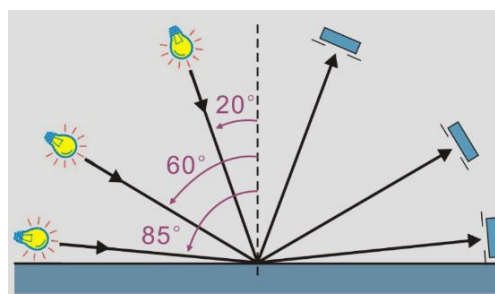
17. ábra: Két különböző technológiával készült nyomat szinterei 3D-ben és két eltérő színtér a^*b^* síkra eső vetületei képe 20%-os L értéknél

Az egyes színterek síkra eső vetületének összehasonlításakor (17. ábra) mindkét színteret a vizsgálni kívánt síkban elmetsszük és az így kapott képeket - melyek a jobb oldali képen piros és zöld jelölést kaptak - egymásra helyezve vizsgálható a két színhalmaz közös területe, azaz metszete – mely barnás színnel került jelölésre. Ez a módszer alkalmas arra, hogy az egyes színterek közötti különbségeket, azok kiterjeszhetőségét, közöttük lévő átjárhatóság mértékét vizsgálhassuk.

Festék reológiai vizsgálatainkhoz MYR V1-es típusú rotációs viszkozimétert használtuk, ami alkalmas különböző nyíróigénybevételek mellett a folyadékviszkozitás mérésére. Az állandó pontos festékhőmérsékletet a WEB MLW PRÜFGERATE – WERK MEDINGEN/SITZ FREITAL U15C típusú berendezés biztosította.

3.4 Alkalmazott mérőműszerek

A fényességi értékek mérésére a GD 516 sorozatú intelligens fényességmérő műszert használtunk. Ez egy klasszikus műszer többféle funkcióval, stabil megbízható működéssel és nagy pontossággal. Minden indítás alkalmával kalibrálja magát a beépített fekete üveglap segítségével. A méréseket 60°-os beállítással végeztük (18. ábra). A mérőműszerek jellemzően a 20, 60 és 85 fokos beállítási szöveget használják. Ezek közül a nyomdaiparban alkalmazott a 60 fokos beállítás.



18. ábra: Mérési beállítások

Az általunk használt Biuged BGD 516/3 fényességmérő műszer (19. ábra) adatai az alábbiak: Mérési tartomány: 0~119,9~2 000,0 GU. Felbontás: $\pm 0,1$ GU. Pontosság: $\pm 1,5$ GU. Mérési terület: 9mm \times 16mm (60°).



19. ábra: BGD 516/3 fényességmérő műszer

A színmérésekhez az Xrite exact 1 műszert (20. ábra) választottunk, ami a nyomdaipar egyik legkedveltebb hordozható géptermi műszere. Ez az eszköz segíthet a színek összehasonlításában, színek erősségének és paramétereinek meghatározásában. A helyes szín adatok eléréséhez nagyon fontos a megfelelő háttér alkalmazása és az eszköz rendszeres karbantartása és kalibrálása. A műszer beállításai az alábbiak voltak: Mérés geometria 0; 45°; Sugárzáseloszlás: D50 (5000 K); Észlelő: CIE 2°; Apertúra: 4 mm; Mérés; Színingerkülönbség-formula: CIE 2000



20. ábra: Xrite exact 1 színmérő műszer

A profilalkotáshoz vagy a színellenőrzéshez szükséges tesztáblázatok kézi beolvasása időigényes ezért a méréseinkhez egy robotizált, automatikus diagramolvasó rendszert alkalmaztunk, amelyet úgy terveztek, hogy minden i1Pro eszközzel működjön. Az i1iO gyorsan létrehoz egy egyedi profilt, amely megbízható eredményeket biztosít, csökkenti a mérési hibákat és növeli a termelékenységet. Percenként több mint 500 mérőcellát olvas be szkennelési módban M0 mérési beállítással az egyedi profilk létrehozásához. Szoftveresen a GMG OpenColor programmal kezeltük a mért adatokat. Színtér ábrák méréséhez a X-Rite i1iO 2 berendezést (21. ábra) használtuk.



21. ábra: a X-Rite i1iO 2 berendezés színtér méréséhez

A Peret FLEX³PRO flexo lemezelemzőt (22. ábra) a kitöltési arány és a geometriai értékek mérésére használtuk. A 3D megjelenítés és a pontszerkezet vizsgálata lehetővé teszi a rácspontok topográfiai felépítésének elemzését. Pontmagasság, átmérő, dőlésszög és még sok egyéb paraméter megjelenítésére és automatikus mérésére alkalmas nagyfelbontású hordozható műszer. Átnézeti módban használva a műszert 14.000 dpi felbontásban vizsgálhatjuk az átlátszó flexólemezek minden típusát. A nyomtatási módban színre bontva vizsgálhatjuk a hajlékonyfalú nyomatok pontterületének, rácsozásának, élfaktorának tulajdonságait. Az adatok és képek rögzíthetőek.



22. ábra: Peret FLEX³PRO flexo lemezelemző

A festékek viszkozitási értékének meghatározására a MYR V1-es típusú rotációs viszkozimétert használtuk (23. ábra) Az általunk választott berendezés alkalmas a viszkozitás gyors meghatározásához az ISO 2555 és a különböző ASTM szabványok szerint. A kapott eredmények 100%-ban kompatibilisek a Brookfield módszerrel, és lehetővé teszik az összehasonlító mérések elvégzését a minőségellenőrző laboratóriumokban elismert szabványok szerint. Myr V1 modell három változatban készül: „L” változat alacsony-közepes viszkozitáshoz, „R” változat közepes-magas viszkozitáshoz és „H” változat nagy viszkozitáshoz. Mi az L változatot használtuk. Jellemzők RS232 interfész és ViscosoftBasic szoftver adatrögzítéshez, PT 100 hőmérséklet-érzékelő, digitális kijelző különféle paraméterek közvetlen leolvasására.



23. ábra: MYR V1-es típusú rotációs viszkoziméter

4. A kutatómunka eredményei I. rész

Az oldószeres és UV technológia alkalmazhatósági kritériumainak vizsgálata

4.1. Célkitűzés

Az első feltevésre épülő kutatási folyamat két fő szakaszból állt. Az első szakaszban - két konkrét termék gyártási folyamatába történő beillesztéssel - az oldószeres technológia UV flexot helyettesítő alkalmazására, valamint a nyomatminőségének javítása érdekében végeztünk tesztek.

A második szakaszban egy speciális tesztábrát használva a tesztek során először általánosságban megvizsgáltuk egy adott termék nyomatminőségét UV flexo és oldószeres flexo nyomtatási technológia alkalmazása mellett. Mindkét technológia esetén meghatároztuk az elérhető színteret, színtartományokat. A két adathalmaz összevetésével behatároltuk azon területeket, amelyeken belül a két technológia átjárhatóvá válik.

4.2. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények

Tesztfolyamataink során a REVO rendszert alkalmaztuk. Amikor használatba vettük a rendszert, sok mindennek összehangoltan kellett működnie. Kutatásaink első lépését az Univer Ketchup 15 ml-es termék (24. ábra) csomagolásának adaptációja jelentette oldószeres flexoról UV-flexora. A nyomtatáshoz a Pandan Kft. 9 nyomóműves BOBST M6 UV-flexo nyomdagépet használtuk REVO technológiával. Ebben az esetben a kivitelezéshez a heptakróm rendszert választottuk, a hét alapszínből a fekete elhagyásával hattal dolgoztunk (C, M, Y, GreenUV, OrangeUV, Violet-UV), fehérrel kiegészítve. Hátoldali nyomtatást alkalmaztunk. A fehér nyomtatásakor azt tapasztaltuk, hogy nagyobb fedőképességi szintet tudunk elérni egyetlen festékréteg nyomtatásával, mint az oldószeres flexonyomtatásnál a dupla fehér használatakor. Kihívást jelentett a grafika színátmenetes része, ahol a zöltség és a háttérszín összefut, mivel a rendszer számos színt nyomott egymásra, és így kritikussá vált az elérhető szögállások limitált száma. Az alkalmazott rácssűrűség 149 lpi (59 v/cm) volt, mely hosszú távú, stabil nyomtatást tett lehetővé. Az eredetileg Pantone-ként definiált direktzöld szín heptakróm bontásból, több színből lett nyomtatva, ami tökéletes passzerpontosságot és pontos színegyezést igényelt. A terméken szereplő vonalkód az eredeti grafika szerint szintén a fent említett direktszínnel került volna nyomtatásra. Mivel a vonalkód olvashatóságát különösen előtérbe kellett helyezni, ezért a biztos eredmény elérése érdekében két különböző módon készítettük elő a grafikát. Az első változatban heptakróm bontásban szerepelt, míg a második esetben egy direktszínt alkalmaztunk a vonalkód nyomtatására. Azt tapasztaltuk, hogy a REVO rendszer az ilyen nehéznek

mondható feladatok megoldására is tökéletesen alkalmas, így végül a heptakróm változat mellett döntöttünk.

A nyomtatási fázis tökéletesítésének elengedhetetlen szegmense a megfelelő klisétechnológia kiválasztása. Az Intergraf Digiflex Kft. által készített 4000 dpi-s HD Flexo nyomóforma bizonyult a legmegfelelőbbnek, felületi mintázat (Pixel+ technológia) alkalmazásával a nagyobb részletgazdagság, erősebb denzitások és a nagyobb színerők elérése érdekében [84].



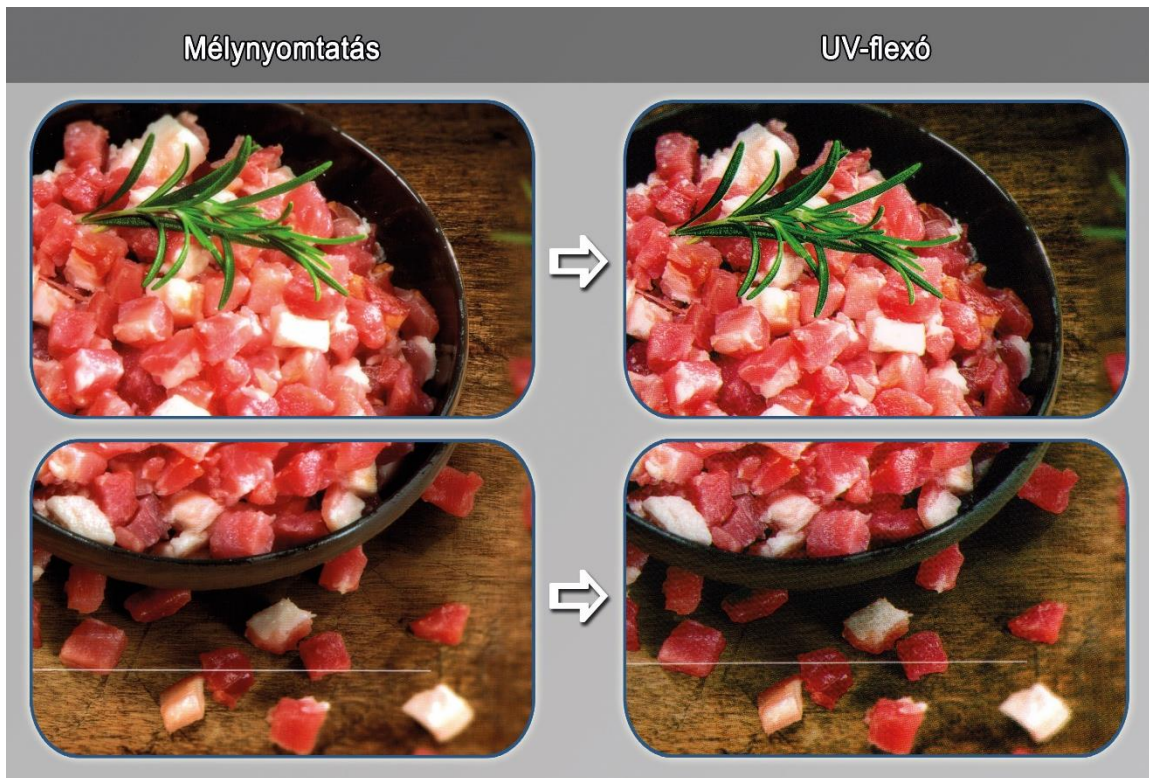
24. ábra: Terméksomagolás adaptációja oldószeres flexoról UV-flexora

Az előzőekben elért eredményeket felhasználva és azokat tovább finomítva a Gierlinger kockázott császárszalonna UV-flexos fólianyomata és terméksomagolása esetében is a legkorszerűbb technológiát alkalmaztuk. A korábban már hathatós eredményeket mutató 4000 dpi-s HD Flexo és Pixel+ ez esetben is érdemben hozzájárult a színerő és a részletgazdagság fokozásához.

A grafikai előkészítés összetett feladat volt. A grafika előkészítéséhez és a formakészítéshez speciális rácsok használatára, tesztnyomatok mély, méréses elemzésére, valamint alapos, professzionális színbeállításra és retusálásra volt szükség.

Végül a számos tesztorozat eredményeinek tükrében megszülettek az optimális paraméterek. A hatszínes, heptakróm színtér alapú feldolgozást (C, M, Y, K, VioletUV + fehér) választottuk hátoldali nyomtatásban. A fekete alapon végig futó, finom árnyalatú füstmotívum előkészítése is fokozott gondosságot igényelt, az alkalmazott rácssűrűség 149 lpi (59 v/cm) volt. Speciális színmenedzsmenttel, a BOBST REVO technológiája szerinti heptakróm színbontással készült el a háttérfotó, számos helyen egyedi (a „violet” színt is felhasználó) színátkeverésekkel, illetve 0%-ba futó értékekkel. A dizájn úgynevezett „fekete füst” mintája szándékosan minimális árnyalati terjedelemmel rendelkezett, és különösen érzékeny volt a színkorrekciókra. A mélynyomtatásos mintához való finomhangoláshoz többkörös és precíz korrekcióra volt szükség. A léptetés szintén igényelt speciális műveletet, mivel a tálcák közötti üres részt az etalon

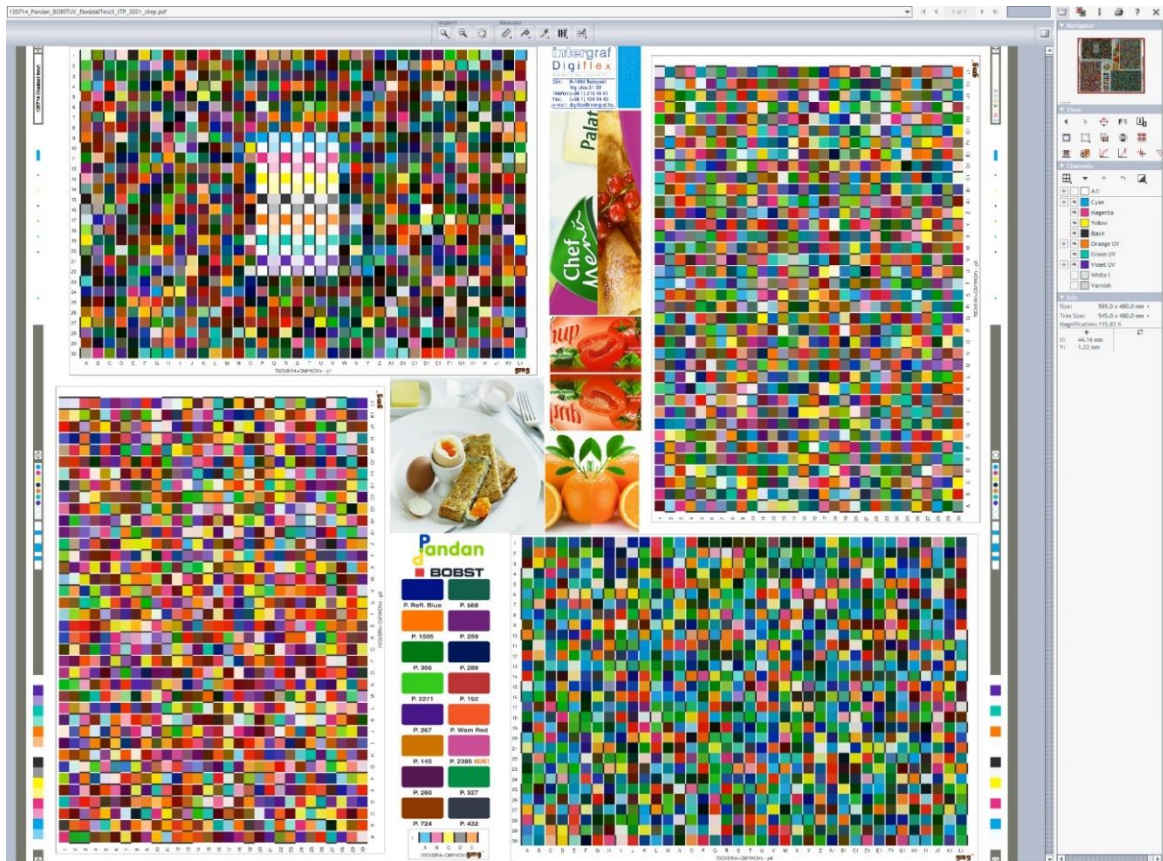
alapján szükséges volt kitölteni grafikával, és a képek között a kifutók széleit „áttúnással” „egymásba kellett mosni”.



25. ábra: Mélynymotatással és UV flexo technológiával elért eredmény

A 25. ábra bal oldali képei a referenciaként kapott, mélynymotatással készült mintát mutatják. A jobb oldalon az UV-flexo technológiával elért eredmény látható. A magas felbontásnak, a felületi mintázattal rendelkező nyomóformának, valamint a REVO-technológiának köszönhetően a finom részleteket és az élénk színeket egyaránt sikerült megőrizni. A tökéletes passzerpontosság mind a képélességhez, mind a finom negatív motívumok nyomtatásához előfeltétel volt használatával. A gazdaságos és környezetkímélő üzemeltetéshez továbbá hozzájárul az is, hogy a heptakróm színmenedzsment rögzített festékpalettája által a festékraktár redukálódik és lényegében nincs maradék festék. A gyorsabb nyomatbeállítás mindemellett jobb gépkihasználságot tesz lehetővé, mely energiatakarékosabb működést eredményez.

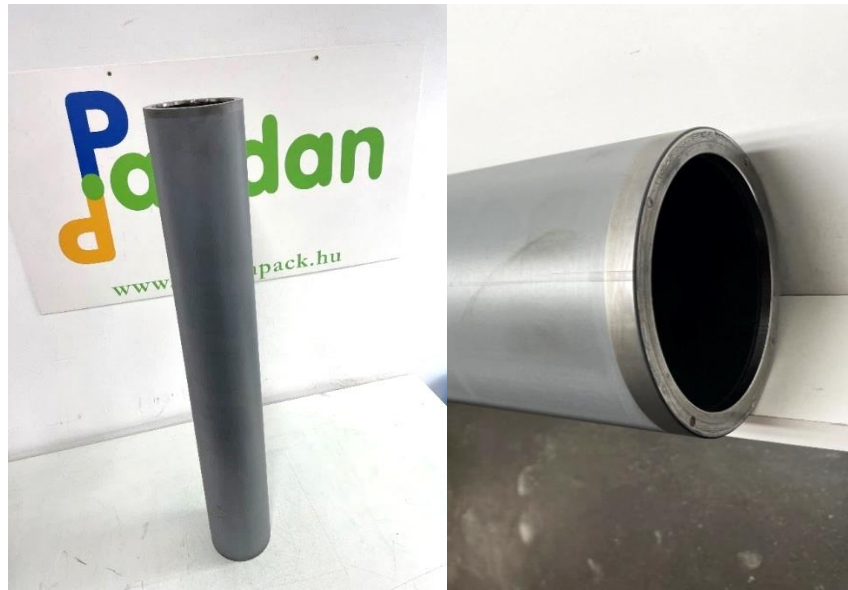
A téma kutatásának második szakaszában a tesztekhez a 26. ábrán látható GMG tesztábrát választottuk. A GMG piacvezető a nyomdai színmenedzsmentszoftverek területén, és az OpenColor nevű új rendszerük által támogatott tesztábrákkal 4565 különböző színt vizsgálhattunk. Ez a mintavételezési számosság az átlagosnál részletesebb mérési adathalmazt ad. A tesztábra bal felső szegmensében lévő, nagyobb dedikált teszterületnek köszönhetően a csúcspontokról is pontosabb képet alkothattunk. A próbákhoz nyomathordozóként 12 mikronos PET fóliát alkalmaztunk.



26. ábra: Tesztábra

A tesztnyomtatás során az oldószeres tesztek Soma Midiflex 2 nyomdagépen végeztük és az UV technológiás nyomtatásokat Bobst M6 nyomdagépen készítettük. Minden tesztnyomtatás esetében 7 alapszínes nyomtatási technológiát alkalmaztunk ITP 60 klisé felhasználásával. Az oldószeres technológia esetén 200 m/perc, míg az UV technológia esetén 120 m/perc volt a nyomtatási sebesség. Az alkalmazott festékek oldószeres technológia esetén Doneck Pronat, UV esetén Flint Ancora B50 és a JKM Pronat fehér NLM voltak, melyek mindegyike alacsony migrációs tulajdonsággal bír.

Az oldószeres nyomtatás esetében a 27. ábrán látható aniloxot alkalmaztuk, a szín sorrendet és az anilox paramétereket, valamint a felhasznált kliséragasztó típusát a 4. táblázat mutatja.



27. ábra: Anilox henger

4. táblázat: Nyomóműkiosztás és nyomtatási paraméterek I.

Nyomómű	Szín	Anilox paraméterei (l/cm / cm ³)	Klisé ragasztó
1	Viola	440/3,8	tesa 72122
2	Sárga	440/3,8	tesa 72122
3	Magenta	440/3,8	tesa 72122
4	Narancs	440/3,8	tesa 72122
5	Cián	440/3,8	tesa 72122
6	Fekete	440/3,8	tesa 72122
7	Zöld	440/3,8	tesa 72122
8	Fehér	160/14	tesa 72126

Az UV technológia esetében a 28. ábrán látható Apex GTT kerámiahengereket alkalmaztunk a 5. táblázatban feltüntetett paraméterek és színsorrend mellett:



28. ábra: Kerámia henger

5. táblázat: Nyomóműkiosztás és nyomtatási paraméterek II.

Nyomómű	Szín	Anilox paraméterei (cm ³)	Klisé ragasztó
2	Cián	Revo 1, 4	tesa 73122
3	Magenta	Revo 1, 4	tesa 73122
4	Sárga	Revo 1, 4	tesa 73122
5	Fekete	Revo 2, 5	tesa 73122
6	Narancs	Revo 2, 5	tesa 73122
7	Viola	Revo 2, 5	tesa 73122
8	Zöld	Revo 2, 5	tesa 73122
9	Fehér	L, 8 cm ³	tesa 73124

A nyomtatott tesztábrák szintereinek kiméréséhez az X-Rite i1iO 2 mérőberendezést alkalmaztuk. A mérési eredményeket és paramétereket az 6. táblázat mutatja. Pirossal az UV technológiát, késsel az oldószeres technológiát jelöltem. A direkt, azaz az előoldali nyomtatás esetében narancs, míg a tükör, azaz hátoldali nyomtatás esetében zöld színezést alkalmaztam. A kapott értékek esetében citromsárgával kerültek jelölésre a tükörnyomtatás, lilával a direkt nyomtatás maximális szinterei.

Egy szintérteszt során nagyságrendileg jellemzően 1000-4000 különböző mérőmezőt tartalmazó ábrát nyomtatunk ki a 4-7 alapszín %-os kombinációiból. A szintérábra mérőmezőinek Lab értékeit spektrofotométerrel mérjük ki. A kimért Lab hármasok, mint térbeli pontok a Lab színrendszer koordinátarendszerében meghatároznak egy testet. Ez a test az adott nyomtatás megjeleníthető szintartományát reprezentálja. E test térfogata az adott szintérteszt nyomtatás geometriai értelemben vett szintér térfogata, melynek mértékegysége az Lab hármas alapján Lab-egységkőb.

Megvizsgáltuk a két technológia közötti átjárhatóságot direkt és tükörnyomtatás területén egyaránt. Az élelmiszer-csomagolóiparban jelenleg a munkák döntő többsége tükör nyomtatással készül, de az egyneműsítésre való törekvés miatt nagy jelentősége van a direktnyomtatásoknak is. Ezért tartottuk fontosnak az erre vonatkozó vizsgálatok elvégzését. Vizsgálatainkat a tükör nyomtatás maximális szintereinek meghatározásával kezdtük.

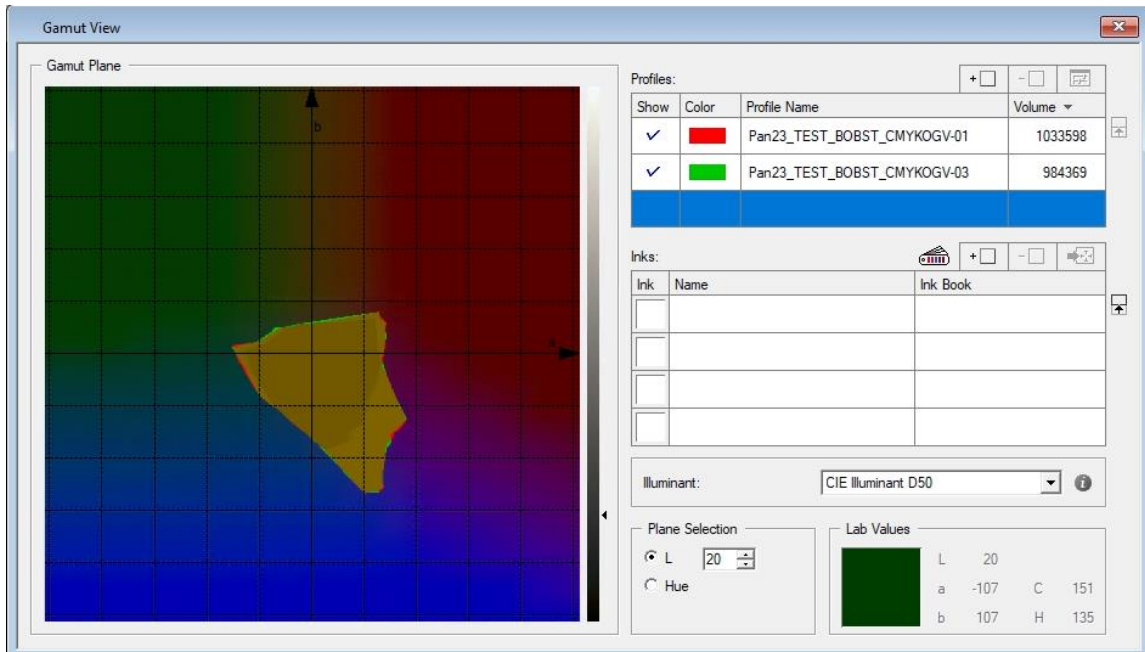
A szinterek volumetrikus összevethetőségéhez, továbbá a szintértestek térfogatából történő következtetésekhez fontos tényező és előfeltétel, hogy a vizsgált szintestpárookra (mint a szintestek mérési pontjainak halmazaira) részhalmoz jellegű reláció áll fenn. Szoftveres támogatás hiányában vizuális ellenőrzéssel győződhetünk meg arról, hogy egyes esetekben, az összevetett szintértestek metszetén kívüli testtérfogat minimális, elhanyagolható a teljes térfogathoz képest.

6. táblázat: UV és oldószeres technológia szintereinek vizsgálati paramétereit

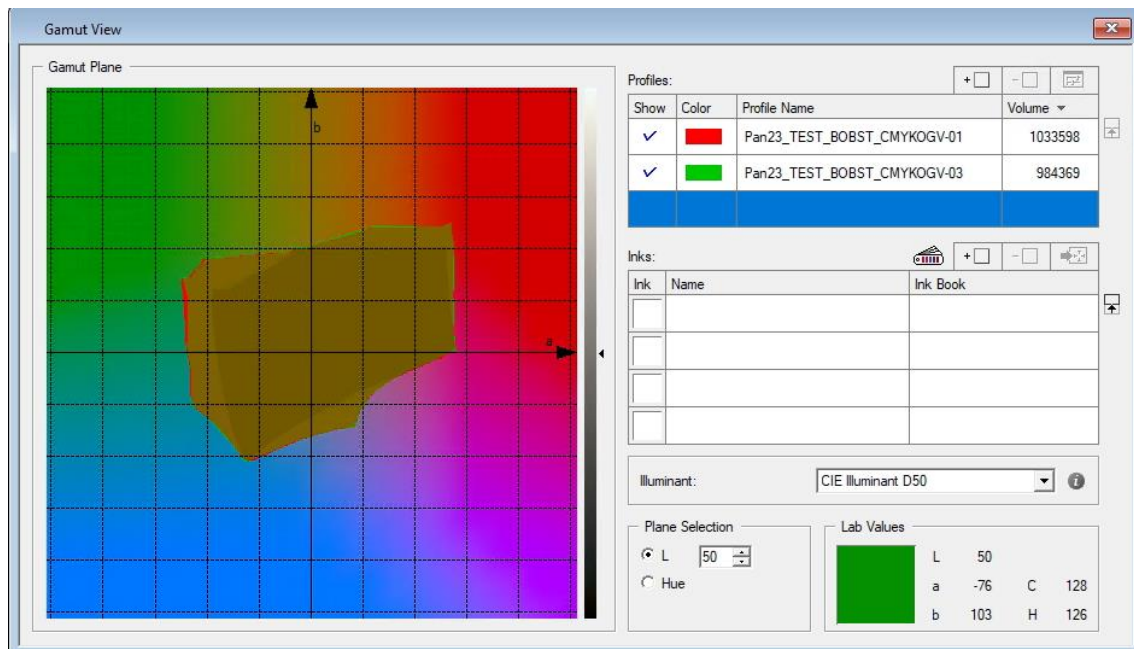
UV - Oldószeres technológia					
Minta Jelölés	Technológia	Nyomatási oldal	Fehér nyomtatás	Lakk nyomtatás	Szintér térfogat
1	UV	Tükör	Sleeve	0	1033598
2	UV	Tükör	ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér	0	983382
3	UV	Tükör	ACT-D klisén square rács fehér	0	984369
4	UV	Direkt	ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér	ACT-D típusú speciális „I” mintázatú lakkforma	1007579
5	UV	Direkt	ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér	ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk	1001328
6	UV	Direkt	ACT-D klisén square rács fehér	ACT-D típusú speciális „I” mintázatú lakkforma	1067363
7	UV	Direkt	ACT-D klisén square rács fehér	ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk	1023673
8	UV	Direkt	Sleeve	ACT-D típusú speciális „I” mintázatú lakkforma	1027023
9	UV	Direkt	Sleeve	ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk	1087545
10	UV	Direkt	ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér	0	1116529
11	UV	Direkt	ACT-D klisén square rács fehér	0	1017390
12	UV	Direkt	Sleeve	0	1000560
13	Oldószeres	Tükör 1	Sleeve	0	970139
14	Oldószeres	Tükör 2	Sleeve	0	997140
15	Oldószeres	Direkt	Sleeve	sleeve	1004039
16	Oldószeres	Direkt	Sleeve	0	821829

Az eredmények elemzése során a - mindkét szintér esetében 20-50-80 L értékek mentén rögzített - síkban készített képek egymásra helyezéssel jól megfigyelhetővé vált azok metszete és különbsége egyaránt. (29.-31. ábra). UV technológia esetében a maximális szintér 1033598, amit gumi sleeve-es fehér nyomtatás alkalmazása mellett értünk el.

