



ÓBUDAI EGYETEM

**Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar
Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet**

**Nedvesítőfolyadékmentes ofszetnyomtatás során használt
nyomdafestékek reológiájának vizsgálata**

**OE
RKK
2024.**

Hallgató neve:

Fehér Tibor

Hallgató törzskönyvi száma:

T- 004008/FI12904/R

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. SAJÁT EREDMÉNYEK	5
2.1. MEGOLDOTT TUDOMÁNYOS KÉRDÉSEK	5
2.2. FELHASZNÁLT MÉRÉSI, SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK	5
2.3. EREDMÉNYEK	5
2.4. MESTERSÉGES INTELLIGENCIA HASZNÁLATA	6
3. IRODALMI RÉSZ	7
3.1 FESTÉKEK VISZKOZITÁSA	7
3.1.1 Az ofszetfestékek viszkozitásának hőmérsékletfüggése	7
3.1.2 Az ofszetfestékek reológiájának függése az UV-pigment arányától	7
3.2. A PÉNZJEGYNYOMDA ZRT-BEN HASZNÁLT, NYOMDAFESTÉKEK REOLÓGIÁJÁNAK VIZSGÁLATÁRA ALKALMAS MÉRŐMŰSZEREK	9
3.2.1 Viskoziméter	9
3.2.2 Tackometer	11
3.3. OFSZETFESTÉKEK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI	12
4. VIZSGÁLATI RÉSZ	14
4.1. A FESTÉK ISMERT ÉS MEGMÉRT PARAMÉTEREI	14
4.1.1 A vizsgált festékek összetétele	14
4.1.2 A PJ005 és PJ982 festékek korábban mért viszkozitás értékei	14
4.1.3 Pigment nélküli festékek	15
4.1.4 Más UV-pigmentet különböző arányokban tartalmazó festék	15
4.2. A VIZSGÁLT FESTÉKEK MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK FELDOLGOZÁSA	16
4.2.1 Viskozitás	16
4.2.2 Tack	23
4.3. JAVASLATOK A FELVETETT PROBLÉMÁK MEGOLDÁSÁRA	30
5. ÖSSZEFOGLALÁS	31
6. IRODALOMJEGYZÉK	32
7. FÜGGELÉK	33

1. BEVEZETÉS

Dolgozatomban egy különleges nyomtatási eljárás, a nedvesítőfolyadékmentes ofsetnyomtatás festékjeinek reológiáját vizsgálom. Ez egy olyan nyomtatási technológia, melyben a hagyományos nedvesítő oldat helyett szilikonréteggel bevont nyomólemezt használnak. Az eljárás során a nyomólemez nem igényel vizet vagy más nedvesítő folyadékot a nemnyomó elemek elkülönítésére, ami több előnyt is kínál. Legszélesebb körben a japán Toray nevű cég forgalmazza ezeket a nyomólemezeket. [1]

A Dolgozatban egy olyan témával foglalkozom, ami a munkahelyem, a Pénzjegynyomda Zrt. egyik termékének gyártásával kapcsolatos. Ezt a nyomtatványt polikarbonát anyagú nyomathordozóra nyomtatják nedvesítőfolyadékmentes ofsetnyomtatással. A használt nyomógép egy, egy menetben 5+0 szín nyomtatására alkalmas Heidelberg Speedmaster 52 típusú nyomógép. Maximum B/3 formátumú nyomathordozók gyártására alkalmas. A nyomógép UV-száradású ofsetfestékekkel dolgozik, és az egyik nyomóművében írisznyomtatást végeznek, a két festék szabad szemmel szinte ugyanolyan árnyalatú, zöld színű. [2] Azonban, ha az egyik festékre 365 nm hullámhosszúságú UV-sugárzást bocsájtok, akkor az vörös színben, ha a másik festékre 254 nm hullámhosszú UV-sugárzást ejtek, akkor az sárga színben emittál. Ennek megfelelően az egyik festék neve PJ005 (ez a vörösén emittáló pigmentet tartalmazó festék), a másiké PJ982. A Dolgozatban a termékgyártás során, az írisznyomtatással kapcsolatban fellépő problémát vizsgálom. A PJ005 festék a tapasztalatok szerint jól nyomtatható, míg a PJ982 ezzel szemben nehezen. Azt látják, hogy utóbbi festékben a nyomathordozóra kerülve kirakódik a pigment, ami a nyomatkép minőségét rontja, nem kívánt csíkozás figyelhető meg. A kérdés, amire a választ keresem az, hogy mi okozza ezt a jelenséget és hogy gyártás közben milyen módon avatkozzanak be, hogy leküzdhesék ezt az problémát.

A vizsgálat során egy, a nyomtatás során fellépő jelenséget vizsgállok. Tapasztalat szerint ezzel, a Toray cég által gyártott nyomóformával gyártott nyomat minősége igen érzékenyen reagál a nyomómű hőmérsékletére. Igen pontosan kell beállítani ezt az értéket. Ennek oka az, hogy a festék viszkozitása erősen függ a hőmérséklettől. A nyomat minősége a festék viszkozitásától függ és ez a hőmérséklettel együtt változik. [3] E mellett a festékbe kevert pigment maga is hatással van a festék reológiájára, de ez a hatás pontosan nem ismert. E két kérdés képezi a Dolgozatom tárgyát.