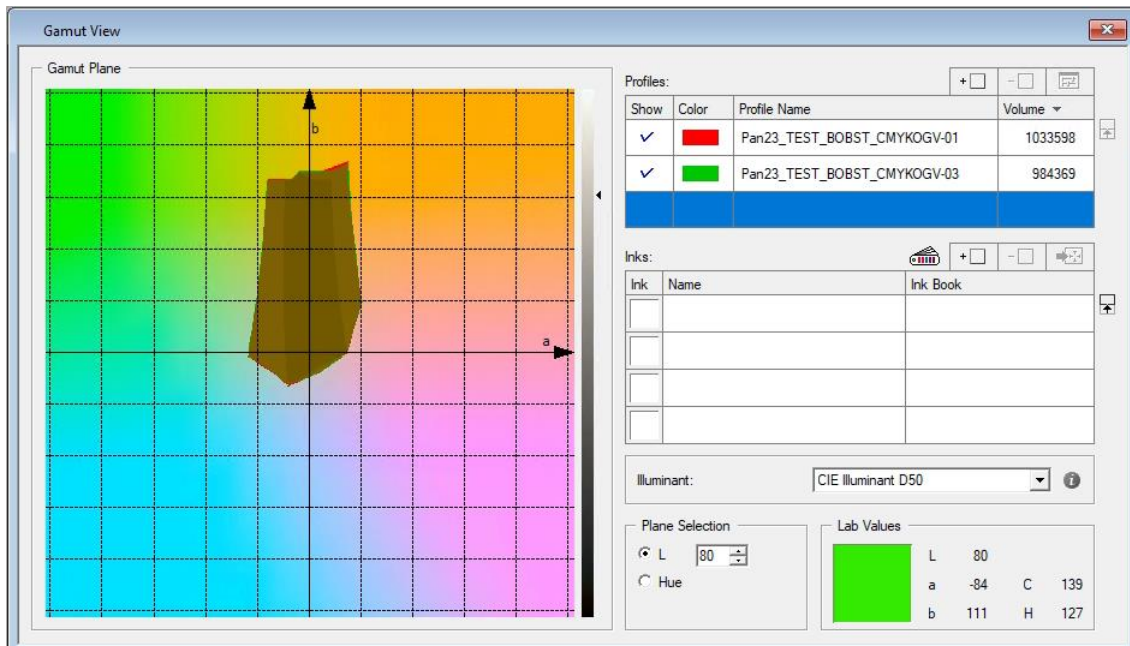
Amennyiben a fehéret klisével nyomtatjuk, úgy az elérhető maximális szintér tükörnyomtatással 984369, amit ACT-D square rácsozatú fehér klisé alkalmazása mellett értük el. Ezek a vizsgálataink is igazolják, hogy mekkora jelentősége van a fehér háttér nyomtatásának. A két eltérő fehér nyomtatási technológia az elérhető nyomtatási szintérben 4,8 %-os változást okoz, mely a közepes L értékeknél éri el a maximumát.



29. ábra: Szintér metszeti síkja 20-as fényességi értéken 7 színes nyomtatással UV technológia felhasználása mellett tükörnyomtatás esetén 1. és 3. minta összehasonlításával

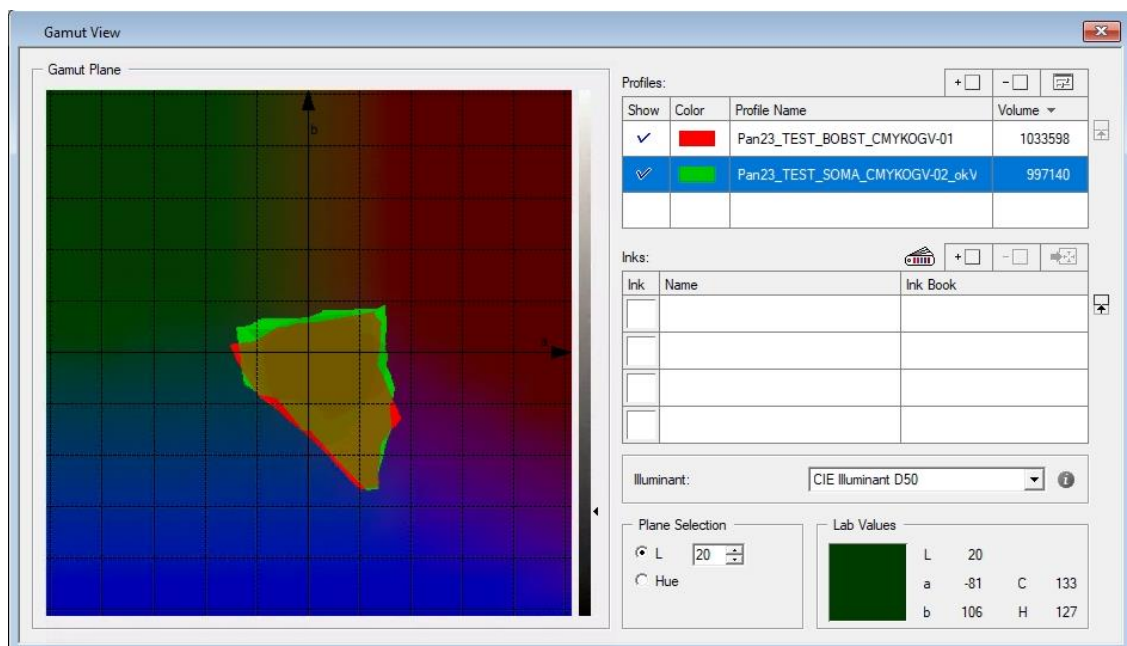


30. ábra: Szintér metszeti síkja 50-es fényességi értéken 7 színes nyomtatással UV technológia felhasználása mellett tükörnyomtatás esetén 1. és 3. minta összehasonlításával

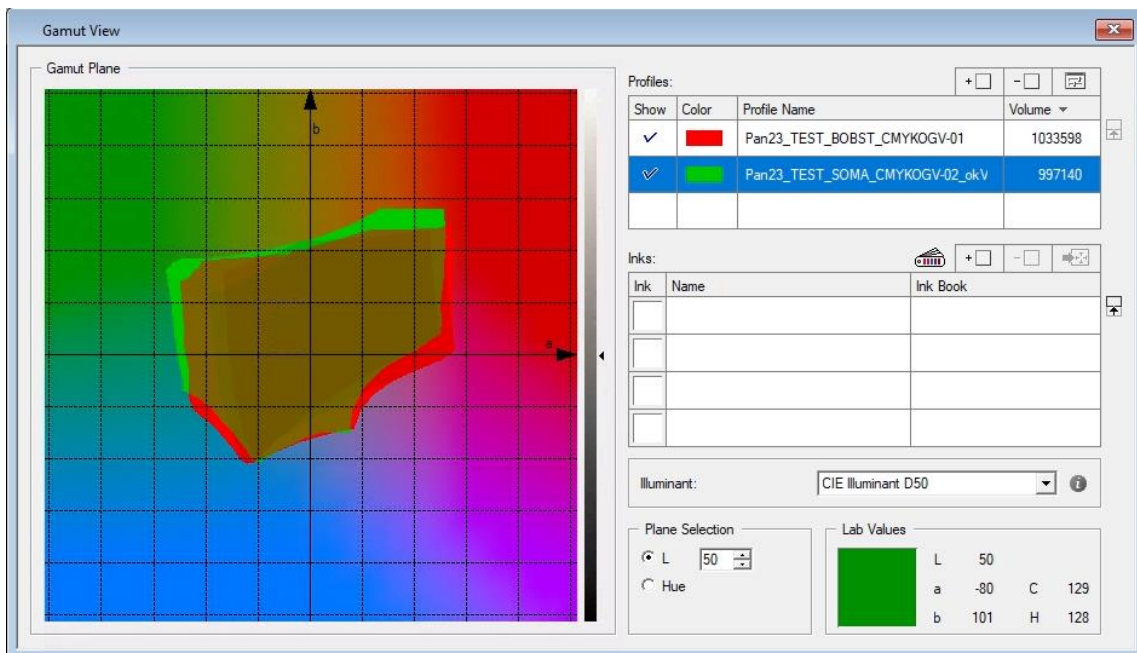


31. ábra: Színtér metszeti síkja 80-as fényességi értéken 7 színes nyomtatással UV technológia felhasználása mellett tükörnyomtatás esetén 1. és 3. minta összehasonlításával

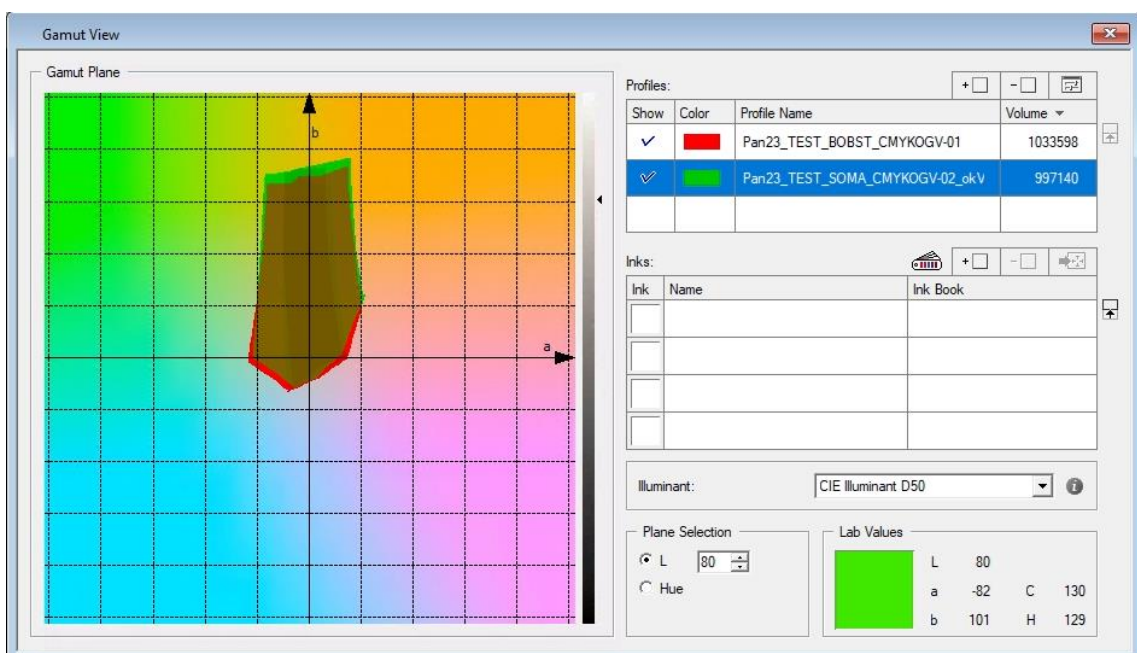
A 7 színes nyomtatással oldószeres technológia felhasználása mellett tükörnyomtatás esetén 997140, ezt összehasonlítva az UV technológia maximális színterével, megállapítottuk, hogy mindössze 3,5 %-os eltéréssel a két technológia átjárhatóvá tehető.



32. ábra: Színterek metszeti síkja 20-as fényességi értéken tükörnyomtatás esetén UV 1-es minta és oldószeres 14-es minta összehasonlításával



33. ábra: Színtér metszeti síkja 50-es fényességi értéken tükörnyomtatás esetén UV 1-es minta és oldószeres 14-es minta összehasonlításával

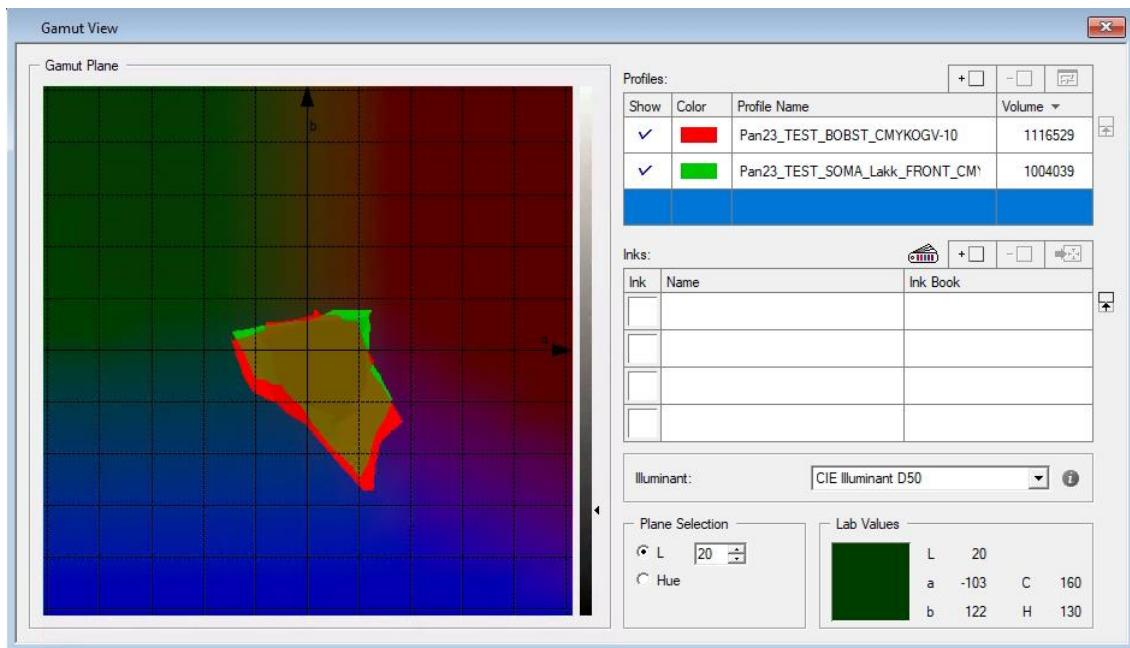


34. ábra: Színtér metszeti síkja 80-as fényességi értéken tükörnyomtatás esetén UV 1-es minta és oldószeres 14-es minta összehasonlításával

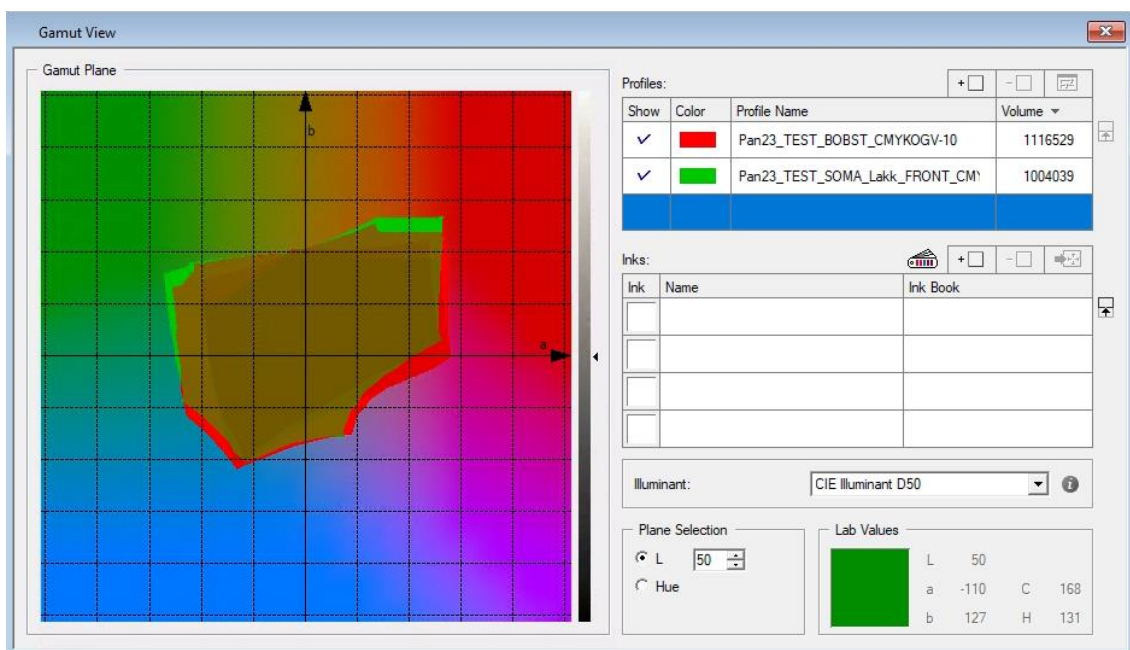
Méréseink alapján megállapítottuk, hogy a színterek közötti legnagyobb eltérések a közepes világossági tartományban találhatóak. Az oldószeres technológia esetén a zöldes színtartományokban nagyobb színtérrel rendelkezünk. Az UV rendszer esetén a cián és a viola tartomány bizonyult nagyobboknak (32.-34. ábra).

Direkt nyomtatás esetén UV technológiával maximális színteret lakkozás nélkül ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér klisével értük el 1116529. Oldószeres technológiában a maximális színtér (1004039) eléréséhez szükségünk volt egy fényes lakk alkalmazására. A fényes lakkot és a fehéret is, ebben az esetben gumi sleeve

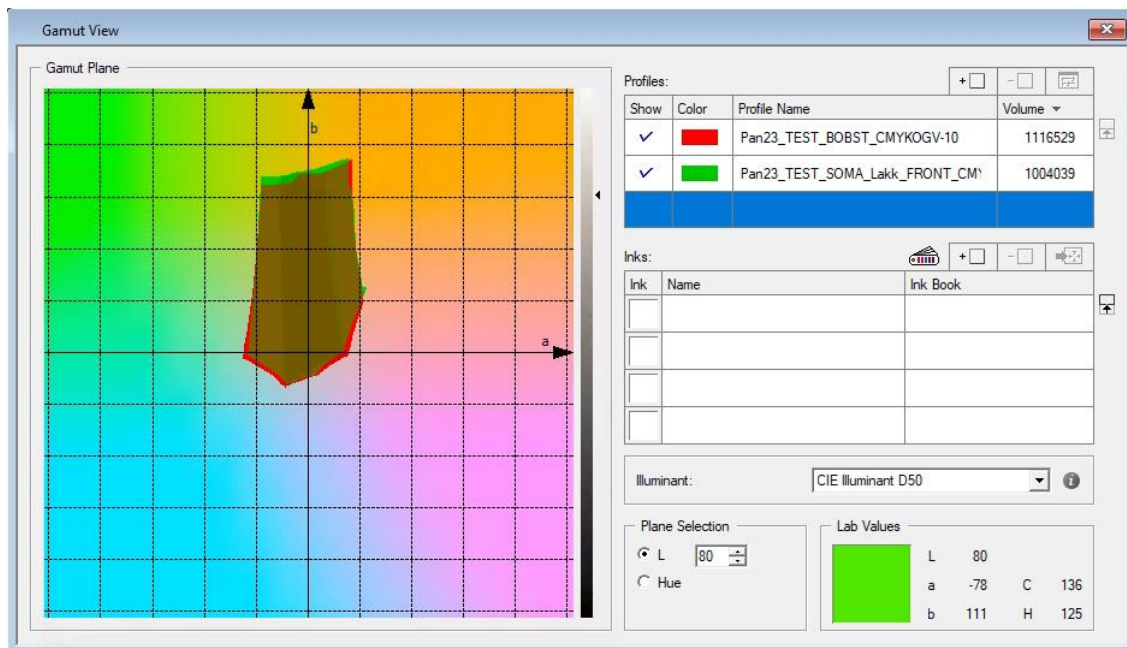
segítségével juttattuk a felületre. Az így elért színtér metszeti síkokat az 35.-37. ábrák mutatják.



35. ábra: Színtér metszeti síkja 20-as fényességi értéken direkt nyomtatás esetén UV 10-es és oldószeres 15-ös minta összehasonlításával



36. ábra: Színtér metszeti síkja 50-es fényességi értéken direkt nyomtatás esetén UV 10-es és oldószeres 15-ös minta összehasonlításával



37. ábra: Színtér metszeti síkja 80-as fényességi értéken direkt nyomtatás esetén UV 10-es és oldószeres 15-ös minta összehasonlításával

Az így elért két színtér 10 %-ban tér el egymástól. A sötét és közepes világossági tartományban jelentősebb eltérést tapasztaltunk. Az oldószeres technológia a zölde és magentás árnyalatok esetén, míg az UV technológia a cián és violás tartományban biztosított nagyobb színteret.

4.3. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe

UV-flexo nyomtatási technológiával jellemzően nagyobb színtér érhető el az oldószeres nyomtatáshoz viszonyítva, mind CMYK, mind heptakróm alapszínekkel. Poliészter tükörnyomtatást vizsgálva méréseimmel bizonyítom, hogy megfelelően kiválasztott, újfajta kliséfelületi mintázatokkal és festékekkel lehetséges az oldószeres nyomtatás 4 és 7 színes (CMYK és CMYKOGV) színtérének fokozása, UV-flexohoz való közelítése, ezáltal az átjárhatóság kiterjesztése a két nyomtatási technológia között. A kutatásaink alapján kijelentjük, hogy minimális megkötések mellett az általunk alkalmazott megoldási lehetőségekkel a két technológia átjárhatóvá tehető.

5. A kutatómunka eredményei II. rész

Elő és hátoldali nyomtatás színterének vizsgálata, összehasonlítása

5.1. Célkitűzés

A fenti kutatási célkitűzéshez kapcsolódóan megvizsgáltuk az elő- és hátoldali nyomtatás színterét, egy speciális fényeslakkot és egy új rácsmintázatú kliséet alkalmazva. A kutatás során alkalmazott paraméterekkel elkészítettük a tesztnyomatokat. Célunk, az általunk megalkotott lakk és az annak felvitelét lehetővé tevő klisé alkalmazása mellett környezetkímélőbb, egyszerűbben és nagyobb százalékban újrahasznosítható termékek előállításának biztosítása. Ha a laminált duplex, triplex szerkezetről szeretnénk áttérni a monoszerkezetre, ezzel a megoldással mindezt megtehetjük olyan módon, hogy a nyomtatminőségben a fogyasztó számára észrevétlen, csupán minimális eltérések legyenek monofólia nyomtatása esetén.

5.2. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények

A tesztekhez nyomathordozóként 12 mikronos PET fóliát alkalmaztunk. A tesztnyomtatás során az oldószeres tesztek Soma Midiflex 2 nyomdagépen végeztük és az UV technológiás nyomtatásokat Bobst M6 nyomdagépen készítettük. Minden tesztnyomtatás esetében 7 alapszínes nyomtatási technológiát alkalmaztunk ITP 60 klisé felhasználásával. A 7 színes tesztnyomtatáshoz a korábban bemutatott (17 ábra) tesztábrát használtuk.

Az oldószeres technológia esetén 200 m/perc, míg az UV technológia esetén 120 m/perc volt a nyomtatási sebesség. Az alkalmazott festékek oldószeres technológia esetén Doneck Pronat, UV esetén Flint Ancora B50 és a JKM Pronat fehér NLM voltak, melyek mindegyike alacsony migrációs tulajdonsággal bír.

Az oldószeres nyomtatás esetében a szín sorrend és a kerámia henger paraméterek a 7. táblázatban láthatóak.

7. Táblázat: Nyomóműkiosztás és nyomtatási paraméterek III.

Nyomómű	Szín	Anilox paraméterei [l/cm / cm ³]	Klisé ragasztó
1	Viola	440/3,8	tesa 72122
2	Sárga	440/3,8	tesa 72122
3	Magenta	440/3,8	tesa 72122
4	Narancs	440/3,8	tesa 72122
5	Cián	440/3,8	tesa 72122
6	Fekete	440/3,8	tesa 72122
7	Zöld	440/3,8	tesa 72122
8	Fehér	160/14	tesa 72126

Az UV technológia esetében a szín sorrend és a kerámia henger paraméterek az alábbiak voltak (8. táblázat), ahol Apex GTT kerámiahengereket alkalmaztunk:

8. táblázat: Nyomóműkiosztás és nyomtatási paraméterek IV.

Nyomómű	Szín	Anilox paraméterei [cm ³]	Klisé ragasztó
2	Cián	Revo 1; 4	tesa 73122
3	Magenta	Revo 1; 4	tesa 73122
4	Sárga	Revo 1; 4	tesa 73122
5	Fekete	Revo 2; 5	tesa 73122
6	Narancs	Revo 2; 5	tesa 73122
7	Viola	Revo 2; 5	tesa 73122
8	Zöld	Revo 2; 5	tesa 73122
9	Fehér	L, 8 cm ³ /m	tesa 73124

A nyomtatott tesztábrák szintereinek kiméréséhez a X-Rite i1iO 2 mérőberendezést alkalmaztuk. A mérési eredményeket és paramétereket az 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: Tükör és direkt nyomtatás vizsgálati paraméterei

Tükör -Direkt					
Minta Jelölés	Nyomdagép	Nyomtatási oldal	Fehér nyomtatás	Lakk nyomtatás	Szintér térfogat
1	Bobst	Tükör	Sleeve	0	1033598
3	Bobst	Tükör	ACT-D klisén square rács fehér	0	984369
9	Bobst	Direkt	Sleeve	ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk	1087545
10	Bobst	Direkt	ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér	0	1116529
14	Soma	Tükör 2	Sleeve	0	997140
15	Soma	Direkt	Sleeve	sleeve	1004039

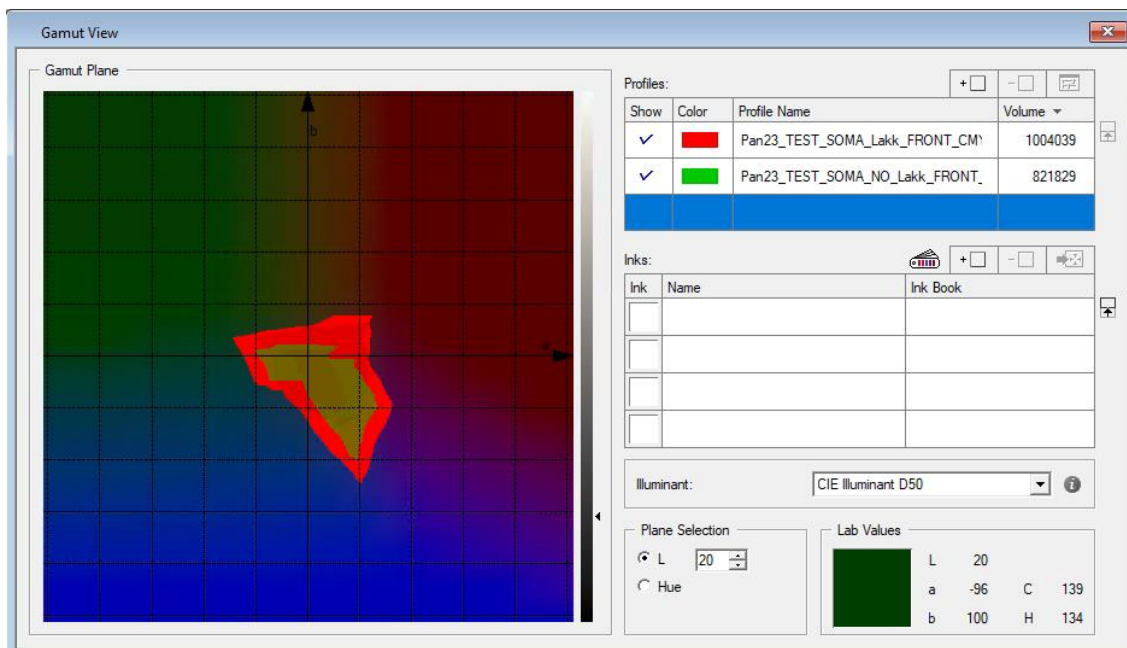
Méréseink során meghatároztuk az egyes nyomtatási technológiák és paraméterek mellett az elérhető maximális szintér térfogatokat. Ezeket az értékeket az 8. táblázat utolsó oszlopa tartalmazza. Rózsaszínnel az UV technológiát, kékkel az oldószeres technológiát jelöltem. A direkt, azaz az előoldali nyomtatásnál narancs, míg a tükör, azaz hátoldali nyomtatás esetében zöld színezést alkalmaztam. A kapott értékek esetében citromsárgával kerültek jelölésre a tükörnyomtatás, lilával a direkt nyomtatás maximális szinterei.

Oldószeres technológia esetében a megfelelően kiválasztott mikrocellás klisék és lakk alkalmazásával a tükör és a direkt nyomtatás szintere közötti különbséget 1 % alá tudtuk

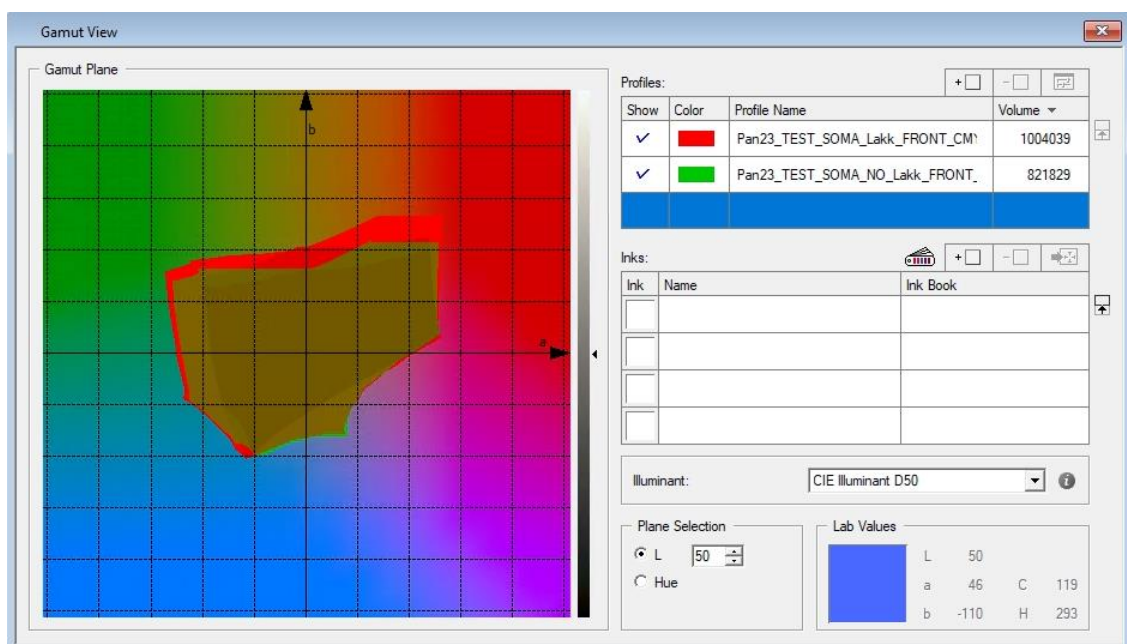
csökkenteni. Ebben az esetben direkt nyomtatás esetén a színtér térfogata 1004039 míg a tükörnyomtatás esetében 997140.

Direkt nyomtatás esetén lakk nélkül a színtér térfogat speciális mikrocellás klisé alkalmazása mellett is csak 821829 volt. Ebből is láthatjuk, hogy mennyire hasznos lehet egy fényes lakk alkalmazása a termékek színeinek dinamikusabbá tétele szempontjából. Emellett a lakk a festékrétegnek fizikai védelmet is nyújt. Az oldószeres direktnyomtatás esetében fényes lakk használata mellett 18 %-os színtérnövekedést értünk el.

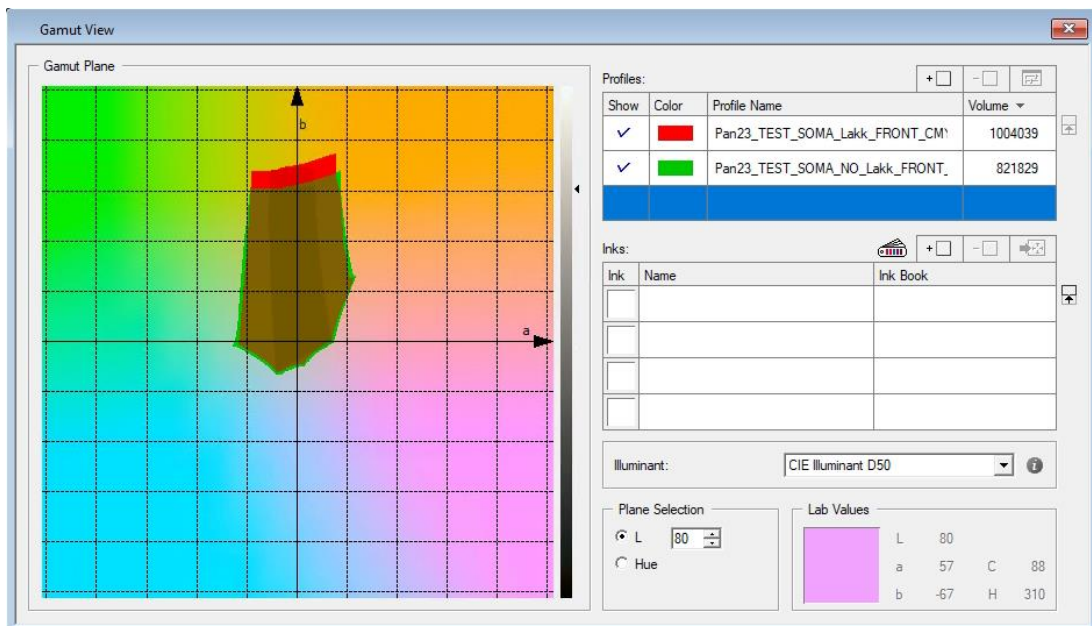
A színterek 20-50-80-as L értékek mentén hasított síkjainak metszetét a 38.-40. ábra mutatja.



38. ábra: Színtér maximális térfogatainak metszeti síkja 20-as fényességi értéken oldószeres nyomtatás mellett



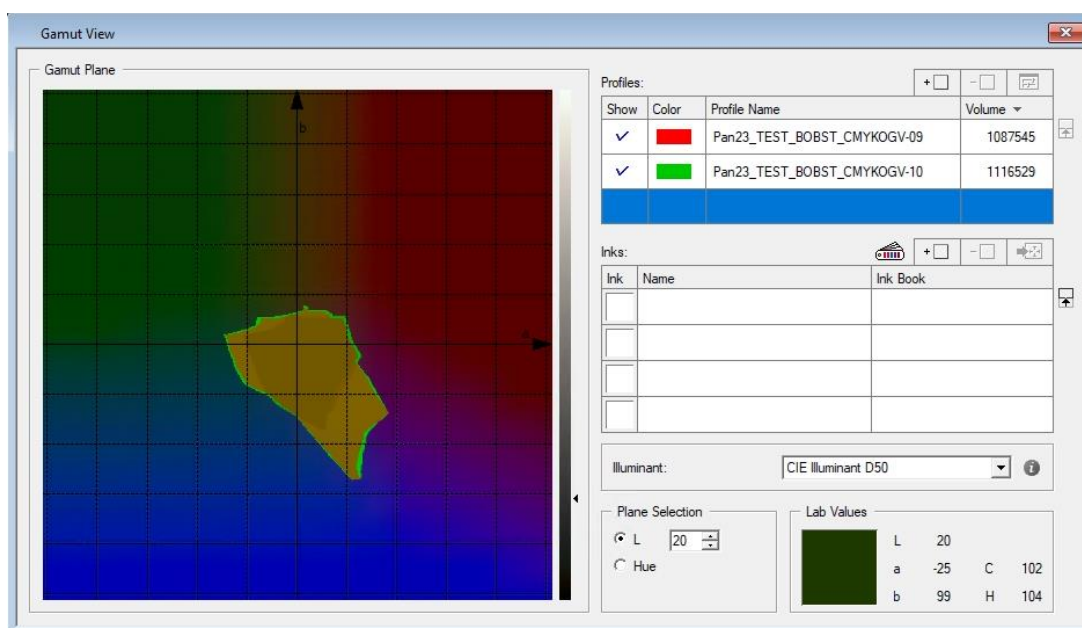
39. ábra: Színtér maximális térfogatainak metszeti síkja 50-es fényességi értéken oldószeres nyomtatás mellett



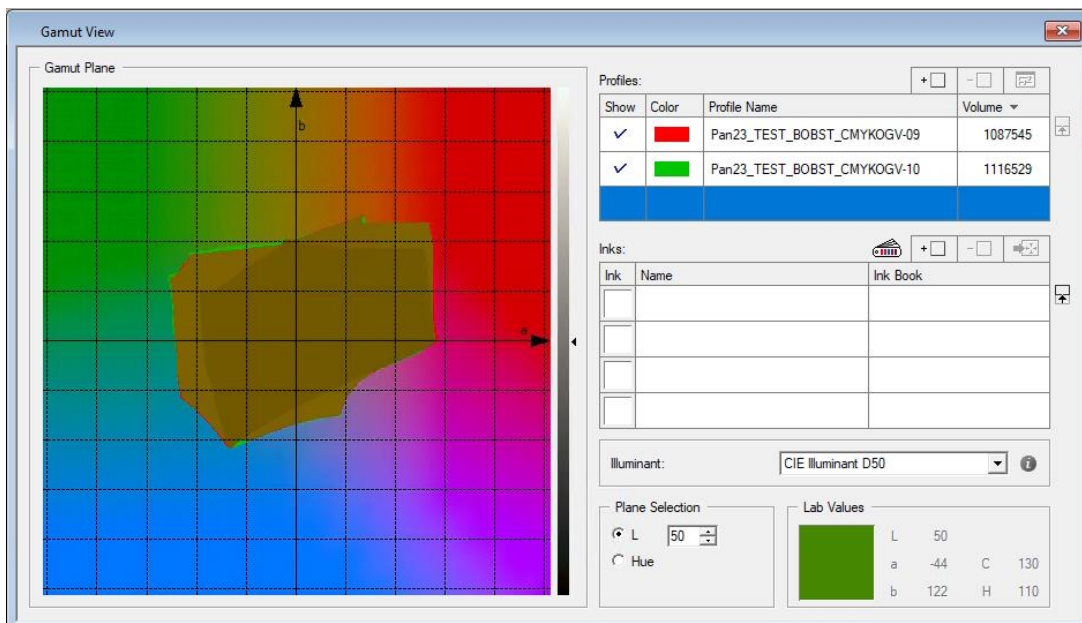
40. ábra: Színtér maximális térfogatainak metszeti síkja 80-as L értéken oldószeres nyomtatás mellett

A 3 színtér metszetről láthatjuk, hogy a legnagyobb eltérés a 20-as L értéknél tapasztalható. Ebből arra következtetünk, hogy a legnagyobb növekedést a sötét színek esetében érhetjük el.

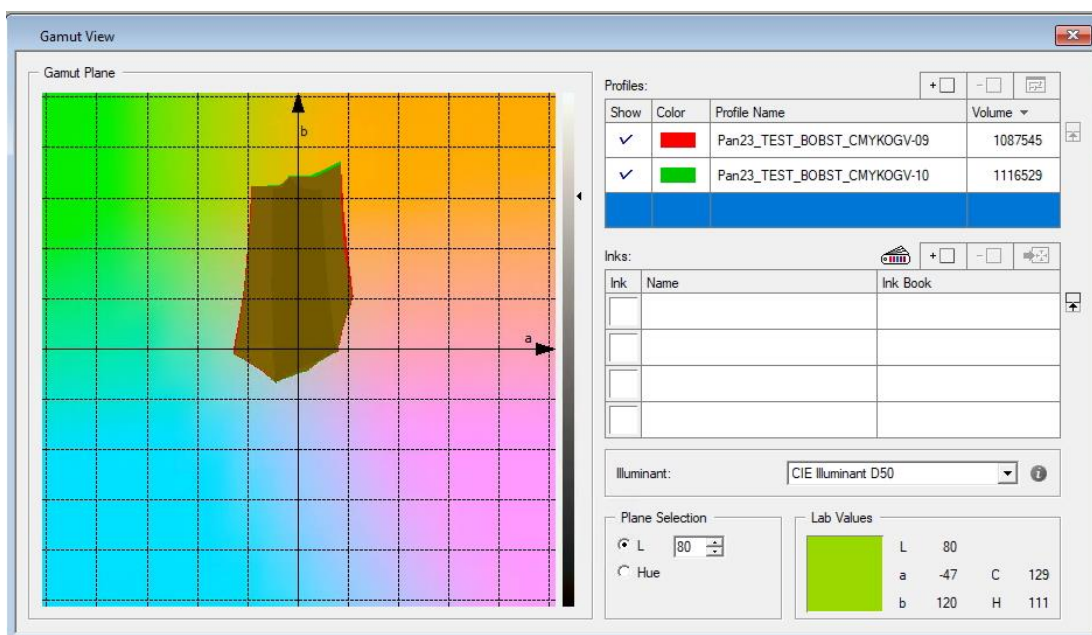
UV technológia esetén fehér nyomtatásra három féle megoldást választottunk: végtelen gumi sleeve, ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér klisé és ACT-D kliséen square rács. Lakk nyomtatáshoz két féle klisé alkalmaztunk: ACT-D típusú speciális „I” mintázatú lakkforma, ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk klisé. Direkt nyomtatás esetén a legnagyobb színteret az ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér alkalmazásával értük el lakkozás nélkül. Az így kapott színtér térfogata 1116529 volt. Lakkozott felület esetén a gumisleeve-es fehér és ITP-60-ra standard mikrocellázott lakk klisé alkalmazása mellett értük el a legnagyobb színtér térfogatot, mely a 1087545 értéket mutatta.



41. ábra: Színtér maximális térfogatainak metszeti síkja 20-as fényességi értéken UV technológia mellett



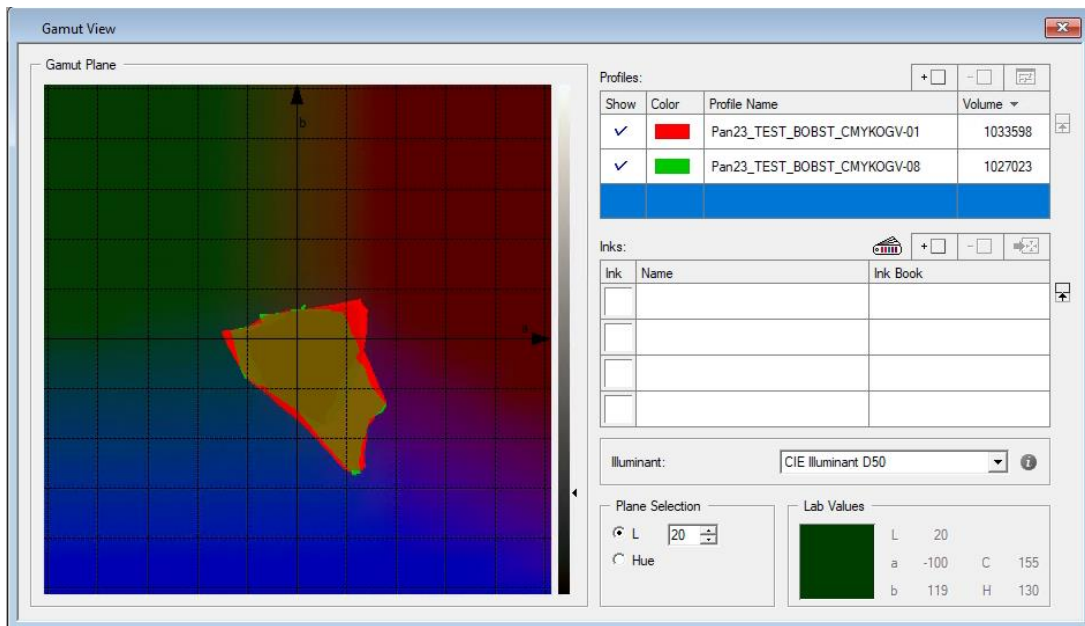
42. ábra: Színtér maximális térfogatának metszeti síkja 50-es fényességi értéken UV technológia mellett



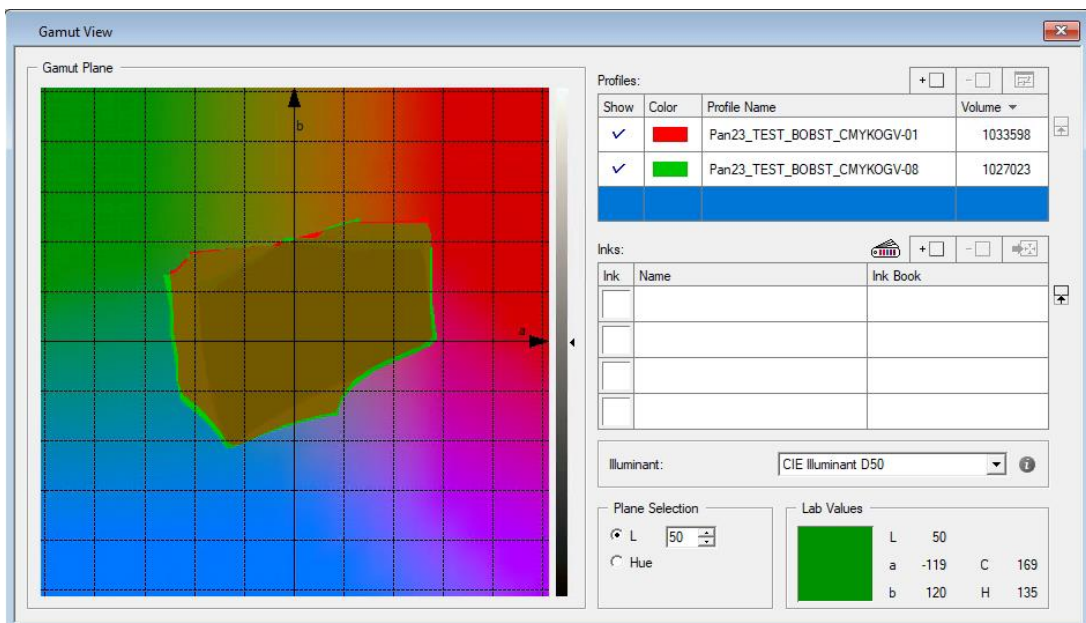
43. ábra: Színtér maximális térfogatának metszeti síkja 80-as fényességi értéken UV technológia mellett

A sötétebb színárnyalatok esetében a lakkozott felület eredményezett nagyobb színteret. A közepes árnyalatok esetében már a lakkozatlan felület mutatott magasabb értékeket, különösen a zöld színek esetén. Az UV technológiával készült nyomtatminták lakkozott és nem lakkozott színtér térfogatai között mért eltérés 2,6 % volt (41.-43. ábra).

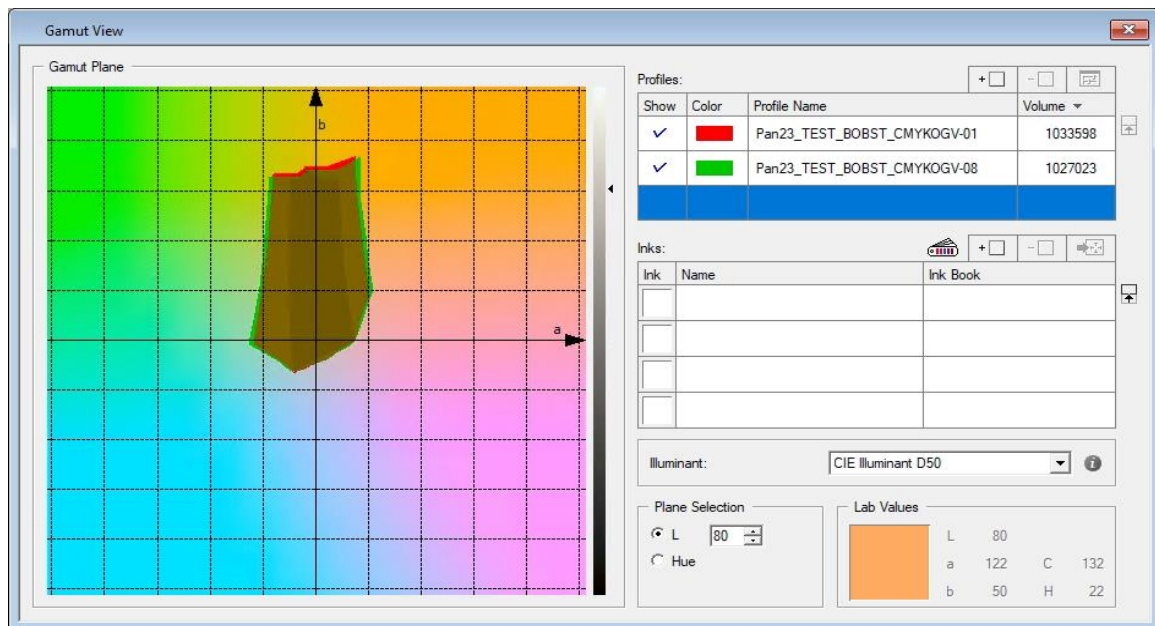
UV tükörnyomtatás esetén a legnagyobb színteret a végtelen gumissleev-es nyomtatással értük el, melynek értéke 1033598, ehhez a színtér térfogati értékhez a legközelebbi eredményt a ACT-D típusú speciális „I” mintázatú lakkformával és végtelen gumissleev-es fehér nyomtatással produkáltuk 1027023 értékekkel. Ezen színtér metszeteit a 44-46. ábrák mutatják.



44. ábra: Szintér maximális térfogatának metszeti síkja 20-as fényességi értéken



45. ábra: Szintér maximális térfogatának metszeti síkja 50-es fényességi értéken



46. ábra: Színtér maximális térfogatának metszeti síkja 80-as fényességi értéken

Az UV tükör és direkt nyomtatás színtér térfogat közötti eltérés 8 % volt, tehát 10% alá tudtuk csökkenteni.

5.3. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe

Kutatásaink eredményeinek felhasználásával az alkalmazott nyomdagépeken bizonyos feltételek mellett átjárhatóvá tettük az oldószeres és UV flexo nyomtatási technológiát, valamint biztosítottuk a direkt és a tükörnyomtatás közötti átjárhatóságot is.

6. A kutatómunka eredményei III. rész

A flexo festékek reológiai vizsgálata

6.1. Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények

A festékek viszkozitási értékének meghatározására a MYR V1-es típusú rotációs viszkozimétert használtuk. A rotációs viszkozimétert kombináltuk egy temperáló berendezéssel. (46. ábra) A temperáló berendezés típusa: VEB MLW PRÜFGERÄTEWERK MEDINGEN/SITZ FREITAL Typ: U15C A temperáló berendezés segítségével tudtuk beállítani a kívánt festék hőmérsékletet.



47. ábra: Rotációs viszkozimétert kombinálása egy temperáló berendezéssel

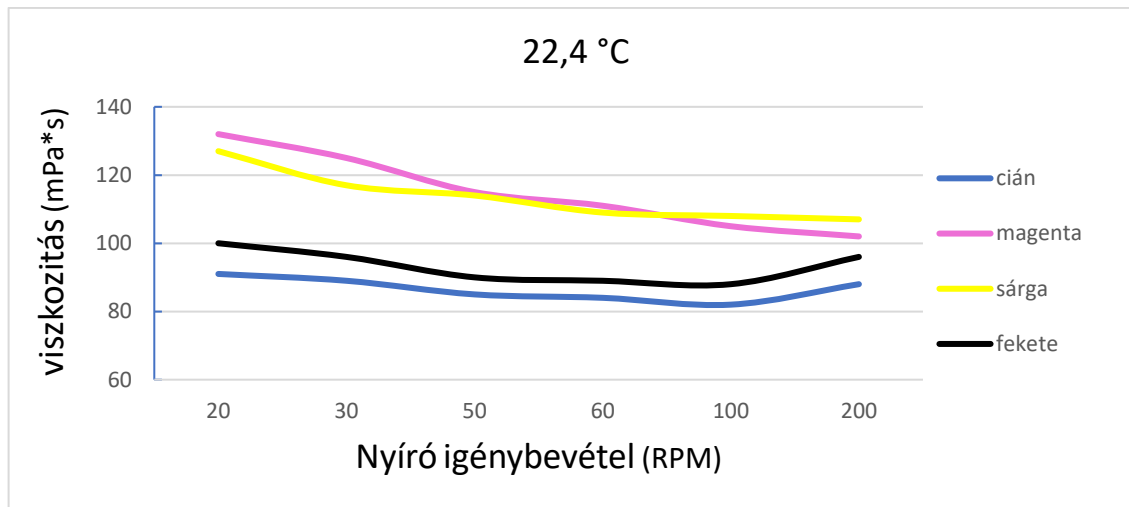
A kutatáshoz kapcsolódó mérések a JKM Pronat Kft-nél történtek, melyek során azonos nyíróigénybevétel mellett, változó hőmérsékleten rögzítettük a festékek viszkozitási paramétereit. A méréseket mind a négy alapszín (C, M, Y, K) esetében elvégeztük. A mérési adatokat és átlagolt eredményeket a 10. táblázat mutatja.

10. Táblázat: Viskozitási értékek hat hőmérséklet értéken növekvő nyíróigénybevétel mellett

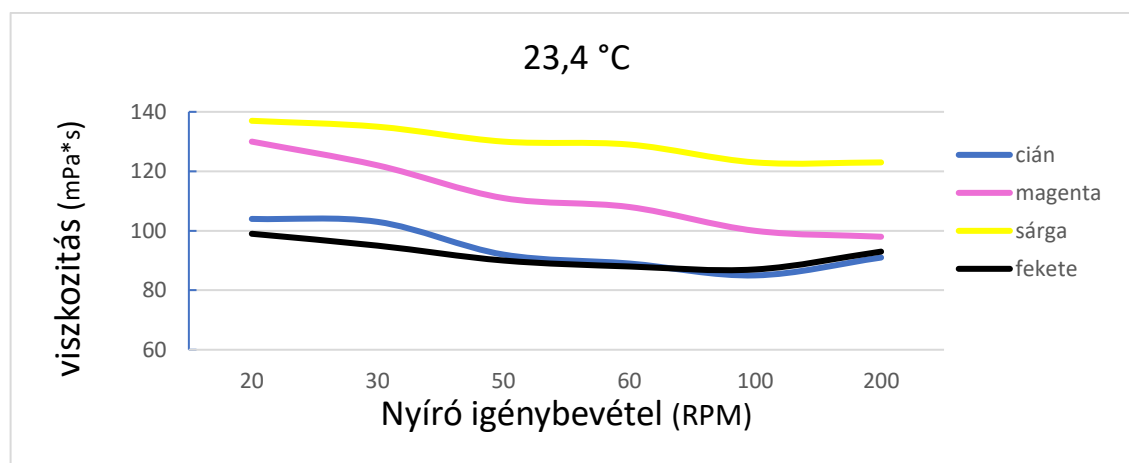
Hőmérséklet t °C	Nyíró igénybevétel (RPM) ¹						
	20	30	50	60	100	200	
	Viszkozitás (mPa*s)						
22,4	Cíán	91	89	85	84	82	88
23,4		104	103	92	89	85	91
24,4		100	98	93	89	85	88
25,4		91	83	80	79	76	81
26,4		87	81	78	76	74	79
27,4		83	77	74	72	71	77
22,4	Magenta	132	125	115	111	105	102
23,4		130	122	111	108	100	98
24,4		127	117	107	105	99	96
25,4		109	103	93	89	83	79
26,4		116	111	102	98	93	92
27,4		116	110	101	97	91	89
22,4	Sárga	127	117	114	109	130	135
23,4		137	145	130	129	123	123
24,4		126	121	114	114	110	112
25,4		127	122	114	111	106	108
26,4		120	112	106	105	102	104
27,4		116	110	103	102	98	101
22,4	Fekete	100	96	90	89	88	96
23,4		99	95	90	88	87	93
24,4		94	92	86	84	83	90
25,4		92	90	85	83	82	88
26,4		91	87	83	82	80	87
27,4		90	86	81	79	78	85

¹RPM (Runs Per Minute) jelentése: RPM (fordulat / perc)

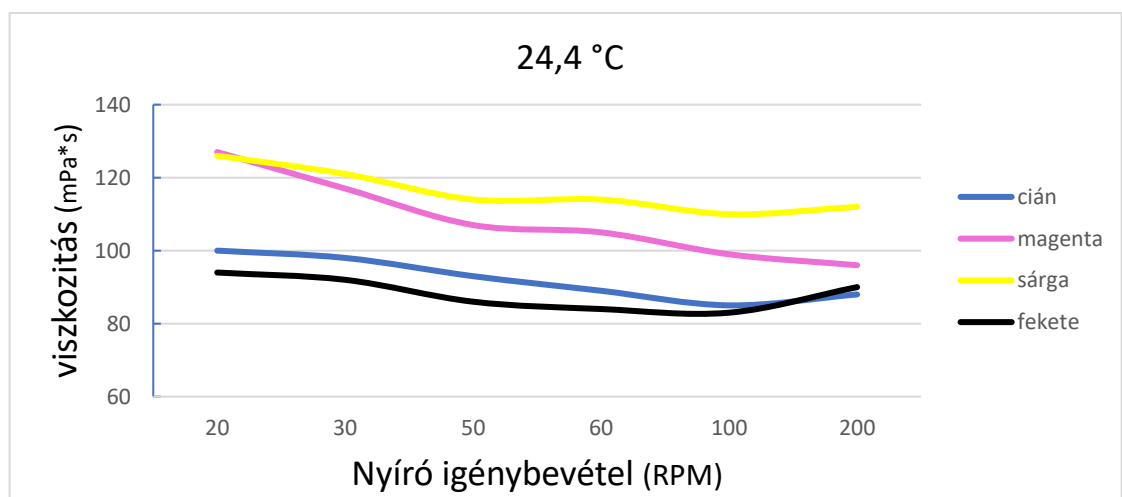
A 48-53. ábrán a 6 különböző hőmérsékleten mért viszkozitás értékeinek változása látható növekvő nyíróigénybevétel mellett, ahol a görbék színei jelölik az egyes festékek színét, a nyíróigénybevétel skála a mérőműszer által meghatározott mérési pontokat mutatja.



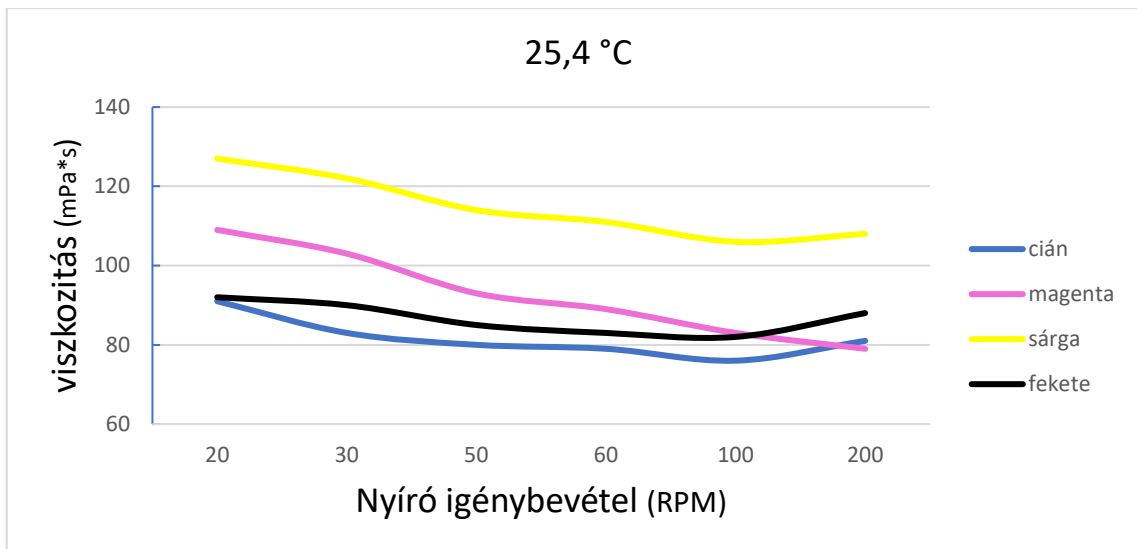
48. ábra: Viszkozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 22,4 °C-on végzett mérések alapján



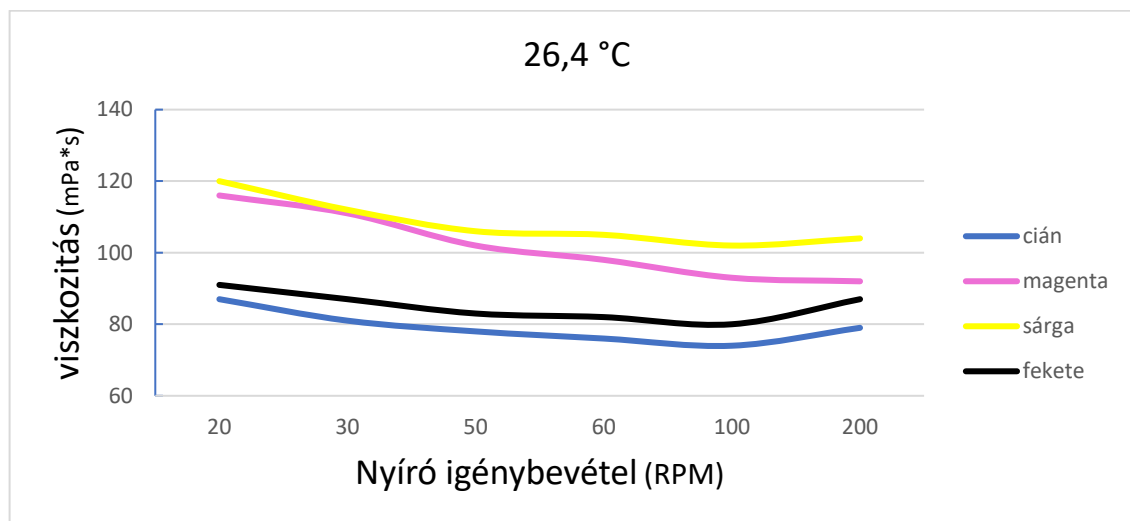
49. ábra: Viszkozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 23,4 °C-on végzett mérések alapján



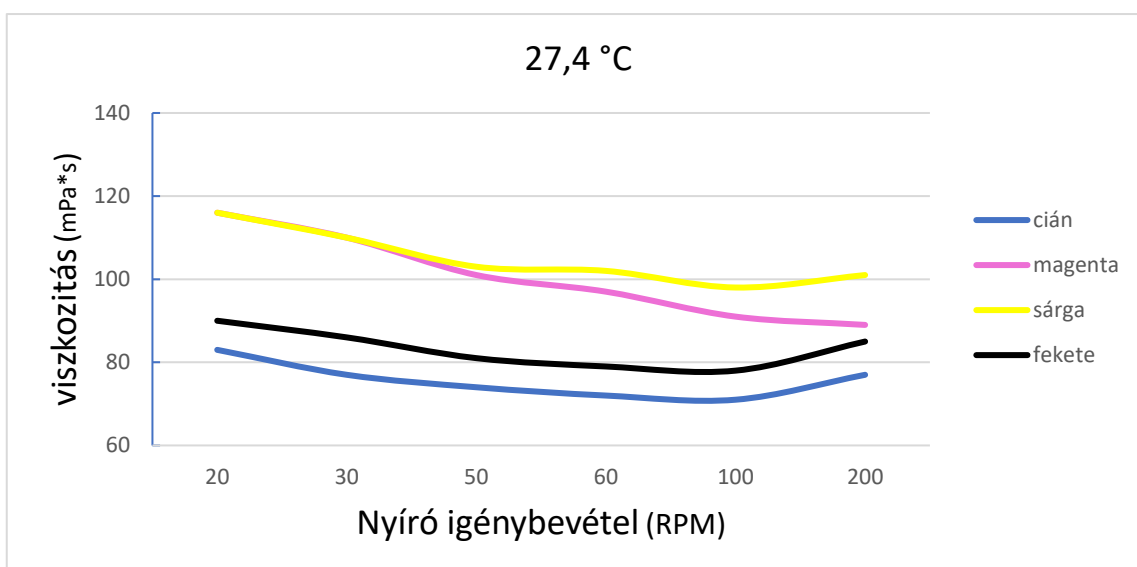
50. ábra: Viszkozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 24,4 °C-on végzett mérések alapján



51. ábra: Viskozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 25,4 °C-on végzett mérések alapján

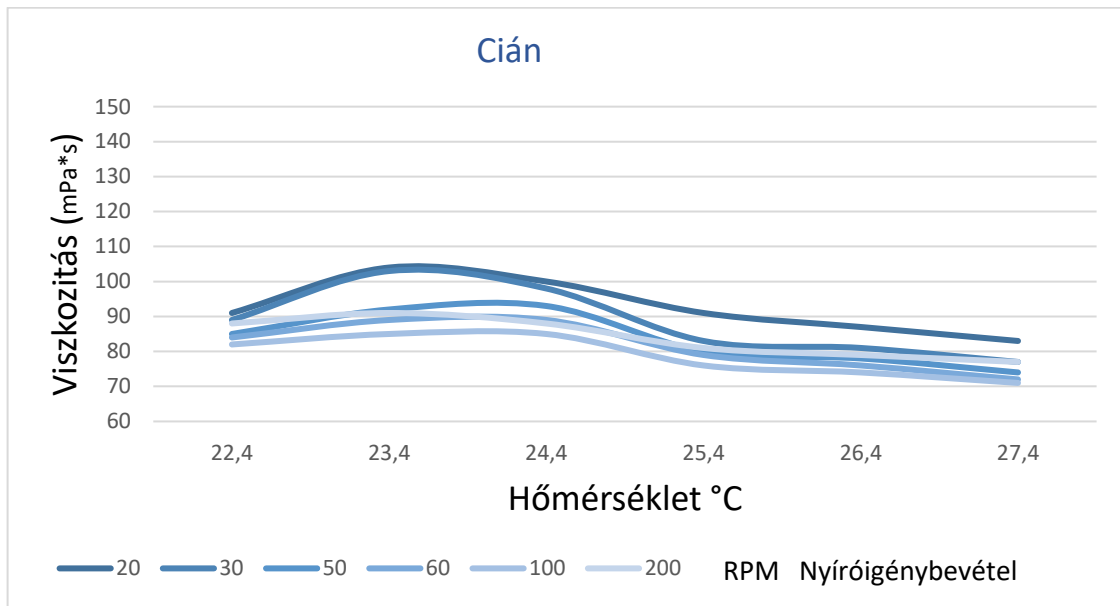


52. ábra: Viskozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 26,4 °C-on végzett mérések alapján



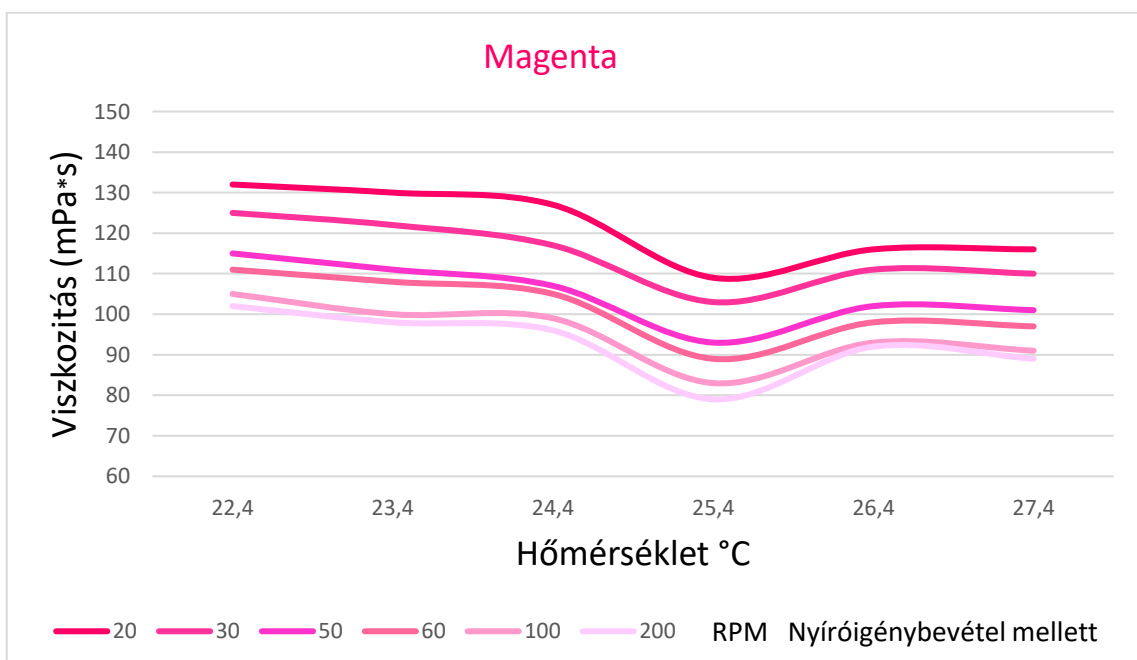
53. ábra: Viskozitás alakulása változó nyíróigénybevétel mellett, 27,4 °C-on végzett mérések alapján

A fenti diagramok alapján megállapítottuk, hogy a fekete és cián festékek esetében minden általunk vizsgált hőfokon 100 MPa*s-tól a nyíró igénybevétel növekedése a viszkozitás növekedését is okozza. A sárga szín is így viselkedik, de csak 23,4 °C-on és ennél melegebb hőmérsékleti tartományban. A sárga szín esetében 23,4 °C-nál alacsonyabb hőmérsékleten és a magenta a teljes általunk vizsgált hőmérsékleti tartományában, állandó hőmérséklet esetén a nyíróigénybevétel növelésével a viszkozitás csökkeni fog.



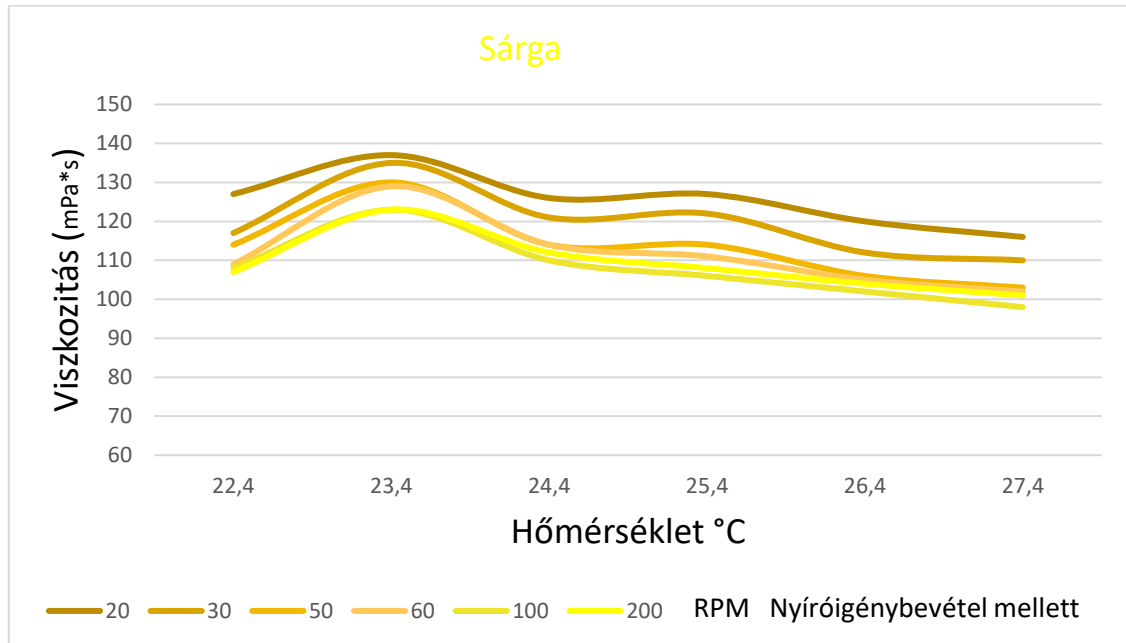
54. ábra: A cián festék viszkozitása a hőmérséklet növelésével adott nyíróigénybevétel mellett

Cián festék esetében 23,4 °C-on egy jelentős viszkozitás növekedést mértünk majd ezt követően folyamatos csökkenés következett a hőmérséklet növekedés hatására (54. ábra).



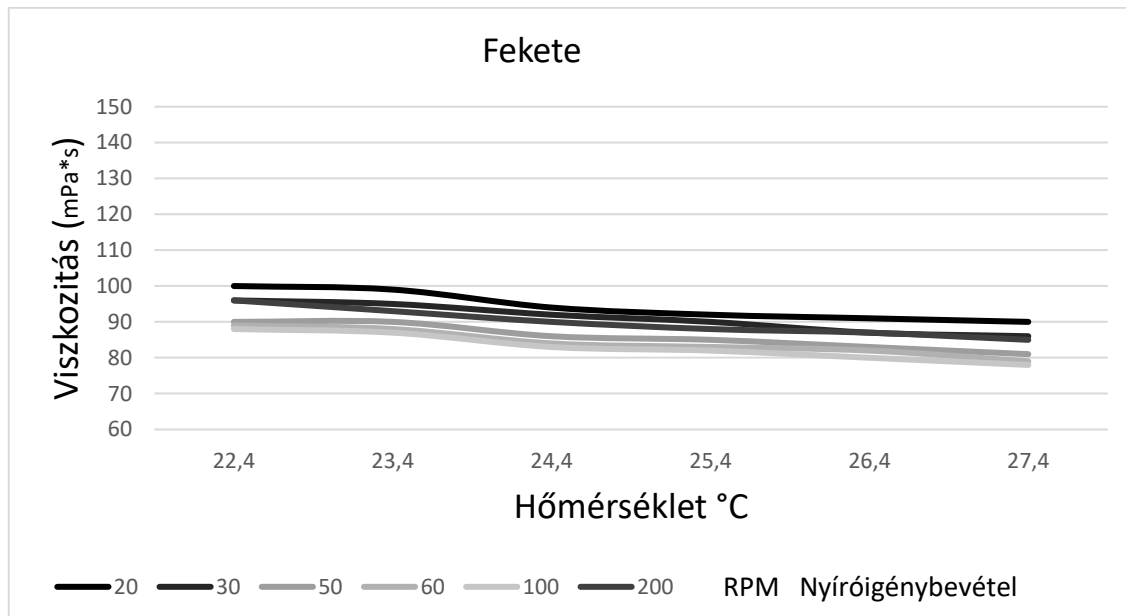
55. ábra: A magenta festék viszkozitása a hőmérséklet növelésével adott nyíróigénybevétel mellett

Magenta festék esetében 25,4 °C-on jelentős viszkozitás csökkenést mértünk majd ezt követően visszaállt az ideálisnak tekinthető tartományba (55. ábra).



56. ábra: A sárga festék viszkozitása a hőmérséklet növelésével adott nyíróigénybevétel mellett

Sárga festék esetében 23,4 °C-on jelentős viszkozitás növekedést mértünk majd ezt követően folyamatos csökkenés következett a hőmérséklet növekedés hatására (56. ábra).



57. Ábra: A fekete festék viszkozitása a hőmérséklet növelésével adott nyíróigénybevétel mellett

A fekete festékek esetében a hőmérséklet növekedése a viszkozitás csökkenését okozza (57. ábra).

6.2. Összegzés, a kutatás célja és hasznosítási területe

A festék viszkozitásának helyes beállítása a minőségi nyomtatás sarkalatos pontja. Egyes esetekben a beállításra, gyártás alatti korrekcióra kevés idő állhat rendelkezésre, továbbá a nyomdaüzemi hőmérséklet-tartomány határértékei közelében (pl. téli vagy nyári időjárás extrém hatásai miatt) a standard viszkozitásállítási módszerek hatékonysága jelentősen csökkenhet. Igazoltam, hogy új paraméterként, a nyíró igénybevétel változtatásával is lehetséges a viszkozitást állítani. Ehhez vizsgálatokkal meghatároztam a négy alapszínű oldószeres festék hőmérséklet és nyíró igénybevételi összefüggéseit nyomdaüzemi körülmények között, és mérési eredményekkel támasztottam alá a nyíró igénybevétel változásának a viszkozításra gyakorolt hatását különböző hőmérsékleteken.

A mérések alapján általánosan elmondható, hogy alacsonyabb nyírássebesség-tartományban a nyomdafestékek viszkozitása a nyírássebesség növelésével monoton csökkent, azonban a magasabb sebességtartományban változó mértékkel, de emelkedést mutatott.

Azokat a folyadékokat, melyek viszkozitása a nyírássebességgel növekszik, dilatáns rendszernek nevezzük. Ez a jelenség akkor fordulhat elő, ha a folyadék alkotórészei a nyírás hatására orientálódni tudnak, és az orientált részek között erős intermolekuláris kölcsönhatások tudnak kialakulni, megnehezítve az alkotórészek egymáshoz viszonyított elmozdulását. Ilyen folyadékok például a bentonit szuszpenziók, melyekben a lemezes szerkezetű ásvány szemcsék nyugalmi helyzetben véletlenszerűen helyezkednek el. Keverésre az orientálódott, egymáshoz párhuzamosan beálló lapok között erős elektrosztatikus vonzás alakul ki, nagyságrendekkel megnövelve a folyadék viszkozitását. A keményítő oldat dilatáns viselkedésének is hasonló a magyarázata. Az oldott, gombolyag alakú molekulák a nyírás növelésére fokozatosan, részlegesen kiegyenesednek, ekkor a molekulák összegabalyodásának csökkenése miatt a viszkozitás csökken. Amint a keményítőmolekulák nagyrészt teljesen kiegyenesednek, a párhuzamos molekulák hidroxicsoportjai között erős hidrogénhid-kötések alakulnak ki, ami jelentősen megnöveli a nyíróerőt.

Az oldószeres nyomdafestékek is nagymólsúlyú lineáris molekulákat, cellulóz-nitrátot tartalmaznak. Mivel a nyomdaipari cellulóz-nitrátok három hidroxicsoportja közül átlagosan csak kettő van nitrálva, a szabad hidroxicsoportok között szintén kialakulhatnak intramolekuláris hidrogénhid- illetve dipól-dipól másodlagos kémiai kötések, ami magyarázhatja a magasabb nyírássebességnél mért viszkozitásnövekedést. Mivel a kötőanyag egy része a pigmenthez van kötve, a pigment fajlagos felülete, típusa befolyásolhatja a jelenség erősségét, ezért eltérő a viszkozitás alakulása a különböző színű festékeknél.

7. A kutatómunka eredményei IV. rész

A fehér festék felhordási problémáinak vizsgálata

7.1. Célkitűzés

Nem véletlen, hogy a nyomtatminőség javításának egyik sarkalatos pontja a fehér festékek alkalmazási gyakorlatában rejlik, ugyanis a fehér szín nyomtatása során számos akadályba ütközhetünk.

Az első megjelenítési probléma a fehér festék fedőképessége, telítettsége, mert egy gyenge fedőképességű fehér alkalmazása mellett egy jó minőségű, szép nyomat is szürke-fátyolosnak tűnhet. Ha a fedőképesség nem megfelelő problémát okozhat a csomagolásban lévő különböző színű termékek megjelenése, áttűnése a csomagoló anyag grafikáján.

A nyomtathatóság alatt a száradási problémákat, lerakódási problémákat értjük, mely során - a festék gyors száradása miatt - a kis raszterpontok közötti rész betömődik száraz festékkel és ennek következtében nem kívánt nyomatképi elem alakul ki, mely a következő legördülésnél jelenik meg.

A TEV effektust a lelépő élnél keletkező festékfelhordásból adódó plusz vonalat jelenti, mely a kifutó képrészek nyomtathatóságakor jelentkező probléma. Szintén nagyon gyakori jelenség a FÁNK effektus, ami szintén nem ideális festékátadásból adódóan a kör alakú raszterpont helyett egy fánk alakú festékpontot jelenít meg a nyomaton.

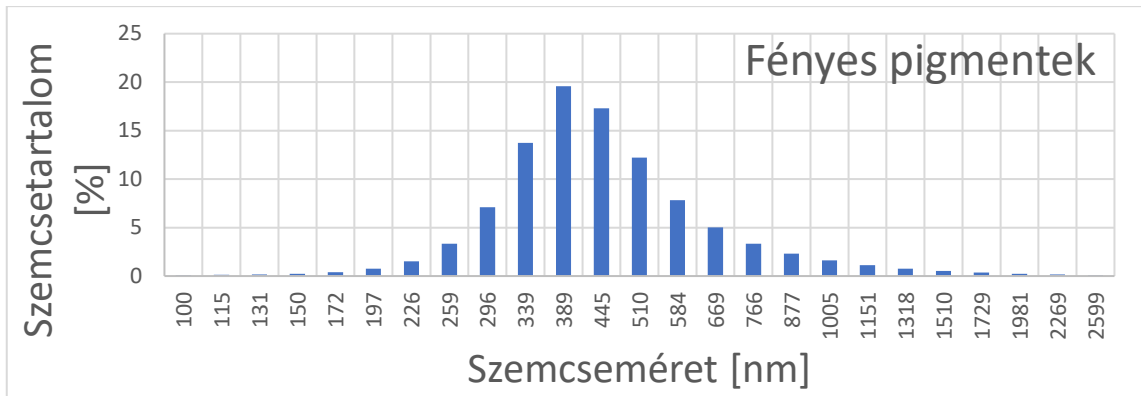
7.2 Vizsgálati eszközök, módszerek, eredmények

Ahhoz, hogy a felsorolt nehézségek kiküszöbölésére kísérletet tehesünk meg kell vizsgálnunk milyen tényezők befolyásolhatják a nyomat minőségét. A vizsgálatokhoz 3 féle festéktípust és 4 féle klisétípust alkalmaztunk, mely 12 féle tesztnyomatot eredményezett. Nyomathordozóként 12 mikronos PET fóliát alkalmaztunk.

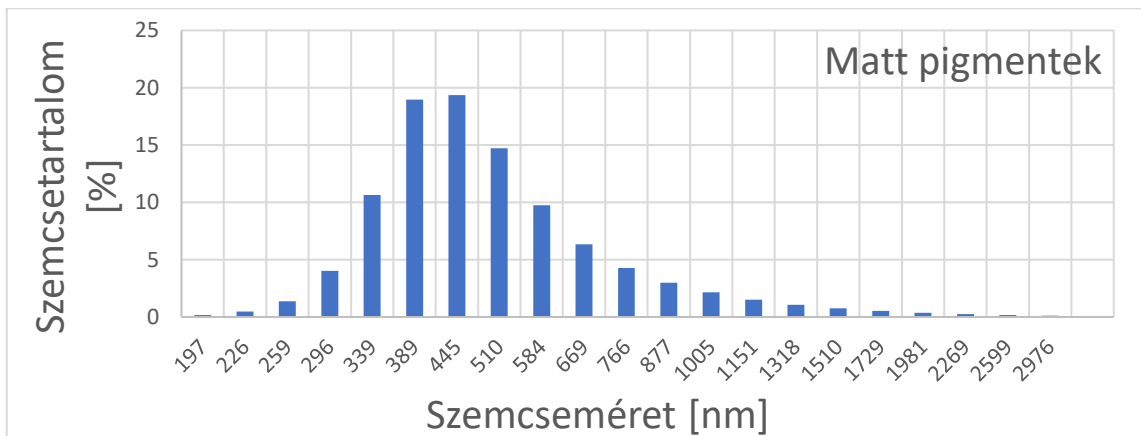
Nyomtatáshoz háromféle - különböző titán-dioxid pigmenteket tartalmazó -festéket használtunk:

- Teszt 1: 41,2% matt TiO₂, normál lassú száradású oldószerekből
- Teszt 2: 45,5% fényes TiO₂, normál lassú száradású oldószerekből
- Teszt 3: 3% matt és 42,3% fényes TiO₂, másfélszer lassúbb száradás

A TiO₂ pigmentek méreteloszlásának elemzését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen a Horiba Partica LA-950V2 berendezéssel végeztük.



58. ábra: Szemcseméret eloszlás fényes pigmentek esetén



59. ábra: Szemcseméret eloszlás matt pigmentek esetén

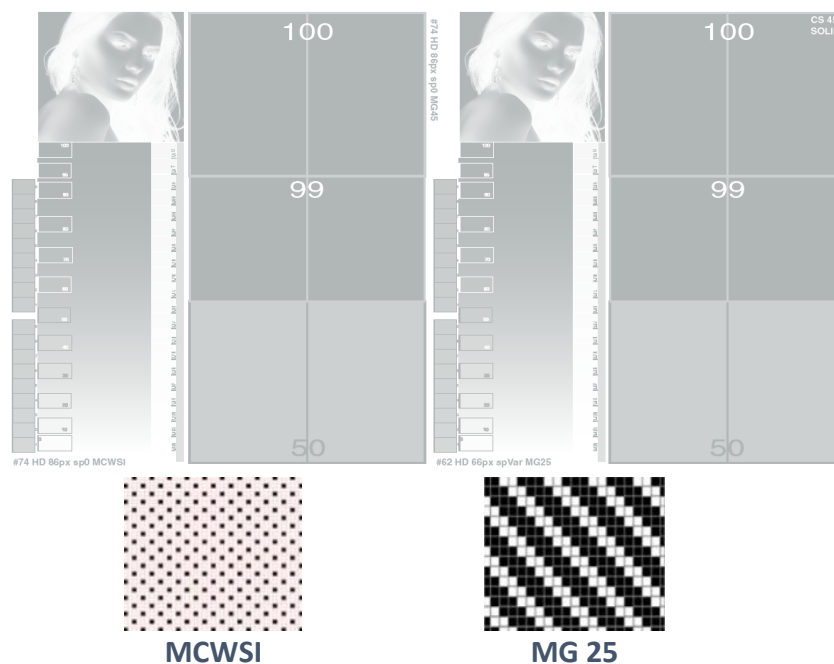
A szemcseméreteloszlás diagramokon (58- 59. ábra) jól érzékelhető, hogy a fényes pigmentek méreteloszlása esetében a maximális pigment szám a 389 nm-es tartományban van, míg a matt pigmentek esetében ez 445 nm. Ebből látható, hogy a matt pigmenttel készülő festék lényegesen több nagyobb átmérőjű TiO₂ pigmentet tartalmaz.

A tesztek az alábbi klisé típusok felhasználásával kerültek elvégzésre:

- Flint ACE-D
 - Standard digitális klisé.
 - FLAT TOP: nitrogénkamrás UV-A levilágítással, felületi mintázat kialakítása: lézerezés során.
 - Shore A keménység: 78 Sh A.
- Flint ACT-D
 - Standard digitális klisé.
 - FLAT TOP: nitrogénkamrás UV-A levilágítással, felületi mintázat kialakítása: lézerezés során.
 - Shore A keménység: 74 Sh A.

- MacDermid LUX ITP-60
 - Anyagában FLAT TOP klisé, felületi mintázat kialakítása a lézerezés során lehetséges.
 - Shore A keménység: 78 Sh A.
- DuPont EASY ESE
 - Anyagában FLAT TOP és anyagában felületi mintázott klisé
 - Shore A keménység: 74-76 Sh A.

A megfelelő klisé és festéktípusok kiválasztását követően kezdetét vette a tesztelés folyamata. A teszt nyomtatás Novoflex nyomógépen történt.



60. ábra: Teszt ábra (nyomtatása W&H Novoflex nyomdagépen) az alkalmazott klisék felületi mintázataival

Az alkalmazott tesztábra a 60. ábrán látható. A vizsgálatokhoz használt tesztábra baloldali felső részén egy női arcot használtunk a bonyolult képi megjelenítések tesztelésére. Alatta pedig 100 százalékból a 0-ba kifutó rész látható, amivel a teljes megjelenítési tartomány nyomtathatóságát ellenőrizni tudjuk. Jobbra fent a 100 százalékosan fedett flekk rész mérhető. A bal oldalon MCWSI mintázatot, míg a jobb oldalon MG 25 mintázatot alkalmaztunk.

A vizsgálat következő lépéseként, a tesztnyomtatás eredményeit elsőként szemrevételezéssel értékeltük. Megállapításainkat az 11. táblázat összegzi. A táblázatban „OK”-val a berakódásmentes nyomatokat jelöltük

11. táblázat: Tesztnyomatok összehasonlítása szemrevételezéssel

Festéktípusok	Klisétípusok			
	ACE-D	ESE	ACT	ITP
Teszt 1	OK	Berakódás	Berakódás	OK
Teszt 2	OK	Berakódás	Berakódás	OK
Teszt 3	OK	OK	OK	OK

Berakódás szempontjából a legjobb eredményt minden klisé típus esetén a 3. teszt festékekkel érték el, ezt a táblázatban sárga színnel jelöltük. Az ACE-D és ITP 60 klisék a tesztek során nem rakódtak be egyik festék esetében sem.

Ezt követően a tesztnyomatokon kétféle mérési vizsgálatot végeztünk. A vizsgálatok során a fényességméréshez spektrofotométert a kitöltési arány és a geometriai értékek mérésére egy Peret FLEX³ PRO megnevezésű műszert használtunk.

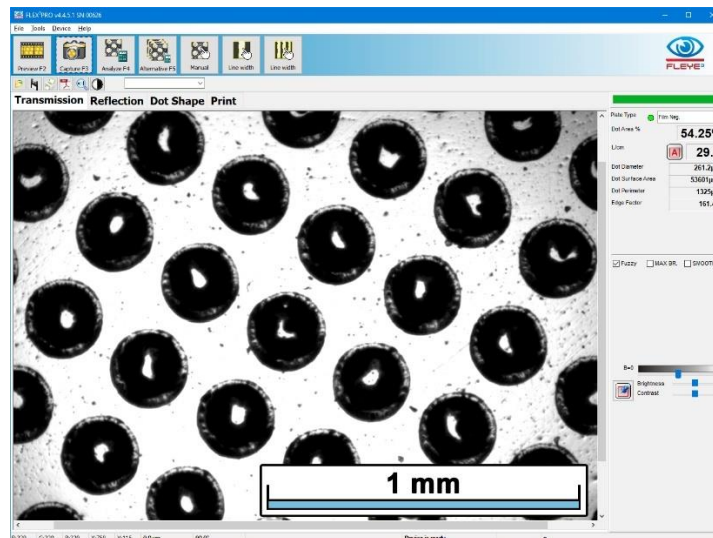
Az első mérés a fedőfehér fedőképességi szintjeinek egymáshoz viszonyított meghatározása volt. Ez azt jelenti, hogy abban az esetben, ha egy fekete alapfóliára laminálunk, akkor milyen fehérséget tudunk mérni CIE L*a*b* értékben. Itt az abszolút értékeket nézzük, azaz mennyire tudjuk megközelíteni az ideális színtani fehéret (L*=100 a*=0 b*=0). A kapott érték esetén a 0 a feketét, a 100 a tökéletes fehéret jelenti. A fedés mértéke mindig függ az alátét anyagtól is. Mérhető az alapanyag fedett-fedetlen részének a ΔE (L*a*b*) színkülönbsége is. Azonban minden esetben fontos az alátétanyag pontos beazonosíthatósága, megnevezése, hogy később más mérésekhez is beszerezhető legyen ugyanaz az anyag. Ezekkel a feltételekkel leginkább csak a CIE L*a*b* mérések L* értékére kell koncentrálnunk, az a* és a b* abszolút értékeknek 2-3 alatt szükséges maradniuk.

12. táblázat: Fedőképességi szint mért értékei

Festéktípusok	Klisétípusok			
	ACE-D	ESE	ACT	ITP 60
Teszt 1	71,4	72,4	72,29	71,72
Teszt 2	70,53	71,59	71,29	71,36
Teszt 3	70,45	71,13	71,28	70,48

Fedőképességi szintek vizsgálata során mért átlagértékeket mutatja a 12. táblázat. Az adatokból leolvasható, hogy a legjobb fedőképességi szintet az 1. tesztfesték biztosította minden klisé típus esetén.

A második mérési periódus során mikroszkópos felvételeket készítettünk a nyomatokról különböző raszter százalékos értékek esetén (10,30,50,80%), amelyek segítségével bemutatjuk a festék felhordási különbségeket a kiválasztott klisétípusok és festéktípusok használatakor. Mikrocellás nyomóforma esetén egyenletesebb a raszterpont, kisebb a lyuk a közepén (61. ábra).



61. ábra: Mikrocellás nyomóformával nyomtatott teszt nyomat nagyított képe

13. táblázat: Pontnövekedési értékek

Teszt 1				
Klisétípus	10%	30%	50%	80%
ACE-D	9,24	25,8	44,65	79,32
ACT	9,08	25,83	39,98	77,05
ITP	6,38	28,29	44,6	83,95
ESE	12,44	26,27	47,21	86,84
Teszt 2				
Klisétípus	10%	30%	50%	80%
ACE-D	11,37	25,25	42,81	78,77
ACT	11,07	29,38	42,14	78,34
ITP	12,02	28,77	46,07	85,82
ESE	12,15	29,74	46,75	85,52
Teszt 3				
Klisétípus	10%	30%	50%	80%
ACE-D	9,95	25,4	44,66	77,33
ACT	11,69	24,81	36,51	76,76
ITP	11,63	27,37	46,12	80,58
ESE	11,62	30,29	48	86,15

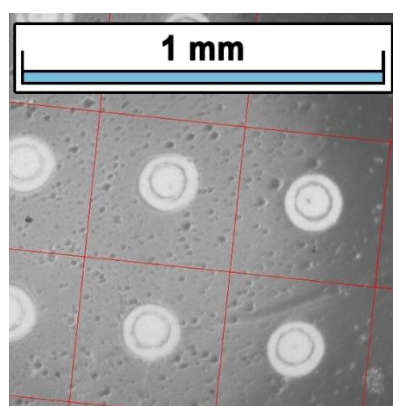
A 13. táblázat a teszt 1, teszt 2 és teszt 3 festékek esetén mutatja mind a négy klisétípus alkalmazása mellett a 10, 30, 50 és 80 százalékos raszterértékeknél mért pontnövekedési értékeket. A kapott értékek szintén kitöltési arányokat jelentenek százalékosan meghatározva. Pontnövekedési értékek szempontjából két fontos megállapításra jutottunk:

- A 50% és 80%-os tartományban mindhárom festéktípus esetén a legjobb értékeket az ACT klisétípus esetén mértük.
- A 30% feletti tartományban a legkisebb pontnövekedési érték az ACT klisé és a 3. tesztfesték alkalmazása mellett valósult meg.

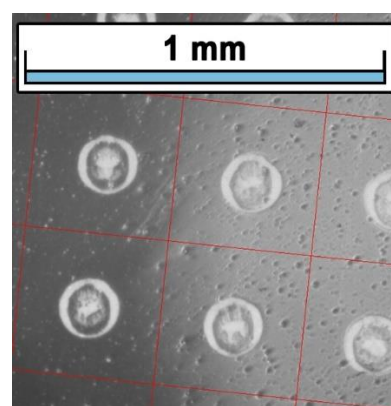
7.3. Fejezet összegzése, a kutatás célja és hasznosítási területe

A vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az MG 25 felületi mintázat előnyösebb, mint az MCWSI mintázat. Nagyobb fedettségi szintet, jobb festékfelhordást biztosít, szebb rajzolatú pontok nyomtathatóak általa.

- A nagyobb méretű pigmenteket tartalmazó festék fedettségi szintje nagyobb, ami a pigmentek méreteloszlásából is adódik
- 10%-os tartományban a legjobb eredményt az ITP60 klisével és a Teszt 3 festékkel értük el.
- Az 62. ábrán egy ITP60 klisével nyomtatott 10%-os pont látható, míg az 63. ábrán egy ESE 10%-os klisével nyomtatott pont. Jól érzékelhető, hogy a jobb oldali pontokon sokkal erőteljesebb a fánk hatás.



62. ábra: ITP 60 klisével készült 10%-os nyomtatott képe



63. ábra: ESE klisével készült 10%-os nyomtatott képe

- Berakódás szempontjából a Teszt 3 festék az optimális. Ez adódik a titánium pigmentek összetételéből és a festékben használt oldószerek típusából. [85]

8. A kutatómunka eredményei V. rész

Matt lakkozott felületek struktúrájának elemzése

8.1. Bevezetés, kutatási célok

Napjaink egyik vezető trendjévé vált az a megoldás, mely során a termékeken úgy emelnek ki logókat vagy más fontosabb elemeket, hogy a környezetükben lévő felületet matt lakkal fedik, így a fényesen hagyott terület válik dominánssá. Ez a technika nem véletlenül terjedt el, mivel az általa nyújtott optikai és tapinthatósági élmény valóban jelentős hatást vált ki, a tekintetet a megfelelő helyre irányítva az eredmény letisztult, de dinamikus és különleges lesz.

Matt lakkal szemben támasztott alapvető követelmények a magas hőállóság, valamint az, hogy ujjlenyomatálló legyen, azaz a tapintást követően ne maradjanak látható nyomok a matt lakkal kezelt felületen. Kutatásaink kezdetén az utóbbira indítottunk fejlesztéseket, mely során egy speciális matt lakkot fejlesztettünk ki és teszteltünk.

Fontos szempont, hogy a mattlakkozott felületen milyen fényességi szintet értünk el a mattlakkozás után. Kutatásunk egyik fő eleme annak vizsgálata, hogy milyen tartományban tudjuk módosítani a matt lakk fényességi értékét akár egy adott nyomaton belül. Ez a technika lehetőséget adhat akár a mattlakkozott felület struktúrájának megváltoztatásával különböző minták megjelenítésére. Ezen minták applikálásával indítottuk kutatásunk második szakaszát, amelyben további lakktípusok alkalmazása mellett végeztünk tesztek, felmérve ezzel, hogy technológiánk hogyan működik UV flexo nyomtatás, illetve oldószeres papírhatású matt lakk alkalmazása esetén. Értékelve az elért eredményeket a jövőben azon kérdésre is választ szeretnénk kapni, hogy a technológia – változatos felhasználási lehetőségeket kínálva – alkalmazható-e tömeggyártási szinteken.

8.2. Alkalmazott kutatási módszerek, eredmények, következtetések

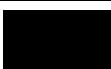


















A kutatás során megvizsgáltuk a változó lakkelhordási mennyiségek esetén a felületi struktúra alakulását, és a különböző felületi mintázatú klisék alkalmazása esetén megmértük a fényességi értékeket. A vizsgálatokhoz egy általunk kifejlesztett lakktípust használtunk, aminek fejlesztésekor kritikus pontok voltak a nagyfokú hőállóság és a fejlesztés legnehezebb pontja az ujjlenyomat-állóság. Nyomtatás során három különböző klisé típust és három eltérő felhordású aniloxhengert használtunk. A lakkelhordás eredményességét számos tényező befolyásolja: a nyomóforma lakkelvétele, a nyomtatási sebesség, a nyomóerő, a hőmérséklet, valamint a nyomóforma és a nyomathordozó tulajdonságai. A kutatás második szakaszában – felhasználva az eddig elért eredményeket – vizsgálatokat folytattunk az UV flexo

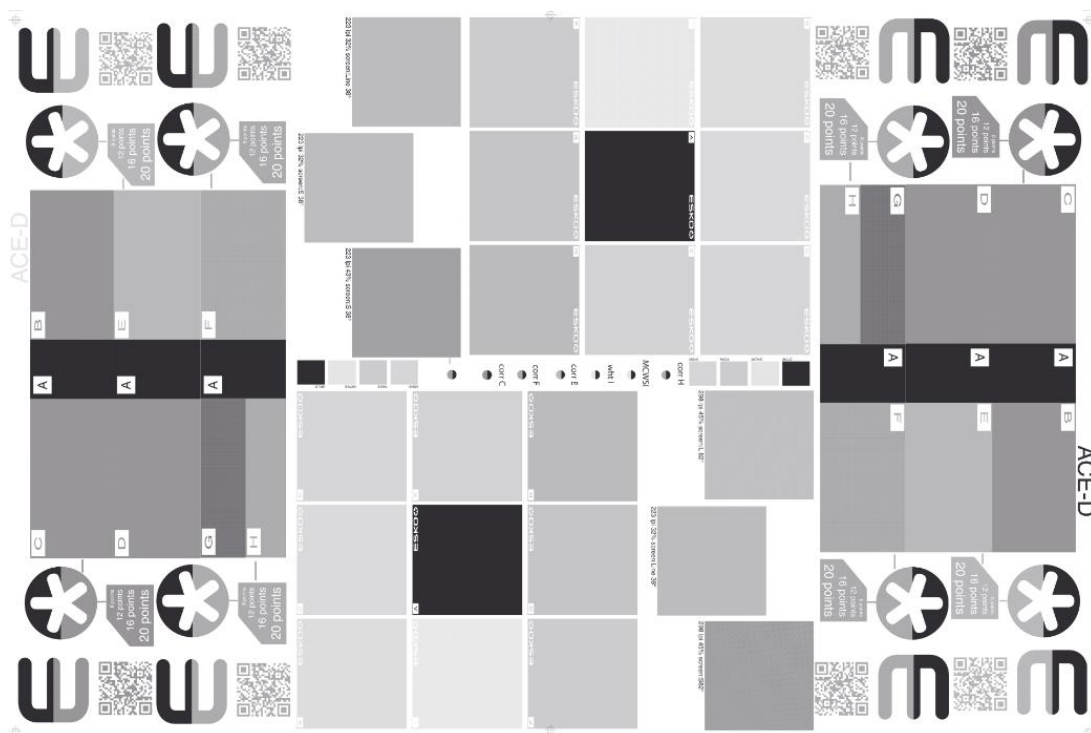
nyomtatás területén is, illetve az oldószeres papírhatású matt lakk viselkedését is vizsgáltuk.

Ahhoz, hogy feltérképezhessük a matt lakkozásban rejlő lehetőségeket, meg kell vizsgálnunk milyen tényezőkkel befolyásolható a lakkfelhordás milyensége, minősége. A vizsgálatokhoz az első szakaszban 3-féle klisétípust és 3 eltérő paraméterű aniloxhengert használtunk.

A tesztnyomtatáshoz az 64. ábrán látható, általunk összeállított tesztábrát használtuk, ami az 14. táblázatban feltüntetett 19 darab eltérő felületi mintázatot tartalmazta.

14. táblázat: Alkalmazott felületi mintázatok

1.		6.		11.		16.	
2.		7.		12.		17.	
3.		8.		13.		18.	
4.		9.		14.		19.	
5.		10.		15.			



64. ábra: Alkalmazott tesztábra

A nyomtatáshoz háromféle, különböző kimerítésű és vonalsűrűségű aniloxhengert használtunk:

- Anilox 1: 360 L/cm vonalsűrűség és 5,5 cm³/m² kimerítés
- Anilox 2: 260 L/cm vonalsűrűség és 7 cm³/m² kimerítés
- Anilox 3: 200 L/cm vonalsűrűség és 10 cm³/m² kimerítés

A tesztek XSYS (korábban Flint) ACE-D és ACT-D, valamint MacDermid LUX ITP-60 klisé típusok felhasználásával kerültek elvégzésre.

A megfelelő klisé és aniloxhengerek kiválasztását követően kezdetét vette a tesztelés folyamata. A tesztnyomtatás Soma Midi Flex 2. és Bobst M6 nyomógépen történt 0,012 mm vastag poliészter nyomathordozóra.

A méréseket a Biuged BGD515/3 típusú fényességmérő berendezéssel végeztük. Továbbá vizuálisan vizsgáltuk a kliséfelületeket, és a mattlakkozott felületek strukturális változásait nagy felbontású mikroszkóppal és Peret Flex Pro műszerek segítségével.

Elsőként a vizuális vizsgálatokat végeztük el a nagy felbontású mikroszkóp és Peret Flex Pro segítségével. A mintákon jól látható volt, hogy milyen nagy mértékben megváltoztatható egy adott lakkozott felületen belül a fényesség értéke.

Az első szakasz második vizsgálati ciklusában a tesztábra 19 különböző részén elvégeztük a fényességi értékek mérését. A mérési eredményeket a 15. táblázat tartalmazza.

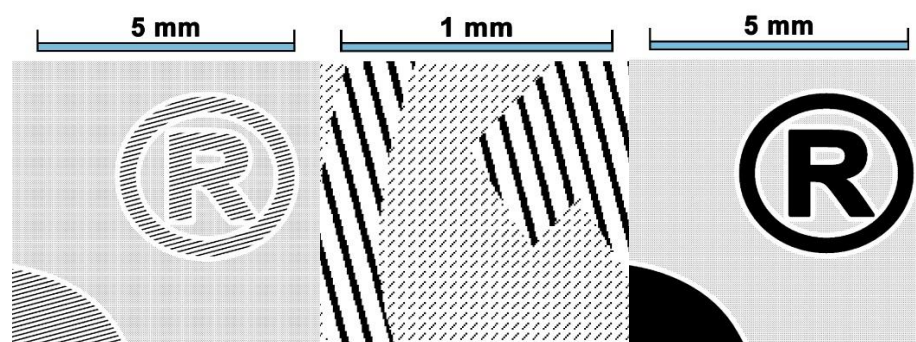
A megfelelő aniloxhenger kiválasztásával jól definiálható az elérhető fényességi tartomány az alábbiak szerint:

- | | | | |
|--|--------------------------|-----|---------------------------------|
| - fényességi tartomány: 8 – 50
kimerítés | 200 L/cm vonalsűrűség és | 10 | cm ³ /m ² |
| - fényességi tartomány: 20 – 70
kimerítés | 260 L/cm vonalsűrűség és | 7 | cm ³ /m ² |
| - fényességi tartomány: 25 – 70
kimerítés | 360 L/cm vonalsűrűség és | 5,5 | cm ³ /m ² |

15. táblázat: Fényességi értékek

Anilox 360/5,5				Anilox 260/7				Anilox 200/10			
Minta	ITP-60	ACT-D	ACE-D	Minta	ITP-60	ACT-D	ACE-D	Minta	ITP-60	ACT-D	ACE-D
M1	32,7	40,7	36,5	M1	35,3	29,6	33,5	M1	16,3	12,8	15,1
M2	21,5	24,6	29,7	M2	26,7	25,6	22,1	M2	8,6	8,4	8,4
M3	32,7	27,3	32,8	M3	32,9	29,4	33,8	M3	8,9	8,6	9,8
M4	32,7	34,3	43,3	M4	35,7	37,8	42,1	M4	9,6	8,2	10,6
M5	28,1	33,2	46,3	M5	39,8	35,1	42,4	M5	10,5	7,3	9,2
M6	33,7	32,1	37,3	M6	32,0	32,1	35,1	M6	9,7	7,5	8,6
M7	33,5	35,4	38,2	M7	36,2	45,2	32,7	M7	13,7	12,4	18,7
M8	35,6	30,2	36,3	M8	36,1	36,2	39,5	M8	9,0	8,1	8,1
M9	57,6	54,3	71,8	M9	69,3	69,5	71,1	M9	47,4	19,8	63,1
M10	62,4	66,8	62,5	M10	55,4	64,9	54,1	M10	44,8	37,1	48,5
M11	33,8	35,9	38,6	M11	26,1	37,8	33,4	M11	16,1	17,1	19,8
M12	23,1	23,7	29,4	M12	31,1	22,1	25,3	M12	7,8	9,1	9,2
M13	32,3	29,2	38,3	M13	27,7	28,3	30,1	M13	7,7	8,2	9,4
M14	35,6	33,3	34,7	M14	32,2	32,8	33,7	M14	8,3	7,6	9,8
M15	39,2	35,5	49,3	M15	32,5	36,6	56,2	M15	10,6	9,5	10,5
M16	28,6	27,9	27,6	M16	19,8	26,6	29,0	M16	9,3	7,6	9,0
M17	34,3	41,8	49,8	M17	41,2	44,5	59,8	M17	13,1	10,4	14,0
M18	45,8	41,9	60,7	M18	49,8	48,8	59,9	M18	18,1	11,5	15,7
M19	63,8	46,5	68,1	M19	43,8	49,3	66,0	M19	18,2	10,6	17,3

Vizsgálatainkat folytatva a második fejlesztési szakaszban, 7 felületi mintázatot alkalmaztunk a teszt nyomtatáshoz, amiből néhány példát az 65. ábra mutat.



65. ábra: Alkalmazott felületi mintázatok

A tesztnyomatok vizsgálata során mért fényességi értékeket a 16. táblázat mutatja, melyben narancsszínnel a legmagasabb, sárgával a legalacsonyabb mért értékek kerültek jelölésre.

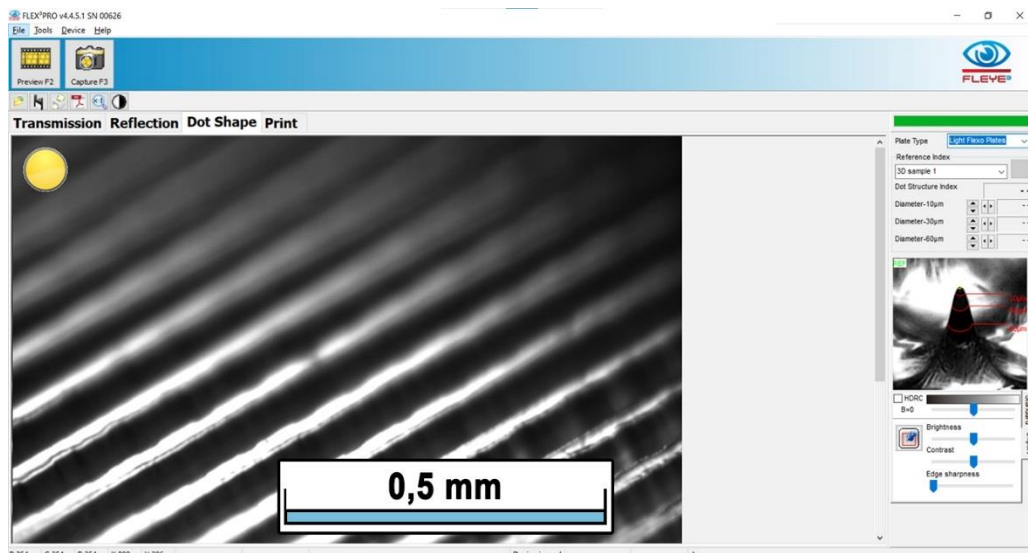
16. táblázat: Fényességi értékek

		Felhasznált laktípusok							
		UV Matt		UV Extra Matt		NC Matt			NC Extra Matt
Alkalmazott aniloxok		L	XL	XL	XXL	360/5,5	260/7	200/10	XXL
Felületi mintázatok	0	75,3	61,2	32,5	39,2	27,8	23,4	17,2	4,3
	1	90,9	64,9	35,1	38,0	78,1	64,5	43,5	4,2
	5	87,2	71,1	50,1	36,8	94,5	69,1	49,5	4,0
	6	69,8	55,5	32,3	43,4	39,6	25,5	26,2	4,3
	7	58,5	58,7	39,1	38,4	79,5	59,5	63,0	3,9
	8	55,8	54,8	34,8	33,1	48,2	37,2	29,0	4,7
	MCWSI	56,5	55,9	39,0	35,3	46,7	29,9	33,7	4,5
Maximális eltérés		35,1	10,1	17,8	10,3	66,7	45,7	32,3	0,8

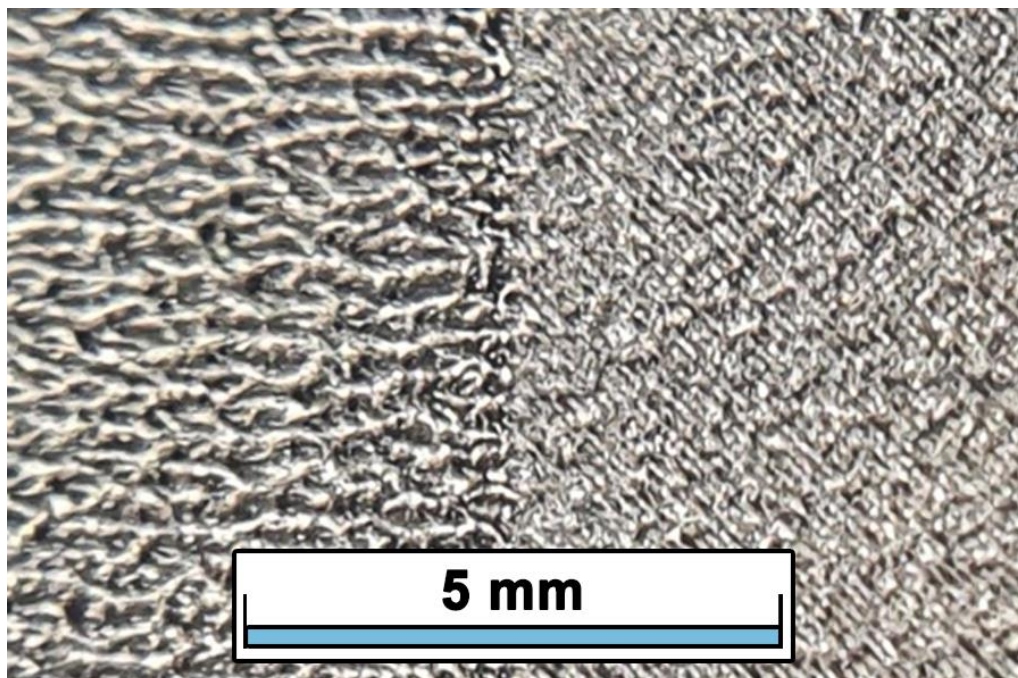
Az eredmények kiértékelésével megállapítottuk, hogy milyen nagy tartományban változtatható meg a lakkozott felület fényessége különböző kliséfelületi struktúrák alkalmazása mellett. Az első szakaszban egy nyomaton belül a legnagyobb fényességbeli eltérést a minimális 8,1 értéktől a 63,1 maximális értékig az Anilox 3. (200 L/cm vonalsűrűség, 10 cm³/m² kimerítés) és az XSYS ACE-D klisé alkalmazásával érték el.

A gyakorlatban alkalmazható anilox paraméterek esetében a legkisebb fényességi értékeket az XSYS ACT-D klisékkel érték el. Ebből arra következtetünk, hogy a puhább klisék alkalmazásával növelhető a lakkozott felület mattsága.

A legmattabb felületeket az 66. ábrán látható geometriájú felületi mintázat eredményezte.



66. ábra: Felületi mintázat, amely a legmattabb felületet képezte

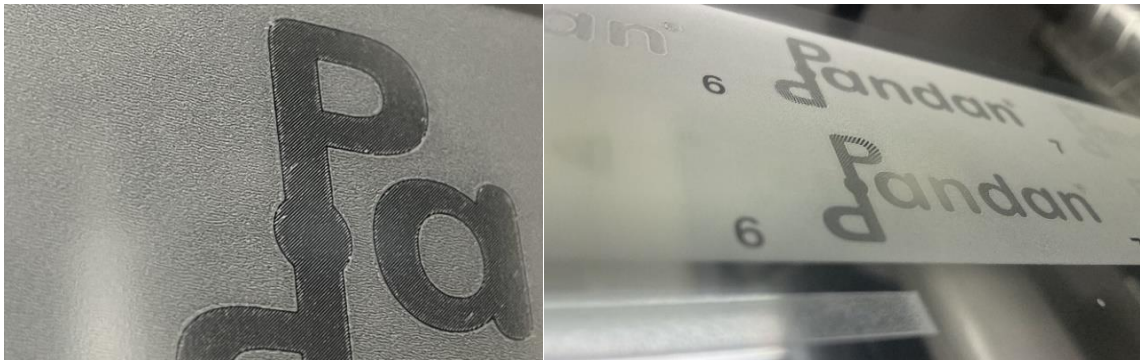


67. ábra: A lakkozott részek strukturális felületének befolyásolása mikrocellás mintázatokkal

A 67. ábrán látható, hogy valóban meg tudtuk változtatni a mikrocellás mintázatokkal a lakkozott részek strukturális felületét, bal oldalon mintázat nélkül, jobb oldali részen vonalmintázattal történt a nyomtatás. További kutatásunk célja volt meghatározni a megfelelő felületi mintázatot a minimális fényességi értékek eléréséhez.

A második fejlesztési szakaszban méréseink alapján megállapítottuk, hogy a legnagyobb fényességi érték eltérések a nitrocellulóz bázisú matt lakknál jelentkeztek 360/5,5 aniloxhenger alkalmazása mellett.

A legnagyobb különbségi érték 66,7, aminek nyomatképét a 68. ábra mutatja. Ebben a tartományban alkalmazhatjuk eltérő mattságú felületek nyomtatására a technológiát.



68. ábra: A legnagyobb különbségi értéket produkáló nyomtatás

Extra matt lakk esetén a szemcsék mérete miatt nem alkalmazhatóak az általunk használt felületi mintázatok a kitűzött cél elérésére.

UV flexo nyomtatás esetén nagyságrendekkel kisebb fényességi eltéréseket értünk el, további lakk- illetve rácsozatfejlesztések szükségesek.

8.3. Fejezet összefoglalása, a kutatás eredményeinek felhasználási lehetőségei

A felhasznált lakkmennyiség minimalizálása mellett a legmegfelelőbb felületi mintázattal és az azzal leghatékonyabban alkalmazható lakktípussal optimalizálható a termelés. A teszteredmények segítségével pontosabb képet kaptunk arról, hogy az általunk kifejlesztett lakktípus a különböző felületi mintázatu klisék alkalmazása esetén milyen fényességi értékeket produkál, ezzel lehetőséget adva minél szélesebb felhasználási terület lefedésére, többek között a biztonságtechnikai nyomtatás területén is.

Kutatásaink célja, hogy az általunk kifejlesztésre kerülő technológiának köszönhetően lehetőség nyíljon arra, hogy az eddig csak magas anyag- és előállítási költségek mellett, arányaiban alacsony hatásfokkal működő eljárás helyére egy gazdaságosabb, de minőségileg magas színvonalú eredményt garantáló technológia léphessen, mely mind az élelmiszerbiztonság, mind a környezetvédelem szempontjából nagy előrelépést biztosíthat tömeggyártás szintjén is. A jövőben a csomagolóiparban környezetvédelmi okokból bekövetkező változások, az egynemű csomagolóanyagok bevezetése még indokoltabbá teszik az egyes felületkezelési technológiák alkalmazását.

Bízunk benne, hogy eredményeinket a közeljövőben tömeggyártásban is tesztelhetjük, hogy további fejlesztésekkel realizálhatóvá váljon a technológia széleskörű alkalmazása, lehetőséget teremtve egy költséghatékony, ezáltal gazdaságosan alkalmazható, termékbiztonságot garantáló eljárás működtetésére [86].

9. Összefoglalás

Kutatásom első blokkjában oldószeres és UV flexo nyomtatás különbségét vizsgálva azt kívántam bizonyítani, hogy megfelelően kiválasztott, újfajta kliséfelületi mintázatokkal és festékekkel lehetséges az oldószeres nyomtatás 4 és 7 színes (CMYK és CMYKOGV) színterének fokozása, UV-flexohoz való közelítése, ezáltal az átjárhatóság kiterjesztése a két nyomtatási technológia között.

UV technológia esetében a maximális szintér 1033598, amit gumi sleeve-es fehér nyomtatás alkalmazása mellett értünk el tükörnyomtatással. Amennyiben a fehéret klisével nyomtattuk, az elérhető maximális szintér: 984369 szintér térfogati értéket mutatott, amit ACT-D square rácsozatú fehér klisé alkalmazása mellett értünk el. Ezek a vizsgálatok is igazolják, hogy mekkora jelentősége van a fehér háttér nyomtatásának. A két eltérő fehér nyomtatási technológia az elérhető nyomtatási szintérben 4,8 %-os változást okoz. Méréseink alapján megállapítottuk, hogy a szinterek közötti legnagyobb eltérések a közepes világosságú tartományban találhatóak.

Direkt nyomtatás esetén UV technológiával maximális szinteret lakkozás nélkül ACT-D típusú speciális „G” mintázatú fehér klisével értünk el 1116529 szintér térfogati értéket produkálva.

Oldószeres technológiában a maximális szintér – 1004039 – eléréséhez szükségünk volt egy fényes lakk alkalmazására. A fényes lakkot és a fehér festéket ebben az esetben gumi sleeve segítségével juttattuk a felületre. Az így elért szintér 10%-ban tér el egymástól. A sötét és a közepes világosságú tartományokban jelentősebb eltérést tapasztaltunk.

Az oldószeres technológia a zöldes és magentás árnyalatok esetén, míg az UV technológia a cián és a violás tartományban biztosított nagyobb szinteret. A tesztanyagok vizsgálati eredményei bizonyították hipotézisemet.

A szintér vizsgálata nem csupán az egyes nyomtatási technológiák átjárhatósága miatt fontos. Vizsgálataimmal megoldást kerestem arra, hogy a hátoldali nyomtatás minőségét az előoldali nyomatok minősége megközelítse. Oldószeres technológia esetében a megfelelően kiválasztott mikrocellás klisék és lakk alkalmazásával a tükör és a direkt nyomtatás szintere közötti különbséget 1 % alá tudtuk csökkenteni. Ebben az esetben direkt nyomtatás esetén a szintér térfogata 1004039 míg a tükörnyomtatás esetében 997140. Direkt nyomtatás esetén lakk nélkül a szintér térfogat speciális mikrocellás klisé alkalmazása mellett is csak 821829 volt. Ebből is láthatjuk, hogy mennyire hasznos lehet egy fényes lakk alkalmazása a termékek színeinek dinamikusabbá tétele szempontjából. Emellett a lakk a festékrétegnek fizikai védelmet is nyújt. Az oldószeres direktnyomtatás esetében fényes lakk használata mellett 18 %-os szintérnövekedést értünk el.

Az UV technológia esetében kutatásunk során az elő és hátoldali nyomtatás szintér térfogata közötti különbséget 10% alá tudtuk csökkenteni.

A nyomdaiparban a nyomtatási minőséget befolyásoló tényezők közül az egyik legjelentősebb a festékfelhordás folyamata. A festék viszkozitásának helyes beállítása a minőségi nyomtatás sarkalatos pontja. Vizsgálataim során a festékek reológiai tulajdonságait vizsgálva méréseket végeztem változó nyíró igénybevétel és hőmérséklet mellett. A festékek esetében általában elvárt pseudoplasztikus viselkedés helyett a cián és a fekete festék 22,4 fokon 100-as RPM nyíróigénybevétel felett dilatánsan viselkedik. Az adott jelenség fizikai magyarázatát megfogalmaztam. Reológiai kutatásom megfelelő alapot biztosít olyan festékek kifejlesztéséhez, melyekkel kiküszöbölhetőek a nyíróigénybevétel változás hatására bekövetkező nem várt viszkozitási problémák.

A nyomtatási minőség biztosítása miatt további alapvető kérdés a fedettségi és száradási problémák vizsgálata. Oldószeres festékek alkalmazása mellett vizsgáltam, hogy mely felületmintázat-típus és hozzá megfelelő Shore A keménységű polimerklisé kombinációja biztosít egyszerre ideálshoz közeli fedettséget, festékfelhordást, pontnövekedést és raszterpontrajzolatot. A matt TiO_2 pigmenteket tartalmazó festék minden vizsgált klisé típus esetén maximális fedettséget mutatott. Ebből arra következtetünk, hogy a matt TiO_2 pigmentek nagyobb fedettséget biztosítanak. 30%-os vagy afeletti rasztertartomány esetében a legkisebb pontnövekedési értékeket az ACT klisé és a teszt3 festék valósította meg. Pontnövekedés szempontjából a lassú száradású fehér festék alkalmazása előnyös. A felületmintázati vizsgálataink alapján a legnagyobb fedettséget és legszebb rajzolatú pontokat – az általunk használt mintázatok közül - a MG25 mintázattal értük el, mely alapján megállapítottuk, hogy vonalas felületmintázattal érhető el a legnagyobb fedettség fehérnyomtatás esetén.

Kutatásaim másik fő pillérének tekintetem a matt lakkozás vizsgálatának témáját. Mivel autotípiai rácsozást a lakkozó formánál jellemzően nem alkalmazhatunk, célom volt, egy új megközelítés és módszer kifejlesztése, mellyel az eddigi két szint (lakkozott, nem lakkozott) helyett többféle fényességi/mattsági szintet is elérhetünk egyetlen lakkozó formával, azon belül különböző geometriájú kliséfelületi struktúrákkal, autotípiai rács használata nélkül, berakódásmentesen. A teszteredmények segítségével pontosabb képet kaptunk arról, hogy az általunk kifejlesztett lakktípus a különböző felületi mintázatú klisék alkalmazása esetén milyen fényességi értékeket produkál. A gyakorlatban alkalmazható anilox paraméterek esetében a legkisebb fényességi értékeket az XSYS ACT-D klisékkel értük el. Ebből arra következtetünk, hogy a puhább klisék alkalmazásával növelhető a lakkozott felület mattsága. Egy nyomaton belül a legnagyobb fényességbeli eltérést 66,7, minimális 27,8 értéktől a 94,5 maximális értékig az 360/5,5 Anilox és a Flint ACE-D klisé alkalmazásával érhetjük el. A legmattabb felületeket 45 fokos vonalas geometriájú felületi mintázat eredményezte. Minden esetben a legkisebb fényességi értékeket a Flint ACT-D klisékkel értük el. A nagy szemcseméretű mattító szer alkalmazása esetén a felületmintázattal nem befolyásolható a nyomtatott felület mattsága.

10. Tézisek

1. HD FLEXO/Pixel+ kliséfelületi mintázatokkal és magasan pigmentált festékekkel lehetséges az oldószeres nyomtatás 4 és 7 színes (CMYK és CMYKOGV) színterének kiterjesztése, UV-flexohoz való közelítése, ezáltal az átjárhatóság lehetőségének bővítése a két nyomtatási technológia között.

2. Megfelelő fényes lakk és 4000 dpi-s vonalrácsos kliséfelületi mintázat bevezetésével az elő- és hátoldali nyomtatás közötti átjárhatóság az általunk alkalmazott paraméterekkel megvalósítható. A tükör- és a direktnyomtatás megvalósítható szinterei közötti különbség oldószeres technológia esetén térfogatszázalék tekintetében 1%, míg az UV technológia esetén 10% alá csökkenthető.

3. Igazolom, hogy a flexo festékek esetében - a négy alapszín közül – a cián és fekete festék az elvárt pszeudoplasztikus viselkedés helyett bekövetkező dilatáns rendszerre jellemző viselkedését mutat, melynek oka, a molekulák hidroxilcsoportjai között kialakuló erős hidrogénhid-kötések adott hőfokon történő megjelenése, amely jelentősen megnöveli a nyíróerőt.

4. Flexonyomtatás során a fehér festékréteg minősége meghatározó a színtér és a nyomatkép tekintetében. Igazolom, hogy oldószeres flexo technológia esetén a vonalrácsos felületmintázat-típussal készült lágú (74 Shore A keménységű) polimerklisé biztosít ideálshoz közeli fehér fedettséget, festékfelhordást, pontnövekedést és raszterpontrajzolatot. A matt TiO_2 pigmentek növelik a fedőképességi szintet.

5. Kidolgoztam egy új módszert, amellyel az eddigi két szint (lakkozott, nem lakkozott) helyett többféle fényességi/mattsági szint is létrehozható egyetlen lakkozó formával, különböző geometriájú 4000 dpi-s kliséfelületi struktúrákkal, autotípiái rács használata nélkül, berakódásmentesen. Kisebb Shore A keménységű klisék alkalmazásával növelhető a lakkozott felület mattsága. A legmattabb felületeket 45 fokos vonalas geometriájú felületi mintázat eredményezi.

11. Tézisekhez kapcsolódó publikációk listája

1.

Várza, Ferenc ; Horváth, Csaba; Joóbné, Preklet Edina
Innovatív felületnemesítés flexonyomtatásban: a matt lakkozásban rejlő speciális lehetőségek vizsgálata
 MAGYAR GRAFIKA 67: 1 pp. 42-48., 7 p. (2023)

2.

Horváth, Csaba ; Várza, Ferenc ; Manúrová, Klaudia
Analysis of the Matte Varnishing Structure of Flexible-walled Packaging Materials In the Case of Flexographic Printing Technology
 In: s., n. Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, TAGA Oklahoma City (OK), Amerikai Egyesült Államok: Technical Association of the Graphic Arts (TAGA) (2022) pp. 1-10., 10 p.
 Scopus

3.

Horváth, Csaba ; Várza, Ferenc ; Manúrová, Klaudia
Analysis of the flexo printed matte varnishing structure of polyester substrate
 In: Proceedings - The Eleventh International Symposium GRID 2022
 University of Novi Sad, Faculty of technical sciences, Department of graphic engineering and design (2022) pp. 343-348., 6 p.
 DOI SOE Publicatio repozitórium Scopus

4.

Mańurová, Klaudia ; Joóbné, Preklet Edina ; Horváth, Csaba ; Várza, Ferenc
A FLEXONYOMTATÁS ÉS NYOMDAI ELŐKÉSZÍTÉS STANDARDIZÁLÁSI ÉS OPTIMALIZÁLÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA A MAGYARORSZÁGI NYOMDÁKBAN
 In: Koncz, István; Szova, Ilona (szerk.) TIZENKILENC ÉVE AZ EURÓPAI MAGYARORSZÁG TUDOMÁNYOS MEGÚJULÁSA ÉS A FIATAL KUTATÓK SZOLGÁLATÁBAN : A PEME XXIII. PhD – Konferenciájának előadásai (Budapest, 2022. április 28.)
 Budapest, Magyarország: Professzorok az Európai Magyarorszáért Egyesület (2022) 163 p. pp. 114-125., 12 p.

5.

Várza, Ferenc ; Horváth, Csaba
A fehérnyomtatás fejlesztési lehetőségei: vizsgálatok a flexográfiai nyomtatás területén
 MAGYAR GRAFIKA 66 :1 pp. 4-8., 5 p. (2022)

6.

Várza, Ferenc ; Horváth, Csaba ; Joóbné, Preklet Edina
Hajlékonyfalú csomagolóanyagok struktúrájának elemzése flexográfiai matt lakkozási technológia esetén
 In: Obádovics, Csilla; Resperger, Richárd; Széles, Zsuzsanna (szerk.) PANDÉMIA – FENNTARTHATÓ GAZDÁLKODÁS – KÖRNYEZETTUDATOSSÁG: Konferenciakötet (Lektorált tanulmányok)

Sopron, Magyarország: Soproni Egyetemi Kiadó (2022) 485 p. pp. 448-453., 6 p.
DOI SOE Publicatio repozitórium

7.

Ferenc, Várza ; Edina, Preklet ; Csaba, Horváth

APPLICATION ANALYSIS OF WHITE FLEXOGRAPHIC PRINTING INKS ON BIODEGRADABLE FLEXIBLE FOILS

In: Karlovits, Igor (szerk.) Proceedings of the 2nd International Conference on Circular Packaging

Ljubljana, Szlovénia: Pulp and Paper Institute (2021) 333 p. pp. 311-320., 10 p.

DOI SOE Publicatio repozitórium

8.

Ferenc, VÁRZA ; Csaba, HORVÁTH ; Edina, PREKLET

ANALYSIS OF THE MATT LACQUERING STRUCTURE OF FLEXIBLEWALLED PACKAGING MATERIALS IN THE CASE OF FLEXOGRAPHIC PRINTING TECHNOLOGY

In: Csanák, Edit (szerk.) 8TH INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL AND LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2021) pp. 83-88., 6 p.

SOE Publicatio repozitórium

9.

Várza, Ferenc ; Joóbné, Preklet Edina ; Horváth, Csaba

A fehér festékek alkalmazási problémáinak vizsgálata a flexográfiai nyomtatási folyamatok technológiájában

In: Koncz, István; Szova, Ilona (szerk.) XXI. PEME–PhD (Online) Konferencia: TIZENNYOLC ÉVE AZ EURÓPAI SZINTŰ TUDOMÁNYOS MEGÚJULÁS ÉS A FIATAL KUTATÓK SZOLGÁLATÁBAN

Budapest, Magyarország: Professzorok az Európai Magyarországiért Egyesület (2021) 219 p. pp. 207-214., 8 p.

10.

Várza, Ferenc

Adaptációs lehetőségek az UV-Flexo nyomtatási technológiában (2. rész)

MAGYAR GRAFIKA 65: 1 pp. 12-14., 3 p. (2020)

11.

Várza, Ferenc

Adaptációs lehetőségek az UV-Flexo nyomtatási technológiában (1. rész)

MAGYAR GRAFIKA 64: 6 pp. 14-17., 4 p. (2020)

12. Irodalomjegyzék

- [1] Pató Gáborné Szűcs Beáta (2008): CSOMAGOLÁS, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, pp.:2-3
- [2] Robertson, G.I. (2006): Food packaging: principles and practice; Taylor & Francis; Boca Raton pp.:5-6
- [3] Bereczkiné Kardeván Kinga (2008): Az élelmiszerek csomagolóanyagai, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest pp.: 3
- [4] Spence, C. & Gallance, A. (2011): Multisensory design: Reaching out to touch the consumer. *Psychology & Marketing*, 28(3), pp.:267-308.
<https://doi.org/10.1002/mar.20392>
- [5] Hudika T., Majnarić I., Cigula T. (2020): Influence of the Varnishing "Surface" Coverage on Optical Print Characteristics; TECHNICAL JOURNAL 14, 4, 428-433; ISSN 1846-6168 (Print), ISSN 1848-5588 (Online)
<https://doaj.org/article/64f5bb54c6ee48e0bfaef654c8d4fea8>
- [6] Kipphan, H. (2001): *HANDBOOK OF PRINT MEDIA*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 1207 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-29900-4>
- [7] Hook, W. (2018): Varnish, Aqueous Coating and UV Coating, What's the Difference? https://www.myprintsouth.com/resources/blog_articles.html/article/2018/06/14/varnish-aqueous-coating-and-uv-coating-what-s-the-difference- Megtekintve: 2024.02.04
- [8] Milmo, S. (2020): The UV LED Market In Europe | Ink World.
https://www.inkworldmagazine.com/contents/view_live-from-shows/2020-03-05/the-uv-led-market-ineuroope/ Megtekintve: 2024.02.04
- [9] Cigula, T., (2022): COATINGS IN GRAPHIC INDUSTRY, In *Proceedings - The Eleventh International Symposium GRID 2022*. pp.:41-43 Letöltve: 2023.10.20.
- [10] Hoffstadt, H. (2004): Simulating color changes due to coating of ofszet prints. Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision. 2004, 489–493
- [11] Simonot, L. & Elias, M. (2004): Color change due to a varnish layer. *Color Research and Application*. 29 (3), 196–204. doi: <https://doi.org/10.1002/col.20008>
- [12] Cigula, T., Hudika, T., & Tomasegovic, T. (2021): Lightfastness, surface and interfacial properties of colourprinted paper substrates coated with PCL/ZnO and

PCL/TiO₂ nanocomposites. *Surfaces and Interfaces*. 27, 101522 doi:

<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.101522>

[13] Lendvai Edina (2021): A csomagolással kapcsolatos ismeretek felmérése egy kvantitatív kutatás alapján. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 67(3), 3566–3574.

<https://doi.org/10.52091/EVIK-2021/3-3-HUN>

[14] Horváth Csaba, Koltai László A csomagolási trendek és az európai nyomtatott csomagolóanyag gyártás jellemzői

MAGYAR GRAFIKA, 2019. 5. szám. (LXIII. évfolyam), pp.:6-9.; (HU ISSN 0479-480X)

[15] Kutasi Csaba 125 éves a vizskóz

Magyar kémikusok lapja, 2019. 4. szám. (LXIII. évfolyam), pp.:123-127.

[16] Flory, P. J. (1953): Principles of polymer chemistry.:

<https://books.google.com/books?id¼CQ0EbEkt5ROC&pgis¼1>

[17] C.V. Pious - Thomas, Polymeric Materials -Structure, Properties, and Applications, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 21-22, ISBN: 978-0-323-37468-2

[18] Halász Katalin (2020): Bioműanyagok, doktori iskolai jegyzet, Sopron pp.:4-5

[19] van Krevelen, D. W., & te Nijenhuis, K. (2009): Properties of polymers: Their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions.

[http://store.elsevier.com/Properties-of-Polymers/D_W_-van-](http://store.elsevier.com/Properties-of-Polymers/D_W_-van-Krevelen/isbn9780080915104/)

[Krevelen/isbn9780080915104/](http://store.elsevier.com/Properties-of-Polymers/D_W_-van-Krevelen/isbn9780080915104/) Megtekintve: 2022. november 17.

[20] Coles, R. (Ed.). (2003): Food packaging technology. USA: Blackwell Publishing Ltd. pp. 177-178 ISBN 1–84127–221–3

[21] Ebnesajjad, S. (Ed.). (2012): Plastic films in food packaging materials, technology and applications. Waltham: Elsevier.

[22] Grand view reserch: Report ID: GVR-2-68038-365-2 Food Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (Rigid, Semi-rigid, Flexible), By Material (Paper, Plastic), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030

[23] Izdebska J. Applications of Printed Materials, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.:373-374, ISBN: 978-0-323-37468-2

[24] Izdebska, J. Corona Treatment, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 136-137, ISBN: 978-0-323-37468-2

- [25] Grand view research: Report ID: 978-1-68038-504-5; Flexible Packaging Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Plastic, Paper, Metal, Bioplastics), By Product, By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030
- [26] *Dr. Horváth Csaba – Dr. Koltai László – Nagy Miklós* A jövőt meghatározó trendek és mozgatórugók a nyomtatott csomagolások európai piacán, Magyar Csomagolási Évkönyv 2023 pp.: 8
- [27] *Smithers Research: An Overview of the European Printed Packaging Market* Market report, 2023
- [28] Justpaint. (n.d.) Don't Fade Away - Recent Testing of Protective Coatings | Just Paint. <https://justpaint.org/dont-fade-away-recent-testing-of-protective-coatings/>
[2022] Megtekintve: 2024.02.04.
- [29] Berg, P. & Lingqvist, O. (2019) Pulp, Paper, and packaging in the next decade: Transformational change. McKinsey & ComPa*sny Paper and Forest Products. August, 7.
- [30] Mordor Intelligence Flexographic Printing Industry Size and Share Analysis – Growth Trends and Forecasts (2024-2029)
(<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/flexographic-printing-market>)
Megtekintve 2024. február 4.
- [31] Izdebska, J.- Thomas, S. Fundamentals and Applications, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.: 1-2, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [32] Szentgyörgyvölgyi Rozália, OERKK Nyomdaipari Technológiai ismeretek I. Budapest 2008, pp.: 22-24
- [33] A flexo nyomtatás (2015) <https://www.magarynyomdasz.hu/a-flexo-nyomtatás>
Megtekintve: 2024. 05. 06.
- [34] Foley, A. (2005). Mandrel sleeves. Flexo, 30(6), pp.: 36-38
- [35] Cole, S. (2010). Partners in time. Converting Today, 25(6), pp.:13-17.
- [36] *Barna Judit* (2008) A flexó nyomtatás technológiai lehetőségei, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, pp.: 16-17
- [37] Borbély Ákos, Szentgyörgyi Rozália: Flexográfiai eljárással műanyag fóliákra készült nyomatok színminősége; Óbuda University e-Bulletin Vol. 2, No. 1, 2011 pp.: 341-342

- [38] *Izdebska J.*, Flexographic printing, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 187-188, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [39] *Izdebska J.*, Flexographic, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 189-191, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [40] *Pekarovicova A, Husovska V*, Printing Ink Formulations, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 50-51, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [41] Gong, Y., Huang, B. Q., & Wei, X. F. (2014): Research on environmentally friendly water-based covering ink and its application in scratch-type invoice printing. In 2nd International Conference on Material Science and Environmental Engineering, MSEE 2014; Changsha, Hunan; China; March 21-23, 2014 (Vol. 937, pp. 508-514).
- [42] *Zołek-Tryznowska Z.* Printing on Polymers: Theory and Practice; In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 94-95, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [43] *Izdebska J.* Flexographic Printing; In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 190-192, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [44] *Izdebska J.* Flexographic Printing; In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 189-190, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [45] *Izdebska J.* Flexographic Printing; In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 191-193, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [46] Schulcz Péter (2020): Színmérés a nyomdaiparban; Mérnök és nyomdász Kft, Szentendre pp.: 49-50
- [47] *Németh Nikoletta*, Alapismeretek az UV-flexoról ELSŐ RÉSZ Magyar grafika, 2012. 1. szám (LVI. évf.) pp.:36-37.
- [48] Jašúrek B., Vališ J., Srový T., (2022): DEVELOPMENT OF NEW UV LED CURABLE INKJET VARNISHES In *Proceedings - The Eleventh International Symposium GRID 2022.* pp.:101-105
- [49] *Zołek-Tryznowska Z.* Rheology of Printing Inks, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.) pp.: 87-88, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [50] *Lévay Zoltán*, (2004.) Gyakorlati tanácsok flexónyomtatáshoz Magyar Grafika, 2004. Flexó különszám, pp.:37-42.

- [51] López-García, J., et al. (2013). Enhanced printability of polyethylene through air plasma treatment. *Vacuum*, 95, pp.: 43-49.
- [52] Műszeroldal tudásbázis, Viskozitás átszámító táblázat <https://www.muszeroldal.hu/assistance/viszkozi1.html> Megtekintve: 2024.02.05.
- [53] Ülgen, M., Oktav, (2022) M. CORONA TREATMENT AND ITS IMPORTANCE IN FLEXO PRINTING In *Proceedings - The Eleventh International Symposium GRID 2022*. doi: 10.24867/grid-2022-pp.:39-40
- [54] Lindner, M., Rodler, N., Jesdinszki, M., Schmid, M. & Sänglerlaub, S. (2018) Surface energy of corona treated PP, PE and PET films, its alteration as function of storage time and the effect of various corona dosages on their bond strength after lamination. *Journal of Applied Polymer Science*. 135-136 (11), 45842. doi:10.1002/app.45842
- [55] Corona kezelés (2019) (<http://m.hu.dabaflexoprinter.com/info/corona-treatment-44803361.html>) Megtekintve 2024. április 4.
- [56] Gilbertson, T. (2022) Using watt density to predict dyne levels. <https://www.enerconind.com/web-treating/corona-treatment/library/tech-papers-articles/using-wattdensity-to-predict-dyne-levels.aspx> Megtekintve: 2022. 09. 25.
- [57] O'Hare, L. A., Leadley, S. & Parbhoo, B. (2002) Surface physicochemistry of corona-discharge-treated polypropylene film. *Surface and Interface Analysis*. 33 (4), pp.:335 - 342. doi:10.1002/sia.1217
- [58] *Dobrzanski, L. A., & Dobrzanska-Danikiewicz, A. D.* (2011). *Struktura i własności materiałow w polimerowych obrabianych powierzchniowo oraz pokryc polimerowych* (Online) <http://www.openaccesslibrary.com/vol05/7.pdf>. Letöltve: 2023. április 16.
- [59] Zenkiewicz, M. (2008). Corona deascharge in an air as a method of modification of polymeric materials' surface layers. *Polimery*, 53(1), pp.:3-13.
- [60] *Izdebska J.*, Corona Treatment, In.: *Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers*, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.: 136-137, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [61] Havlinova, B., Cicak, V., Brezova, V., & Hornakova, L. (1999): Water-reducible flexographic printing inks rheological behaviour and interaction with paper substrates. *Journal of Materials Science*, 34, pp: 2081-2088.
- [62] *Izdebska J.*, Rheology of Printing Inks, In.: *Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers*, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.: 87-99, ISBN: 978-0-323-37468-2

- [63] Rosato, D. V. (Ed.). (2000): Concise encyclopedia of plastics. New York: Springer
https://www.google.hu/books/edition/Concise_Encyclopedia_of_Plastics/MPXIBwAAQBAJ?hl=hu&gbpv=1&dq=Concise_Encyclopedia_of_Plastics&printsec=frontcover
- [64] *Zołek-Tryznowska Z.*, Printing on Polymers: Theory and Practice, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.: 87-99
 ISBN: 978-0-323-37468-2
- [65] *Dattner M., Bohn D.*, Characterization of Print Quality in Terms of Colorimetric Aspects, In.: Izdebska, J. – Thomas, S. (ed.): Printing on Polimers, ELSEVIER Inc. Amsterdam (2016.). pp.: 335-342, ISBN: 978-0-323-37468-2
- [66] Schulcz Péter (2020): Színmérés a nyomdaiparban; Mérnök és nyomdász Kft, Szentendre pp.: 45-46
- [67] *Alexandra Pekarovicova, Veronika Lovell és Paul D.* Megnövelt szintér nyomtatás a flexo csomagolásban
 Magyar Grafika 2012. 1. sz. (LXIII. évfolyam) 41-43. old. Fordította: Keresztes Tamás.
 Lektorálta: dr. Novotny Erzsébet
- [68] Schulcz Péter (2020): Színmérés a nyomdaiparban; Mérnök és nyomdász Kft, Szentendre pp.: 107-108
- [69] Schulcz Péter (2020): Színmérés a nyomdaiparban; Mérnök és nyomdász Kft, Szentendre pp.: 170-171
- [70] Dörnyei Krisztina Rita (2019): *CSOMAGOLÁS – MENEDZSMENT*, KOSSUTH KIADÓ, ISBN 978-963-09-9307-4 pp.: 28-29
- [71] Dörnyei Krisztina Rita (2019): *CSOMAGOLÁS – MENEDZSMENT*, KOSSUTH KIADÓ, ISBN 978-963-09-9307-4 pp.: 30-31
- [72] Makower, J. (n.d.) How green printing can make a good impression.
<https://grist.org/article/printing/> Megtekintve 2024. 02. 05.
- [73] Allianz S. E. (2021): Wrapping up? How paper and board are back on track
https://www.allianz-trade.com/en_global/news-insights/economic-insights/wrapping-up-how-paper-andboard-are-back-on-track.html Megtekintve: 2022. április 10.
- [74] Aydemir, C. & Yenidoğan, S. (2018): Light fastness of printing inks: A review. Journal of Graphic Engineering and Design. 9 (1), pp.:37–43. doi:10.24867/JGED-2018-1-037

- [75] Jiménez-Reyes, M., Dolores T., García-Rosales, G. Jiménez-Becerril, J. & Luna-Castro, G.E. (2021): Effects of UV radiation on paper: A chromatic study. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*. 8, pp.:34–47. doi:10.30744/BRJAC.2179-3425.AR-51-2020
- [76] Brokerhof, A., Ankersmit B. & Frank Ligterink F. (2017): Risk management for collections. Amersfort, NL, Cultural Heritage Agency - Ministry of Education, Culture and Science
- [77] 3 Oak News (n.d.) Why are water based lacquers becoming so popular (n.d.). <https://www.3oak.co.uk/news/why-are-water-based-lacquers-becoming-so-popular/> Megtekintve: 2023. április 15.
- [78] Ragauskas, A. & Lucia, L.A. (1998): Overview of the lightfastness of commercial printing inks: Understanding the mechanisms of color bleaching https://www.researchgate.net/publication/27520693_Overview_of_the_lightfastness_of_commercial_printing_inks_Understanding_the_mechanisms_of_color_bleaching/citation/download Letöltve: 2023. április 15.
- [79] Zvekic, D., Srdić, V.V., Karaman, M. & Matavulj, M.N. (2011): Antimicrobial properties of ZnO nanoparticles incorporated in polyurethane varnish. *Processing and Application of Ceramics*. 5 (1), pp.:41–45. doi:10.2298/pac1101041z
- [80] Cigula, T., Hudika, T. & Vukoje, M. (2021): Modulation of water based commercial varnish by adding ZnO and SO₂ nanoparticles to enhance protective function on printed packaging. In: 2. International Circular Packaging Conference. Ljubljana, Slovenia: ICP; FTPO Slovenia, pp.: 249–260
- [81] Hudika, T., Cigula, T. & Vukoje, M. (2021): Antimicrobial properties of TiO₂ nanocomposite coating. In: *Proceedings 13th International Conference on Nanomaterials - Research & Application*, pp.: 351–358. doi:10.37904/nanocon.2021.4345
- [82] Wang, Z.Y., Liu, F.C., Han, E.H., Ke, W. & Luo, S.Z. (2009): Effect of ZnO nanoparticles on anti-aging properties of polyurethane coating. *Chinese Science Bulletin*. 54 (19), pp.:3464–3472. Available at: doi:10.1007/s11434-009-0024-7
- [83] Hudika T, Cigula T, Golub F, Aleksić G, (2022) LIGHTFASTNESS OF LITHOGRAPHIC PRIMARY COLOURS COATED WITH NANOCOMPOSITES COMPOSED OF TIO₂ AND WATER-BASED VARNISH, In *Proceedings - The Eleventh International Symposium GRID 2022*. pp.:146-152
- [84] Várza Ferenc (2020): *Adaptációs lehetőségek az UV-Flexo nyomtatási technológiában (1. rész)* MAGYAR GRAFIKA 64: 6 pp.: 14-17.
- [85] Várza Ferenc ; Horváth Csaba (2022): *A fehérnyomtatás fejlesztési lehetőségei: vizsgálatok a flexográfiai nyomtatás területén*

MAGYAR GRAFIKA 66: 1 pp.: 4-8.

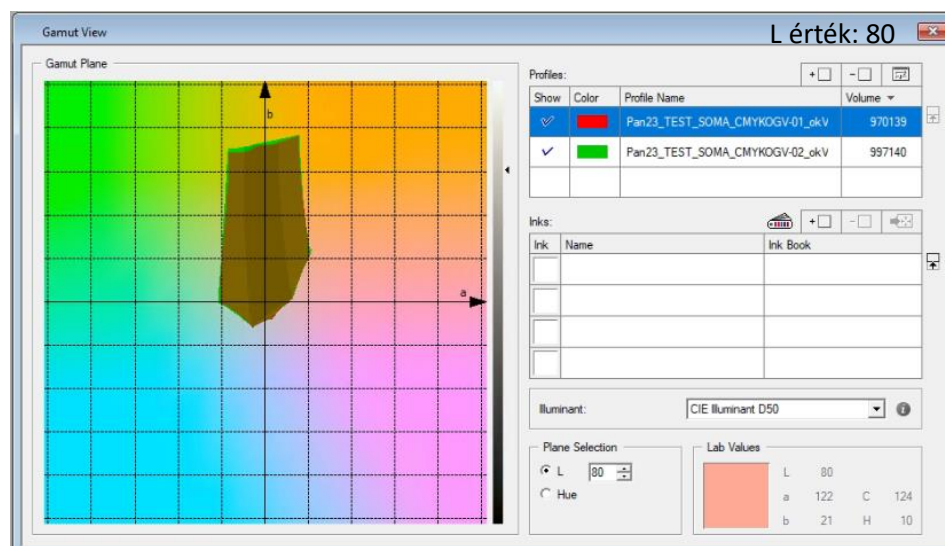
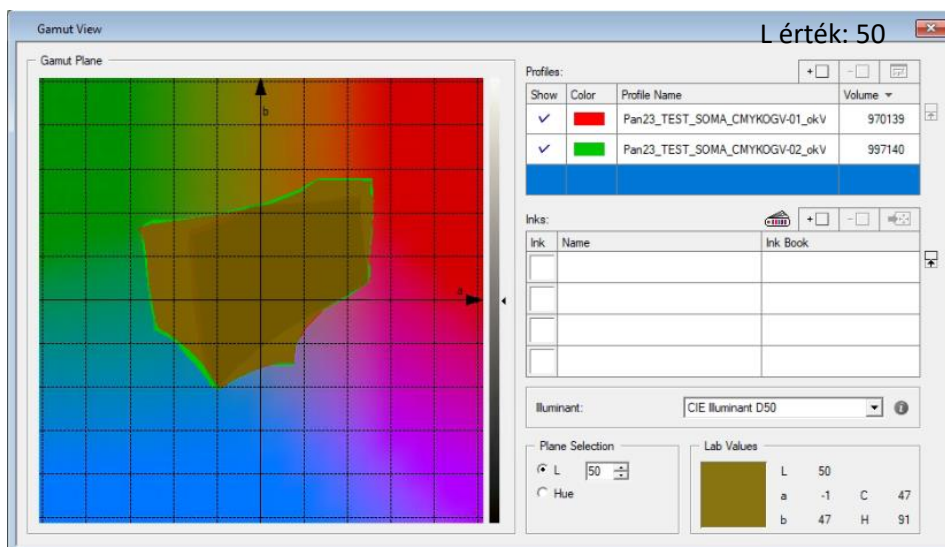
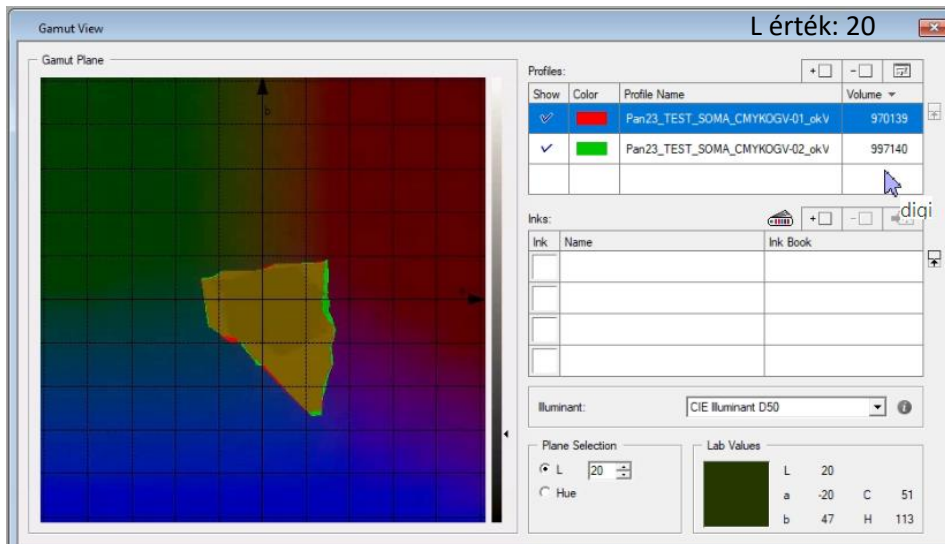
[86] Várza Ferenc ; Horváth Csaba; Joóbné Preklet Edina (2023):
Innovatív felületnemesítés flexonyomtatásban: a matt lakkozásban rejlő speciális lehetőségek vizsgálata

MAGYAR GRAFIKA 67:1 pp. 42-48.

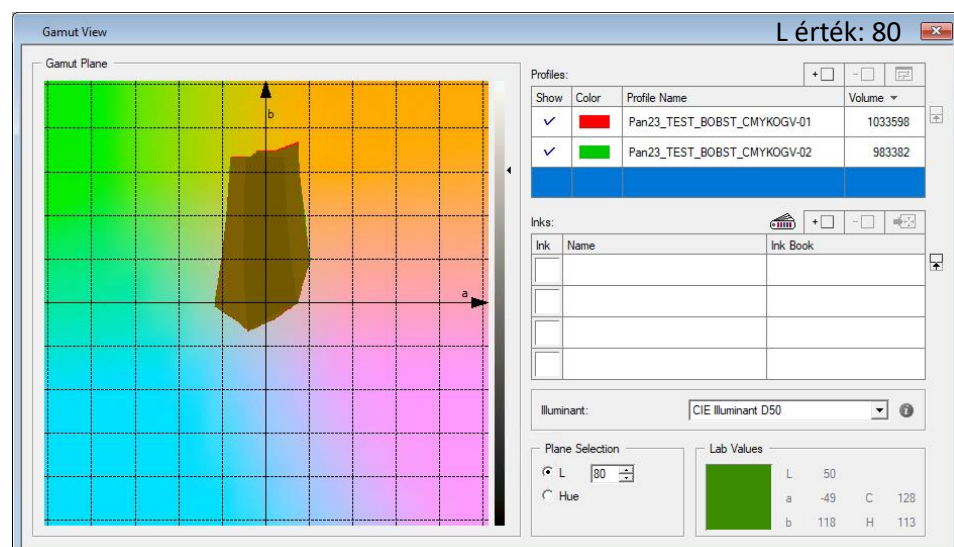
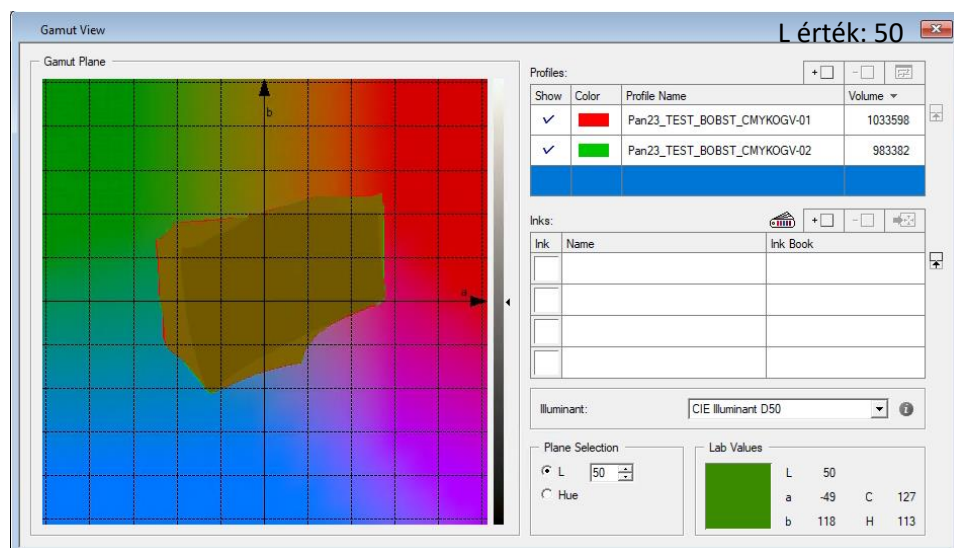
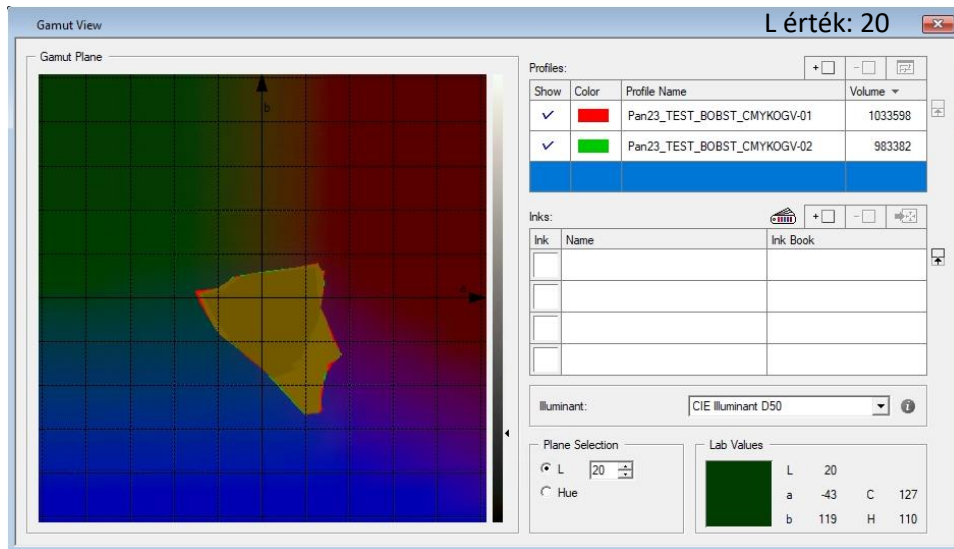
13. Melléklet:

13.1. Mérési eredmények, színtérmetszetek

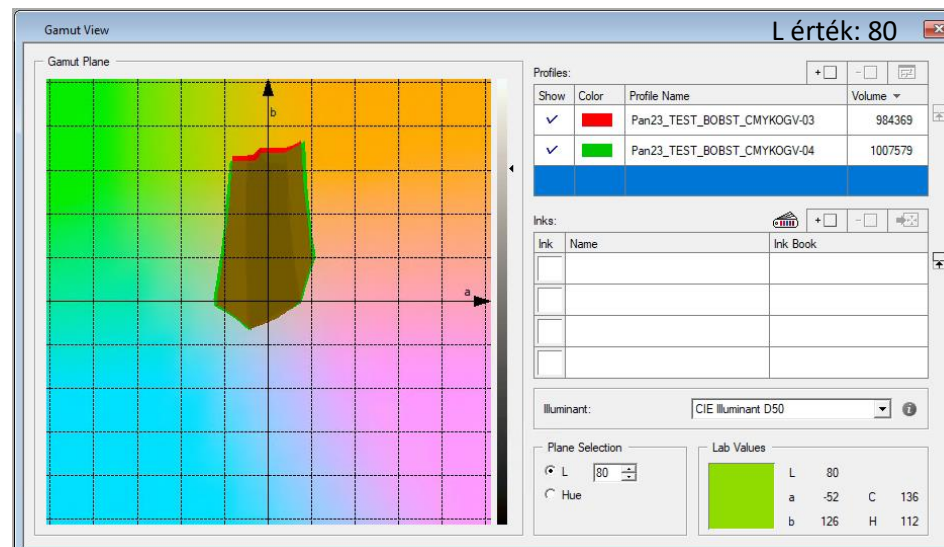
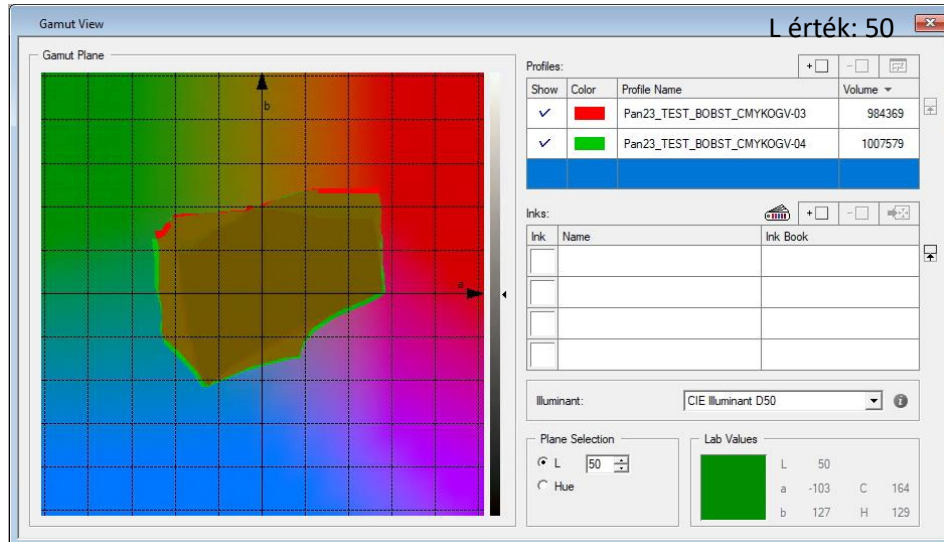
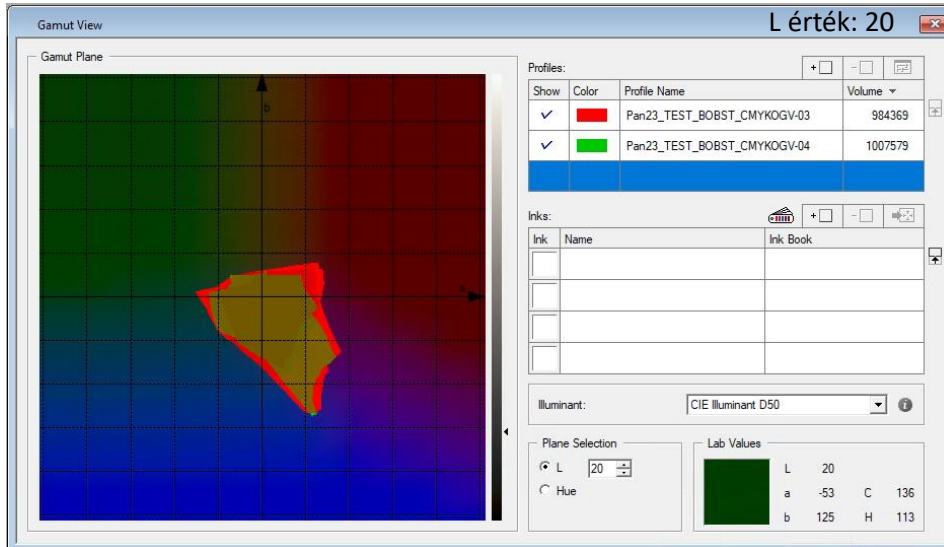
A nyomtatott tesztábrák színtereinek kiméréséből keletkezett színtér metszeteket az alábbiakban ismertetem három különböző fényességi érték esetén (L: 20, 50, 80), különböző nyomtatási technológiák esetén: Soma – oldószeres flexo nyomtatás, Bobst – UV flexo nyomtatás, lakkozott és lakk nélküli felületeken.



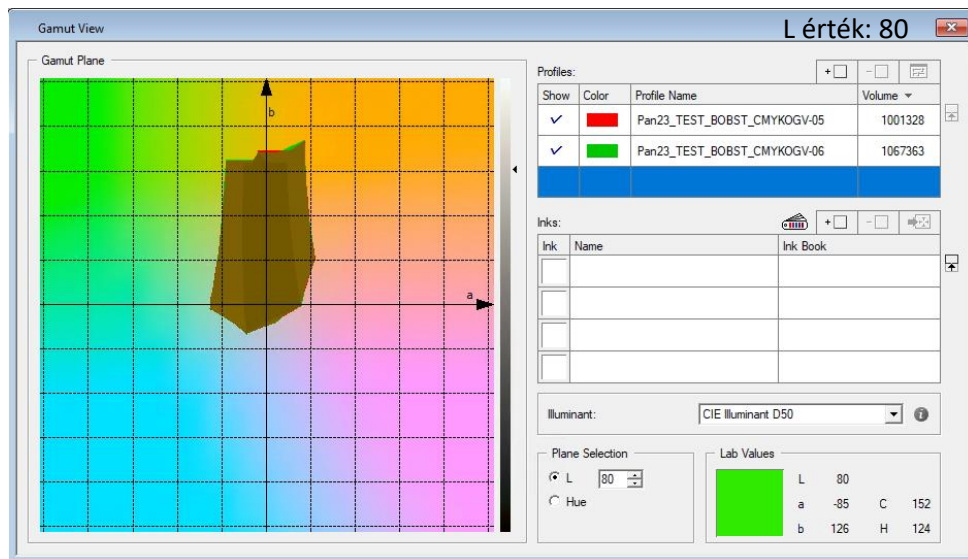
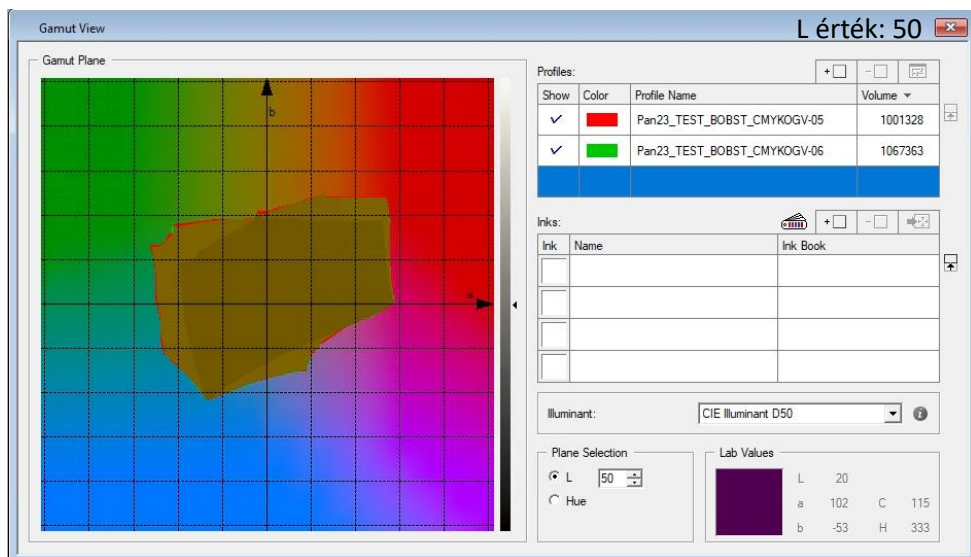
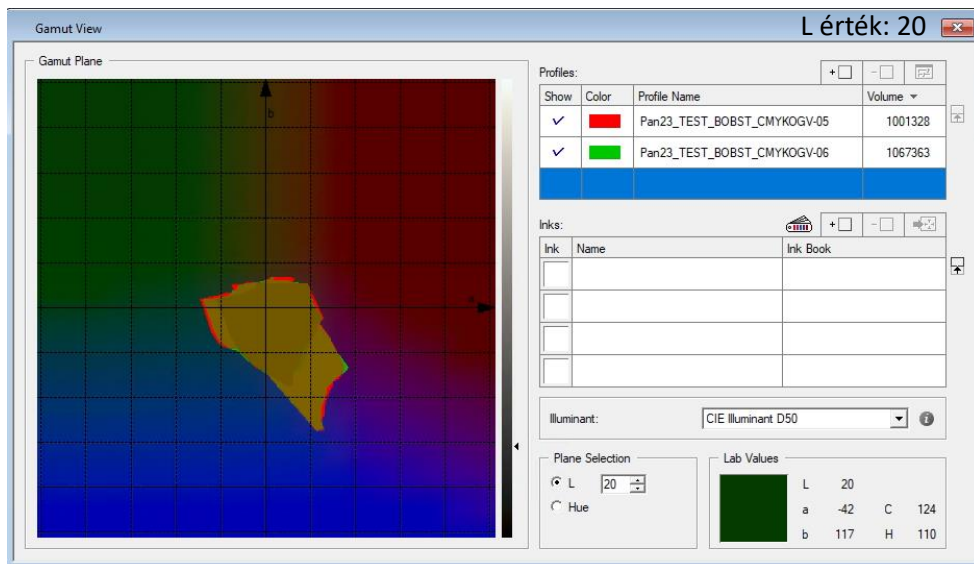
M1 ábra: Soma színnyomógép, oldószeres technológia, 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1-2; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



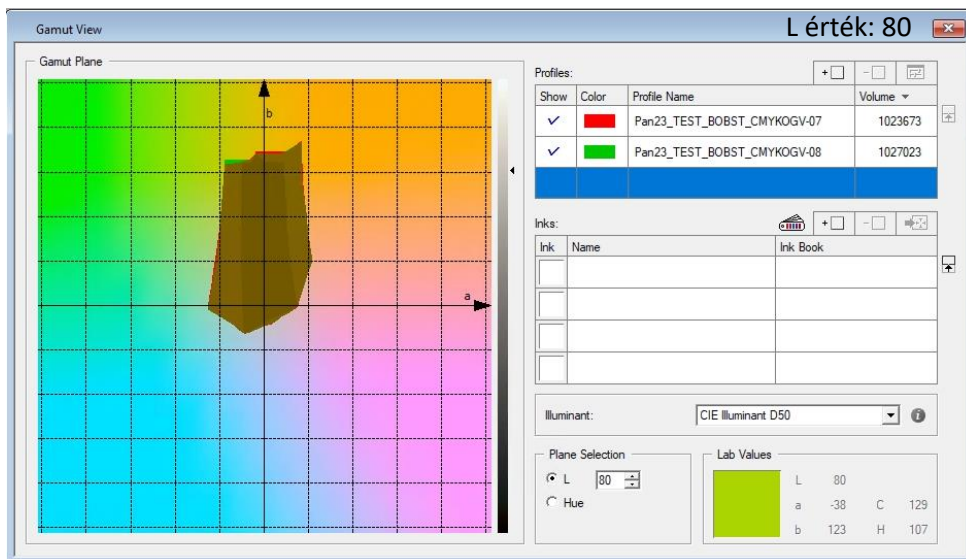
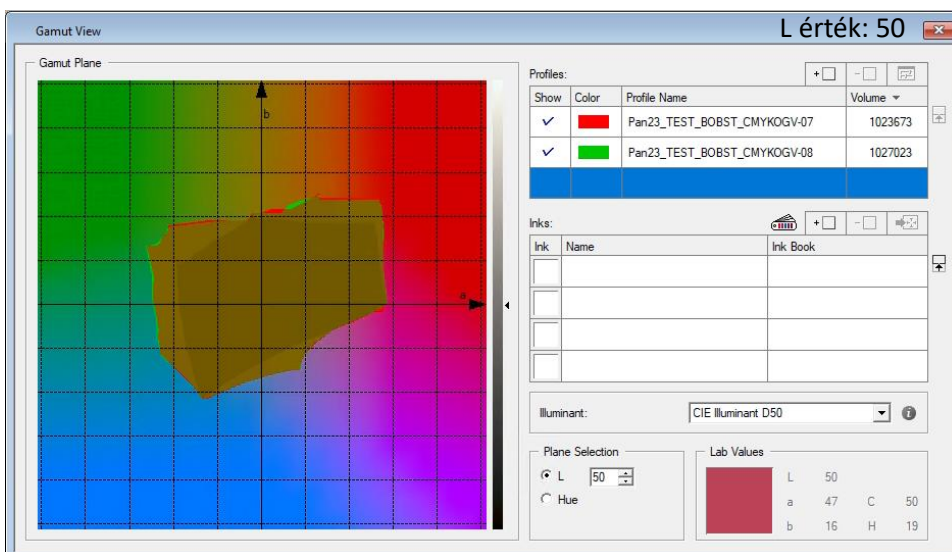
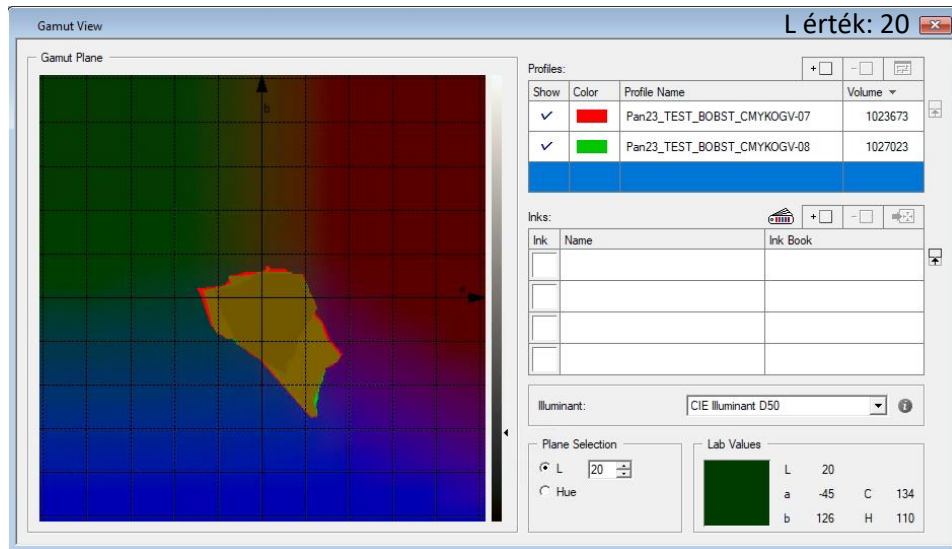
M2 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1-2; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



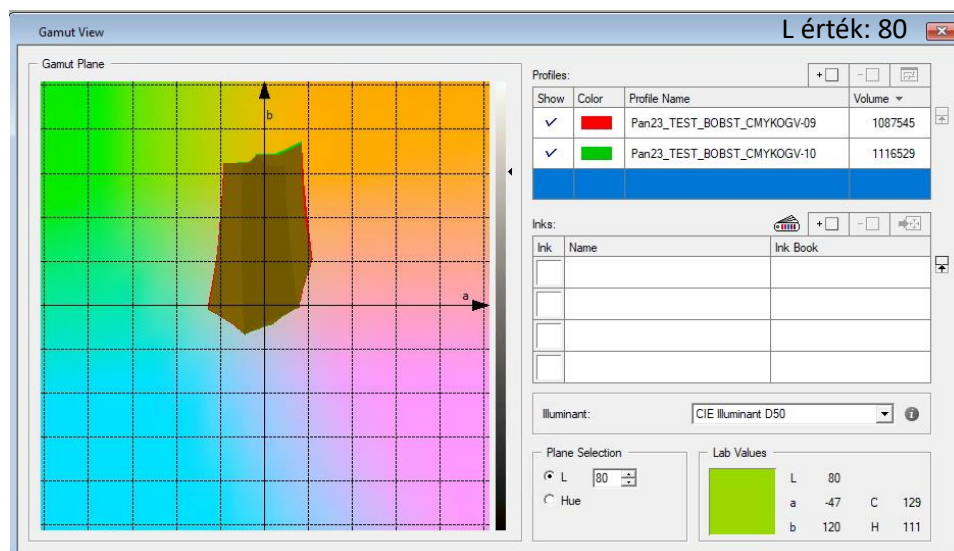
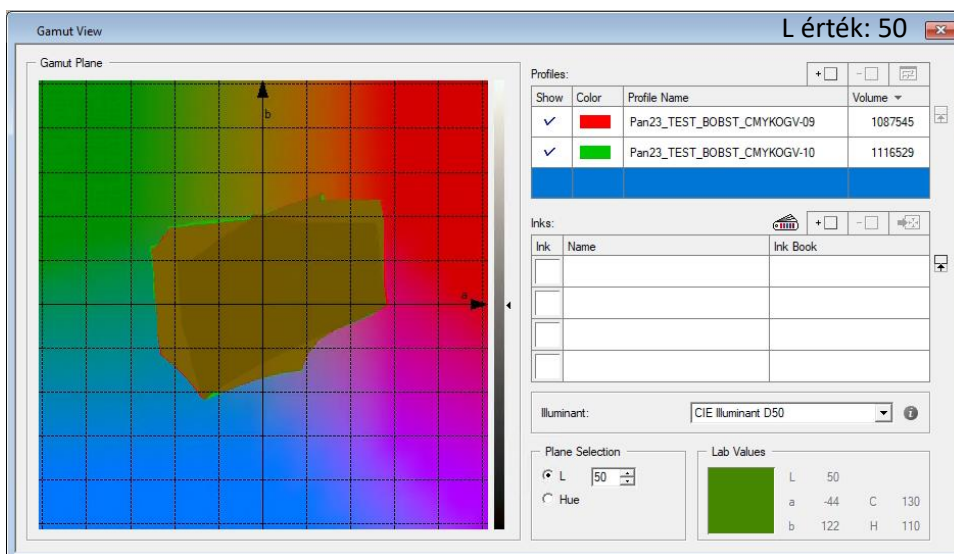
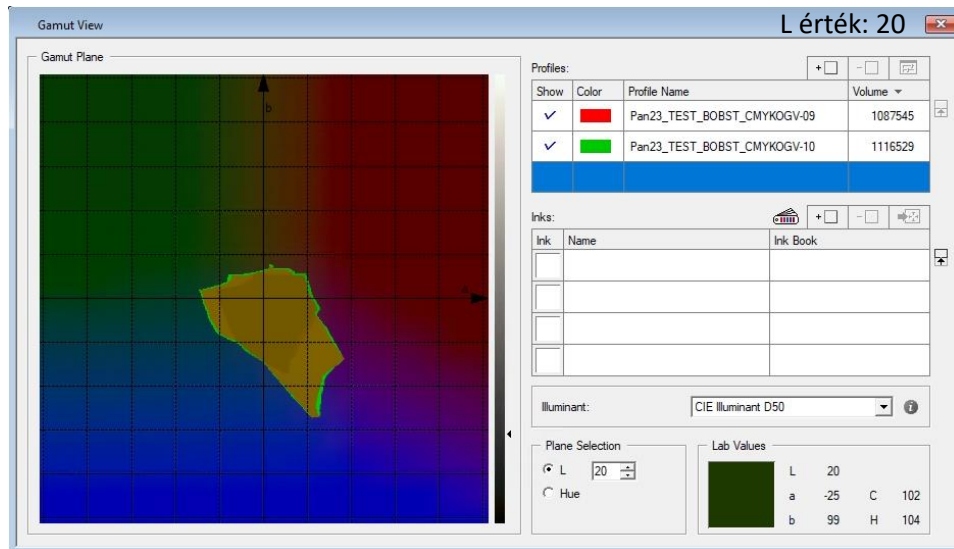
M3 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 3-4; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



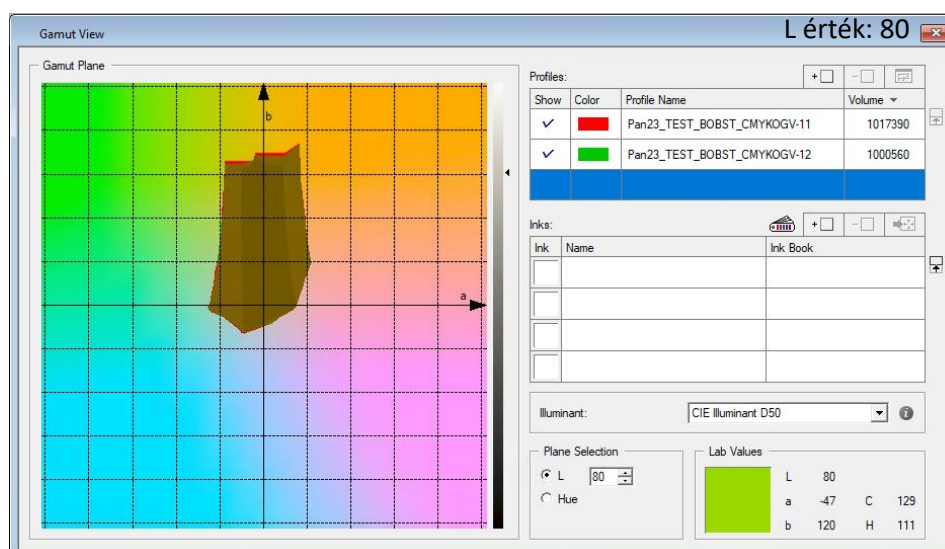
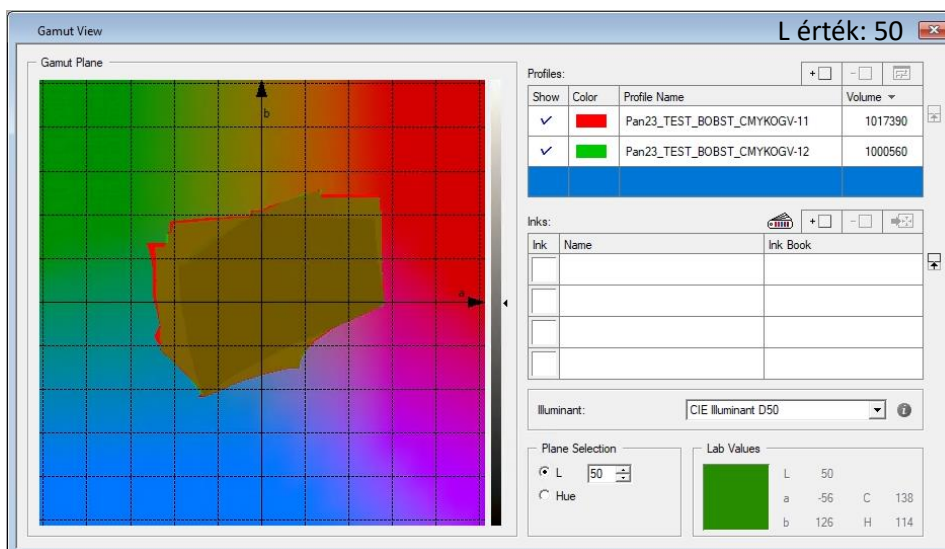
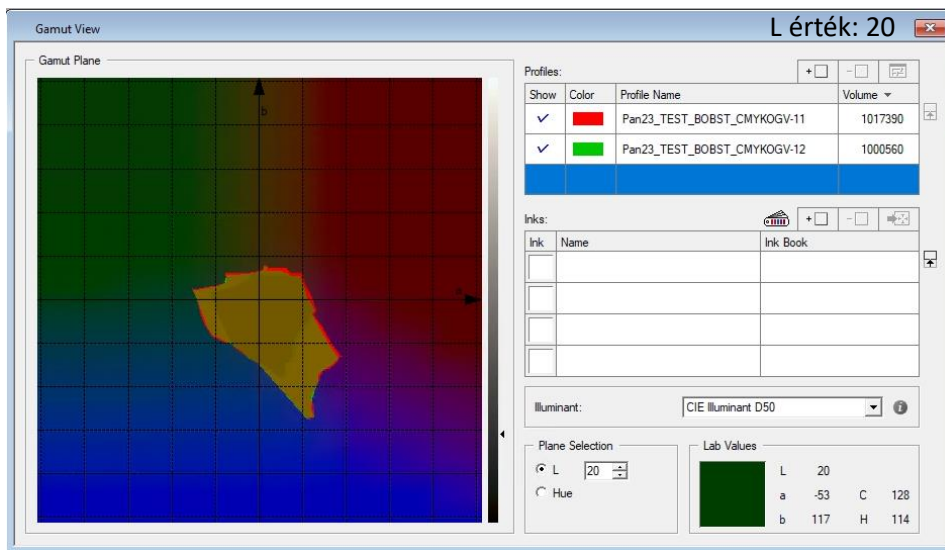
M4 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 5-6; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



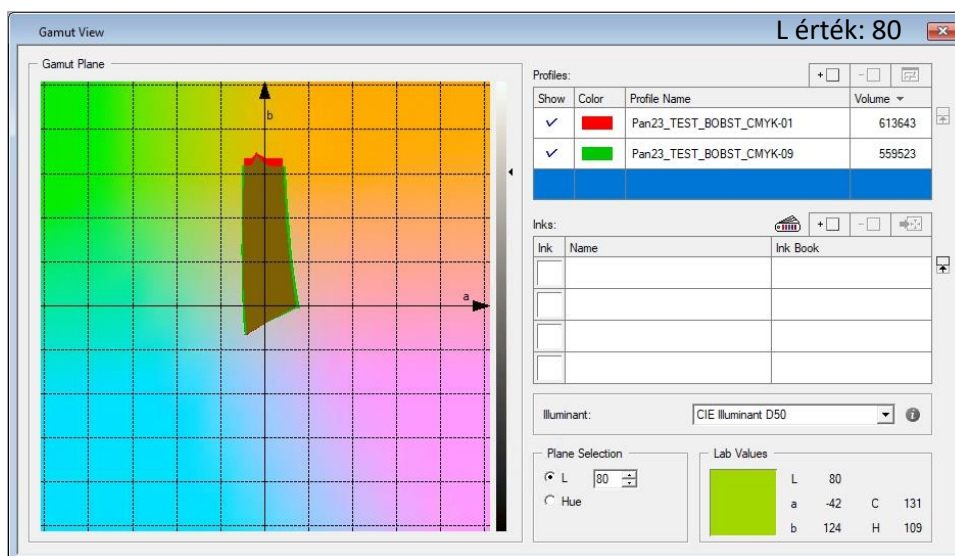
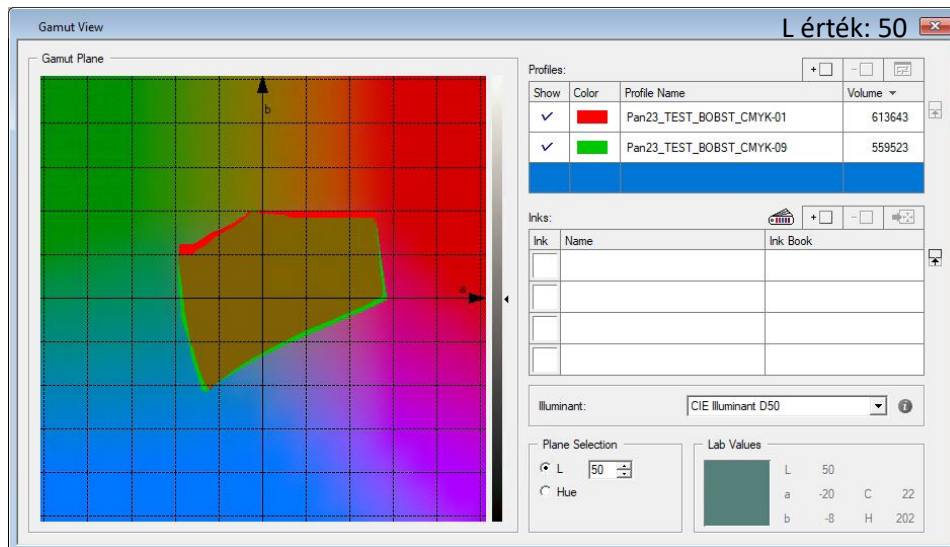
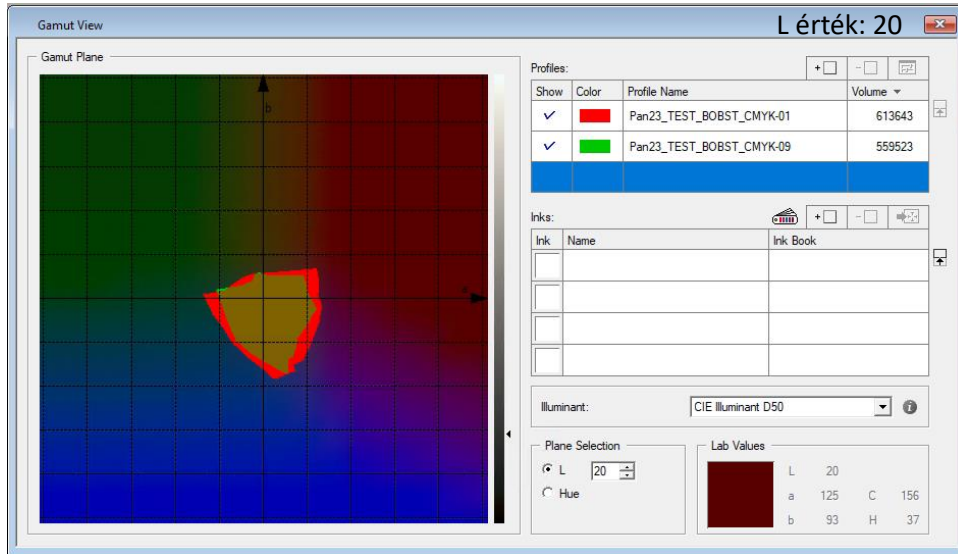
M5 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 7-8; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



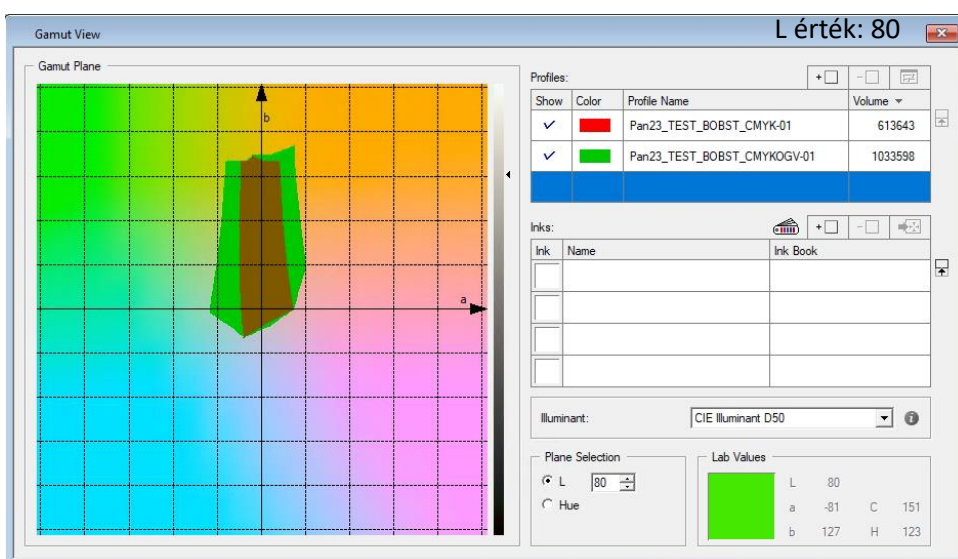
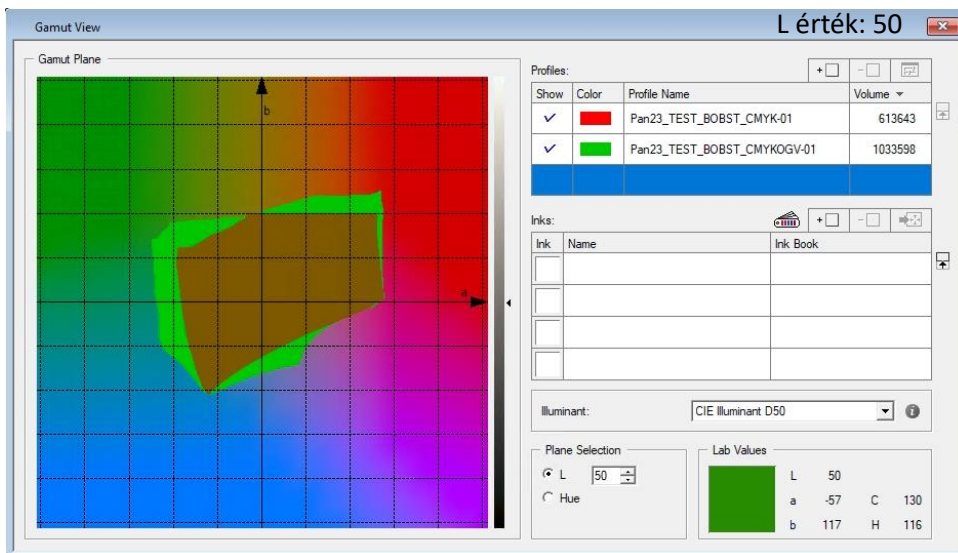
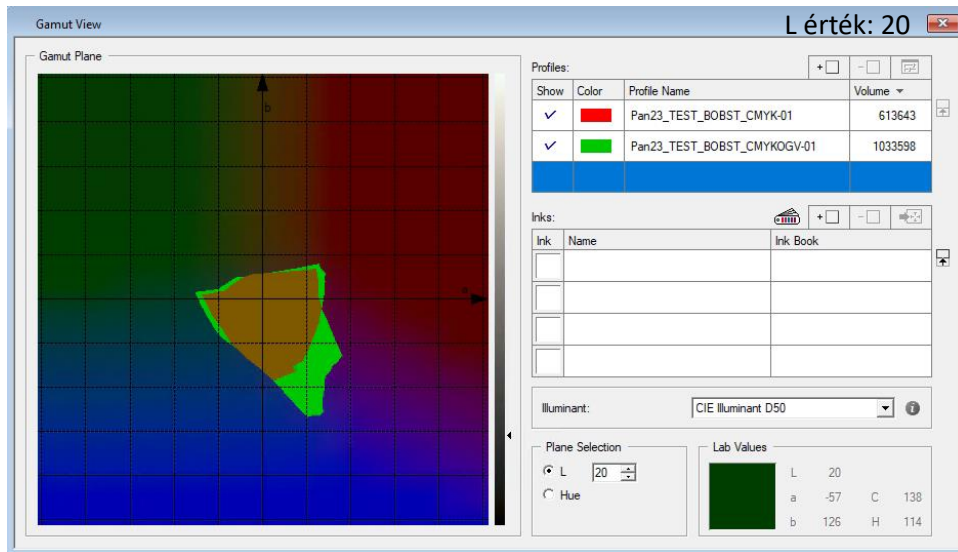
M6 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 9-10; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



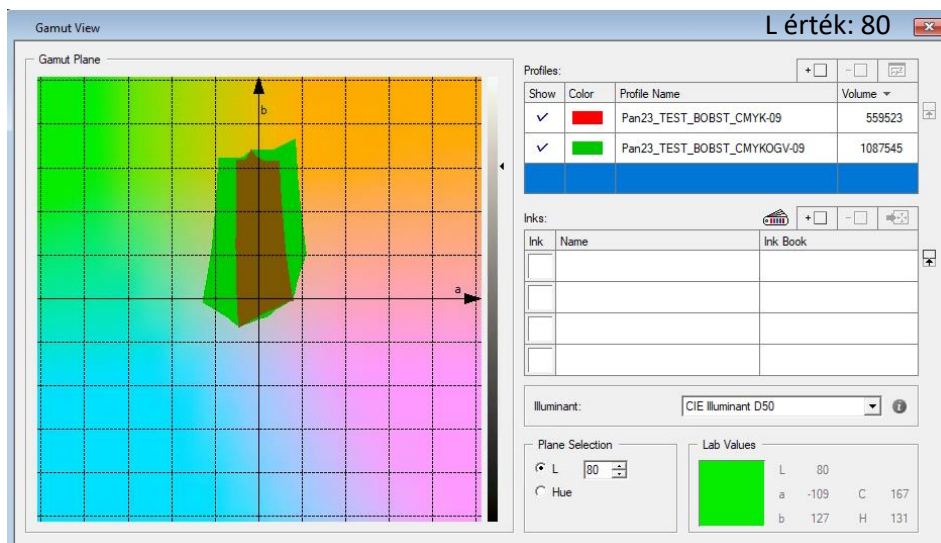
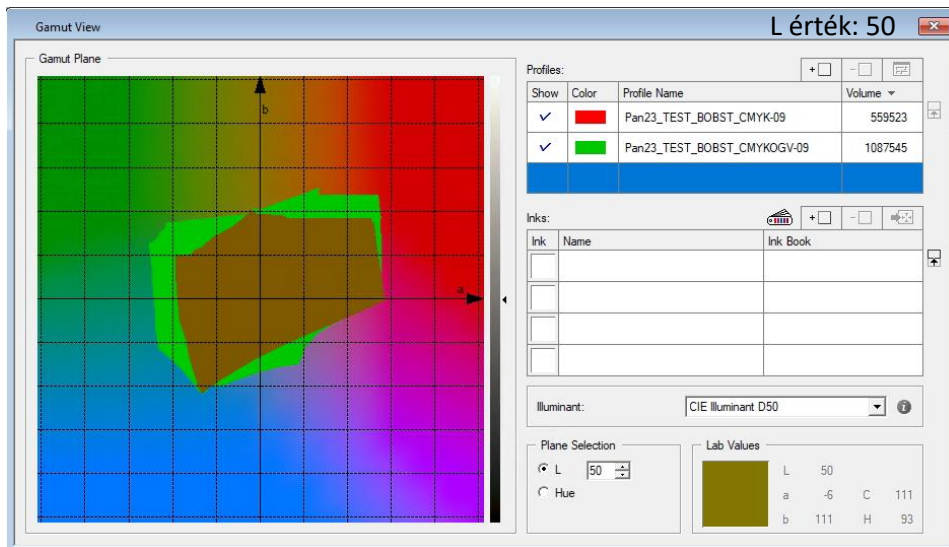
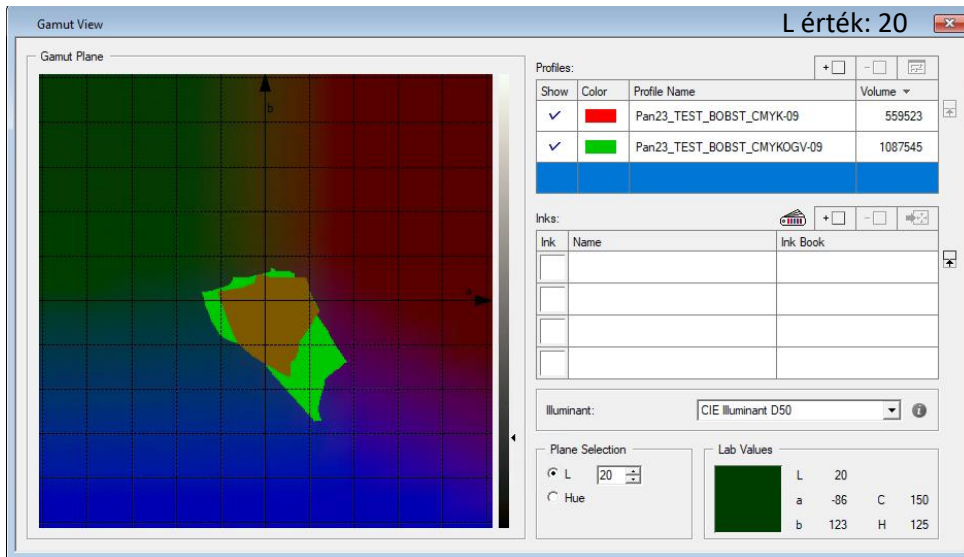
M7 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 11-12; L : 20, 50, 80 fényességi érték esetén



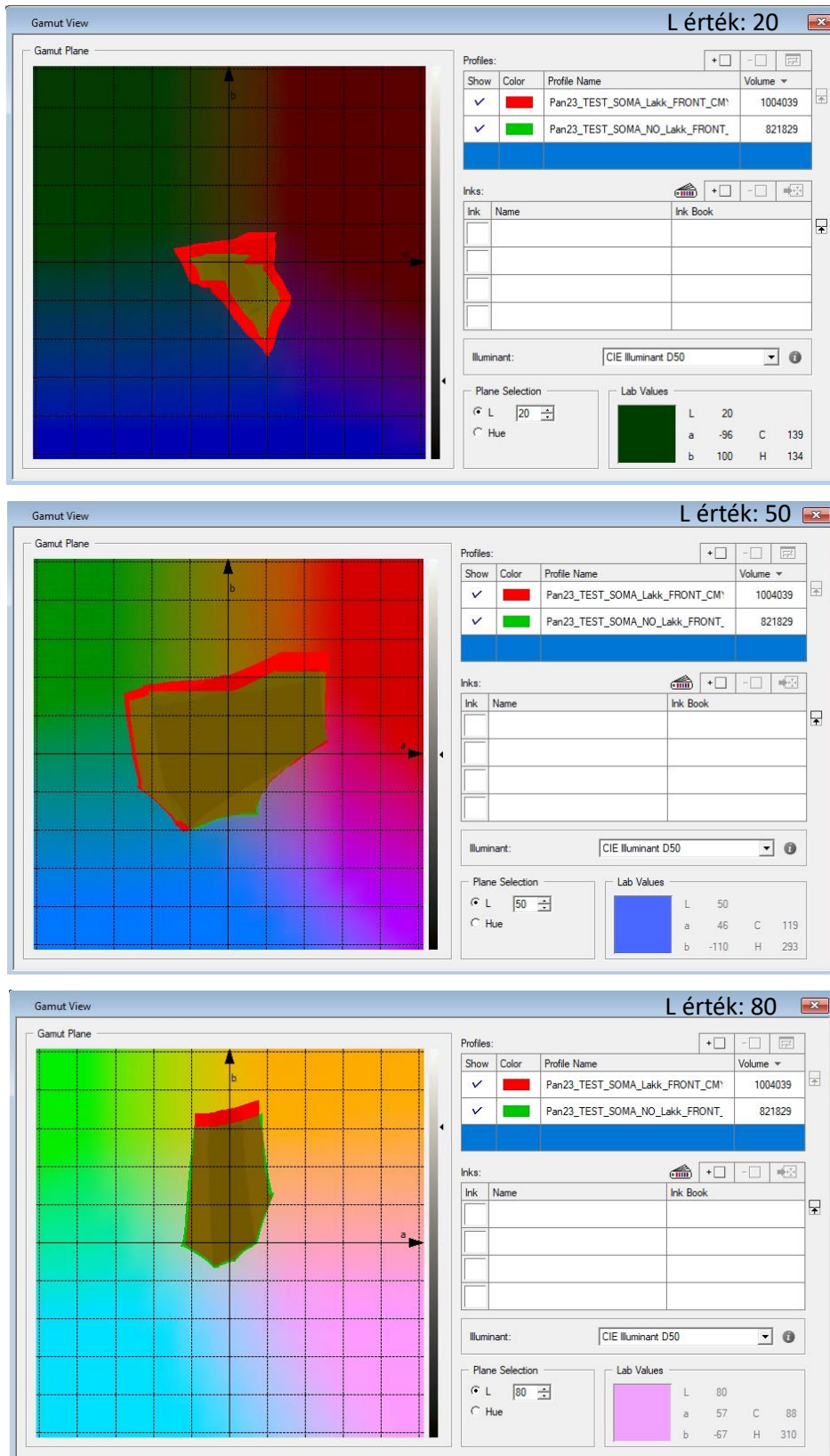
M8 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 4 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1-9; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



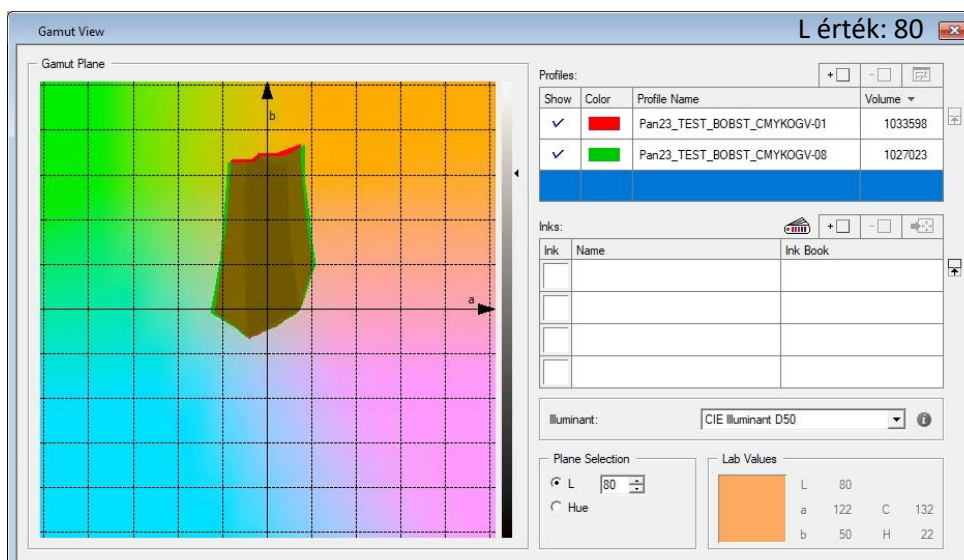
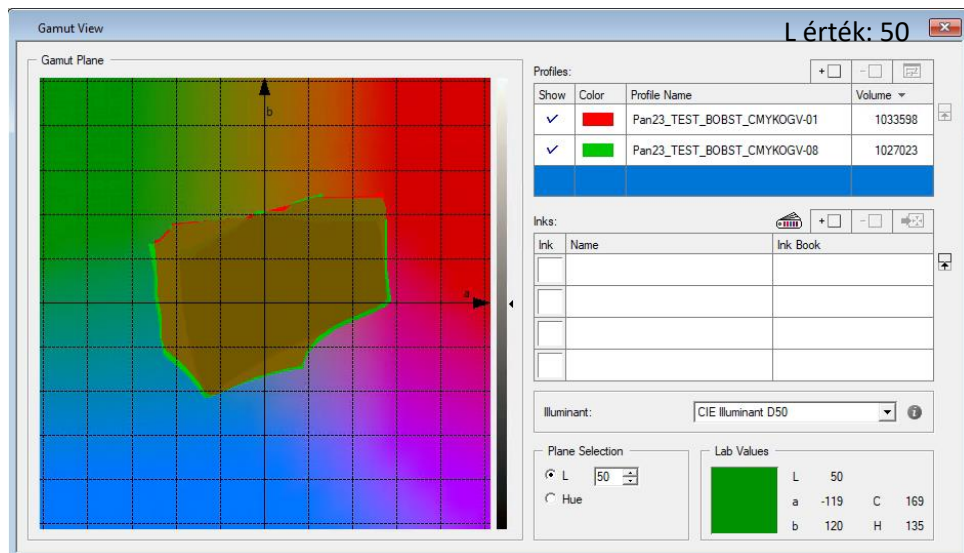
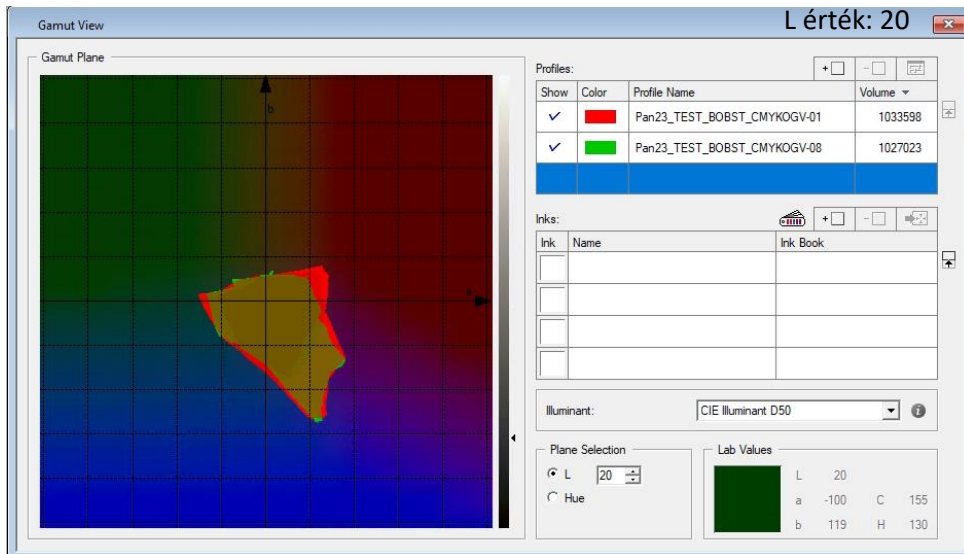
M9 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes és 4 színes nyomtatási rendszer összevetése; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



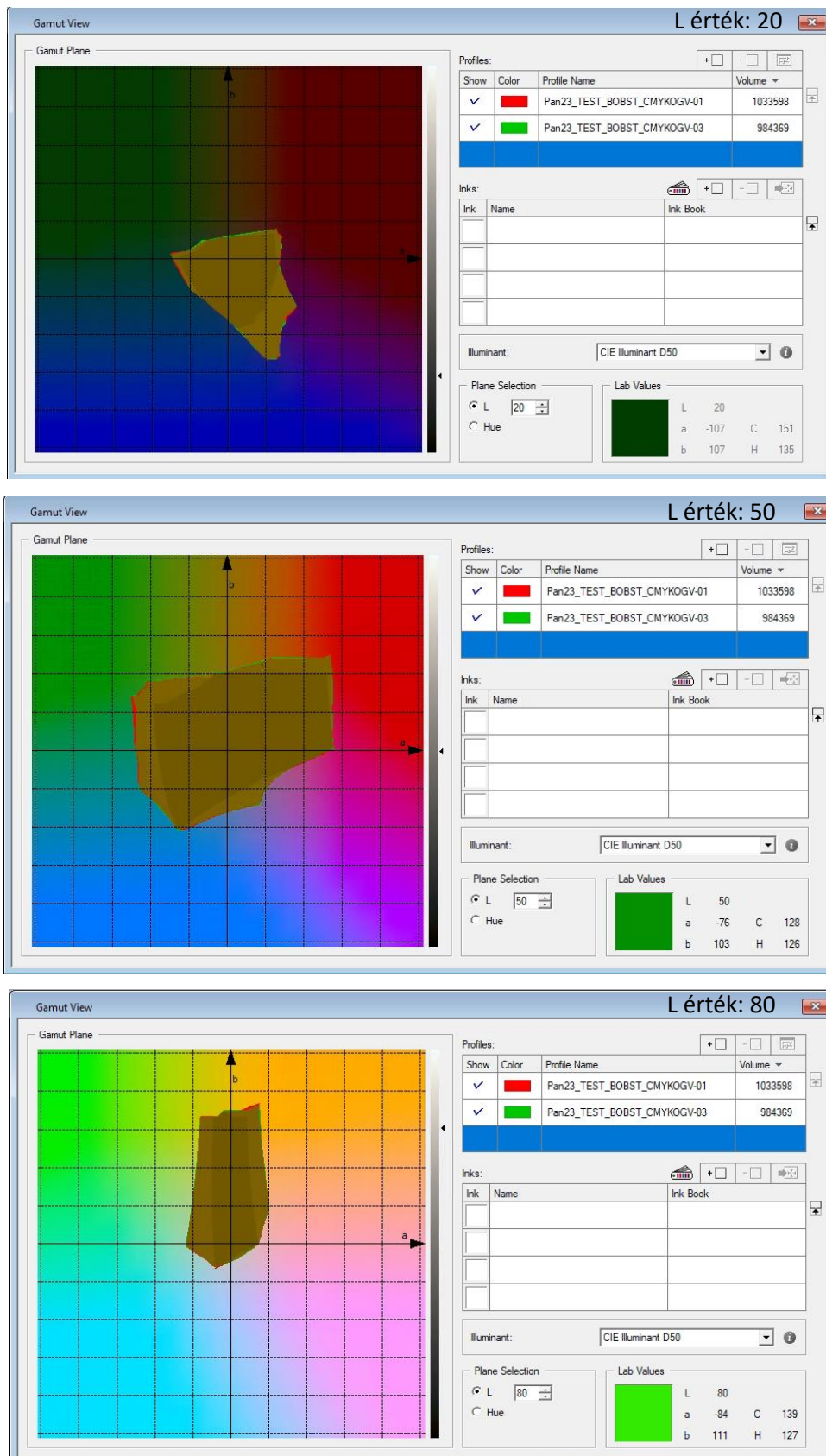
M10 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 9-9; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



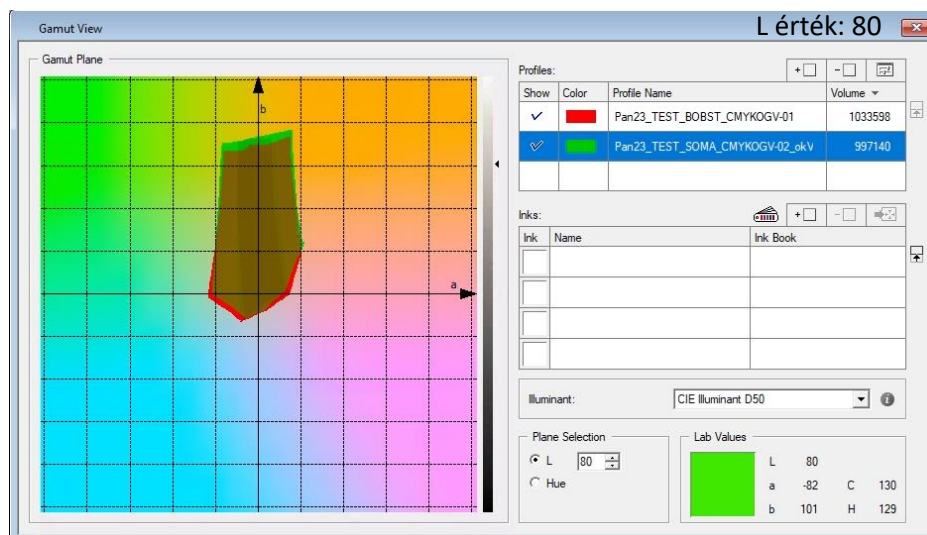
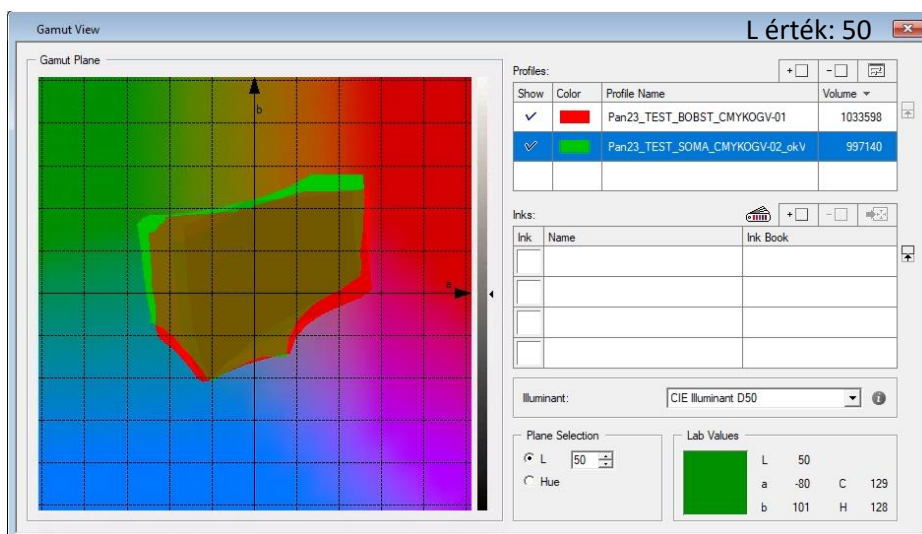
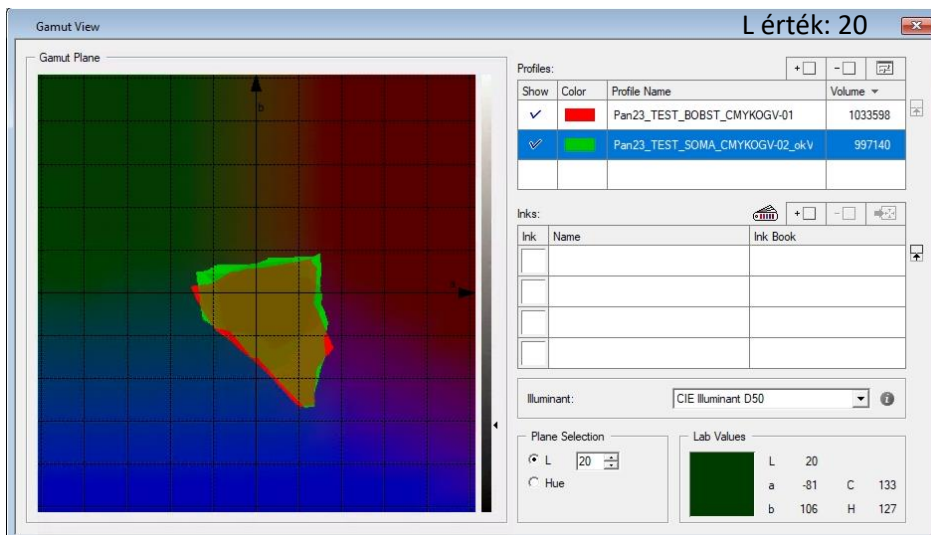
M11 ábra: Soma – oldószeres flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer lakkozott és lakk nélküli felületeken; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



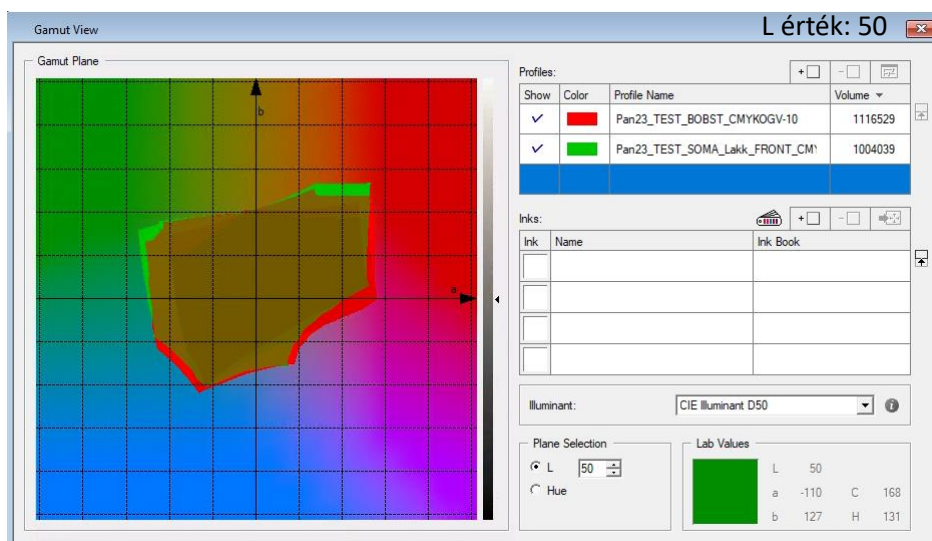
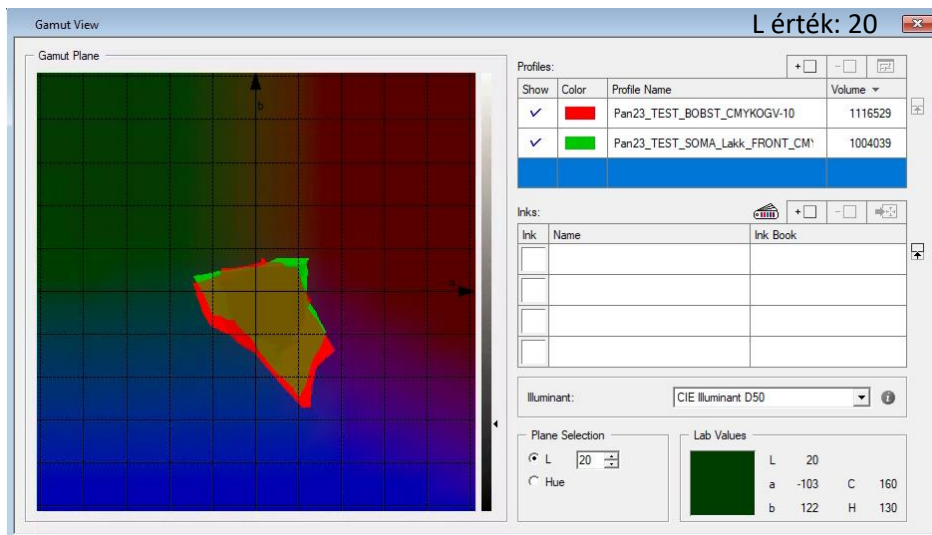
M12 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1-8; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



M13 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1-3; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



M14 ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 1 Soma színnyomógép, oldószeres technológia, 7 színes nyomtatási rendszer
Minta: 14; L: 20, 50, 80 fényességi érték esetén



M15. ábra: Bobst színnyomógép, UV flexo direkt nyomtatás 7 színes nyomtatási rendszer Minta:10– Soma színnyomógép, oldószeres technológia, 7 színes nyomtatási rendszer, direkt nyomtatás Minta:15 lakk nélküli felületeken; L: 20, 50 fényességi érték esetén

13.2. Mérési eredmények, festékvizkozitáció

A festékek viszkozitási értékének meghatározására a MYR V1-es típusú rotációs viszkozimétert használtuk, a méréseket mind a négy alapszín (C, M,Y,K) esetében elvégeztük. A mérési adatokat színenként az alábbi táblázatok mutatják.

M1 táblázat: Cián festék viszkozitási értékei 22,4 -27,4 °C fokon 20-200 RPM nyíróigénybevétel mellett

Cián L2	
Hőmérséklet: 22,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
91	20
89	30
85	50
84	60
82	100
88	200

Cián L2	
Hőmérséklet: 25,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
91	20
83	30
80	50
79	60
76	100
81	200

Cián L2	
Hőmérséklet: 23,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
104	20
103	30
92	50
89	60
85	100
91	200

Cián L2	
Hőmérséklet: 26,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
87	20
81	30
78	50
76	60
74	100
79	200

Cián L2	
Hőmérséklet: 24,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
100	20
98	30
93	50
89	60
85	100
88	200

Cián L2	
Hőmérséklet: 27,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
83	20
77	30
74	50
72	60
71	100
77	200

M2 táblázat: Magenta festék viszkozitási értékei 22,4 -27,4 °C fokon 20-200 RPM nyíróigénybevétel mellett

Magenta L2	
Hőmérséklet: 22,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
132	20
125	30
115	50
111	60
105	100
102	200

Magenta L2	
Hőmérséklet: 25,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
109	20
103	30
93	50
89	60
83	100
79	200

Magenta L2	
Hőmérséklet: 23,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
130	20
122	30
111	50
108	60
100	100
98	200

Magenta L2	
Hőmérséklet: 26,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
116	20
111	30
102	50
98	60
93	100
92	200

Magenta L2	
Hőmérséklet: 24,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
127	20
117	30
107	50
105	60
99	100
96	200

Magenta L2	
Hőmérséklet: 27,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
116	20
110	30
101	50
97	60
91	100
89	200

M3 táblázat: Cián festék viszkozitási értékei 22,4 -27,4 °C fokon 20-200 RPM nyíróigénybevétel mellett

Sárga L1	
Hőmérséklet: 22,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
127	12
117	20
114	30
109	50
130	10
135	6

Sárga L2	
Hőmérséklet: 25,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
127	20
122	30
114	50
111	60
106	100
108	200

Sárga L2	
Hőmérséklet: 23,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
137	20
145	30
130	50
129	60
123	100
123	200

Sárga L2	
Hőmérséklet: 26,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
120	20
112	30
106	50
105	60
102	100
104	200

Sárga L2	
Hőmérséklet: 24,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
126	20
121	30
114	50
114	60
110	100
112	200

Sárga L2	
Hőmérséklet: 27,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
116	20
110	30
103	50
102	60
98	100
101	200

M4 táblázat: Fekete festék viszkozitási értékei 22,4 -27,4 °C fokon 20-200 RPM nyíróigénybevétel mellett

Fekete L2	
Hőmérséklet: 22,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
100	20
96	30
90	50
89	60
88	100
96	200

Fekete L2	
Hőmérséklet: 25,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
92	20
90	30
85	50
83	60
82	100
88	200

Fekete L2	
Hőmérséklet: 23,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
99	20
95	30
90	50
88	60
87	100
93	200

Fekete L2	
Hőmérséklet: 26,4 °C	
Viszkozitás (mPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
91	20
87	30
83	50
82	60
80	100
87	200

Fekete L2	
Hőmérséklet: 24,4 °C	
Viszkozitás (MPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
94	20
92	30
86	50
84	60
83	100
90	200

Fekete L2	
Hőmérséklet: 27,4 °C	
Viszkozitás (MPa*s)	Nyíró igénybevétel (RPM)
90	20
86	30
81	50
79	60
78	100
85	200

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, Joóbné Dr. Preklet Edinának és társ-témavezetőmnek Dr. habil Horváth Csabának a folyamatos segítséget, támogatást és biztatást, az építő kritikákat, amelyet a doktori tanulmányaim, publikációim- és disszertációm elkészítése során tőlük kaptam.

Továbbá hálás köszönettel tartozom Huszár Zsoltnak és Szakos Jánosnak az Intergraf Digiflex Kft munkatársainak, akik nem csak a vizsgálatok elvégzésében voltak segítségemre, hanem javaslataik és lelkes közreműködésük is mindig nagyon ösztönzően hatott rám. Köszönöm a Pandan Kft.-ben dolgozó kollégáimnak a sok munkát és türelmet, és a tulajdonosi kör minden tagjának, hogy toleránsak voltak és lehetővé tették a tesztek megvalósulását.

Köszönöm feleségemnek Várza - Banga Juditnak azt, hogy hitt bennem, a kutatásaim kezdetétől mellettem volt és mindenben számíthattam rá.

Kutatásaim során az Innovációs és Technológiai Minisztérium Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatását is sikeresen felhasználtam. „Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-22-3-II kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”