A Dolgozat vizsgálati részében elemzem a festékek viszkozitásának hőmérsékletfüggését és kutatom a festékbe kevert UV-pigment arányával fennálló kapcsolatot. [4] Ezekkel

kapcsolatban a Pénzjegynyomda Zrt. saját telephelyén lévő laboratóriumában méréseket végzek.

Vizsgálataim célja a nyomtatás során tapasztalt nehézségek megmagyarázása, továbbá megoldási javaslat megfogalmazása.

2. SAJÁT EREDMÉNYEK

2. 1. MEGOLDOTT TUDOMÁNYOS KÉRDÉSEK

- Milyen összefüggés található a festékbe kevert UV-pigment és a festék reológiája (viszkozitás, tack érték) között?
- E összefüggéseknek az egyes UV-pigmentekre jellemző matematikai alakjának felírása.
- Annak bizonyítása, hogy az egyes UV-pigmentek saját tulajdonsága az a képesség, hogy rá jellemző, egyedi módon módosítja a festék viszkozitását. Ebből következik az egyes UV-pigmentek e tulajdonságának vizsgálata, mint a nyomda számára fontos, bevezetendő igény.
- A festék viszkozitása és hőmérséklete közt fennálló összefüggés ismert. E kapcsolat kiegészítendő a bekevert pigment arányának függésével is: észrevettem, hogy a $\eta(T)$ függvény alakja függ az UV-pigment fajtájától.

2. 2. FELHASZNÁLT MÉRÉSI, SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

- A festékek viszkozitását és tack értékét a Pénzjegynyomda Zrt. saját laboratóriumában mértem ki egy Haake Rheowin AV 1 típusú viszkoziméterrel, illetve egy Inkometer – Model 2006U nevű tack-mérő műszerrel.
- Mindkét eszköz kalibrálását is elvégeztem a megfelelő mérési pontosság eléréséhez.
- Matlab szoftvert használtam az adatok elemzéséhez, görbeillesztéshez. Ezt az Óbudai Egyetem biztosította számomra.

2. 3. EREDMÉNYEK

- Sikertült mérésekkel igazolni, hogy a pigmentarány és a reológia közt szoros összefüggés van. Az egyes UV-pigmentekre ezeket az összefüggéseket fel is tudtam írni.
- Megkerestem azokat a pigmentarány-tartományokat, melyeket alkalmazva, várhatóan a korábban észlelt nyomtatási problémák nem lépnek fel.
- Tesztelés során kiderült, ez a pigmenttartomány valóban megfelelő, a probléma megszűnt.
- Megállapítottam, hogy az egyes UV-pigmentek bekeverési aránya az adott pigmentre jellemző módon hat a festék reológiájára. E jelenség mélyebb értelmezése további kutatásokat vetít előre.

2. 4. MESTERSÉGES INTELLIGENCIA HASZNÁLATA

A ChatGPT 4.0 verzióját használtam a munkám során. A dolgozatban a megfelelő helyeken lábjegyzetben feltüntettem, ahol igénybe vettem a segítségét.

3. IRODALMI RÉSZ

3.1. FESTÉKEK VISZKOZITÁSA

Mivel a vizsgálatokat a festék reológiai tulajdonságaival kezdem, ezért annak járok utána, hogy a festékek mely jellemzői okozhatják a nyomtatás során tapasztalt, nemkívánatos jelenségeket. A viszkozitás a folyadék azon tulajdonságának leírására szolgáló mennyiség, mely megmutatja, hogy ha a folyadék alkotóelemei egymáshoz képest elmozdulnak, akkor a folyadék egyes rétegei, hogy viszonyulnak egymáshoz.

A viszkozitás jele: η , mértékegysége Pa·s. [4] A folyadékok viszkozitása több fizikai mennyiségtől is függhet, úgymint a hőmérséklet, valamint a festékbe kevert UV-pigment aránya. [4]

3.1.1 Az ofszetfestékek viszkozitásának hőmérsékletfüggése

A legtöbb folyadék viszkozitása exponenciálisan csökken a hőmérséklet növekedésével. Az összefüggést a két mennyiség között az Arrhenius - Andrade egyenlet írja le (1):

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}} \quad (1)$$

Ahol „A” egy, a festékre jellemző anyagi állandó, „E” a viszkozitás aktiválási energiája, melynek mértékegysége $\frac{\text{J}}{\text{mol}}$, „R” az egyetemes gázállandó, értéke $8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$, „T” az abszolút hőmérséklet, kelvinben mérve. [4] A hőmérséklet hatását a viszkozításra a Pénzjegynyomdában is figyelembe veszik a nyomtatás során. Bevett eljárás a nyomdagép festékezőműveinek temperálása. A gyakorlatban 19,5 °C-ra szokták állítani ezeket az egységeket. A festékezőmű teflonbevonatú hengerei kapnak temperálást, és mind az öt nyomóműnél közös, központi hőmérsékletszabályzást alkalmaznak. Ebből az következik, hogy minden festékezőmű csak azonos hőmérsékletre állítható, így az írisznyomtatásra használt nyomómű is. Végeredményben az eltérő reológiájú festékek tulajdonságai gépbeállítással csak egyszerre befolyásolhatók, külön-külön nem. Ebből következik, hogy a rossz nyomtathatósági tulajdonsággal bíró ofszetfestékek ezért csak a festékkeverés folyamata során szabályozhatók. Ez az oka annak, hogy laboratóriumi vizsgálatok során igyekszem felderíteni a beavatkozási lehetőségeket.

3.1.2. Az ofszetfestékek reológiájának függése az UV-pigment arányától

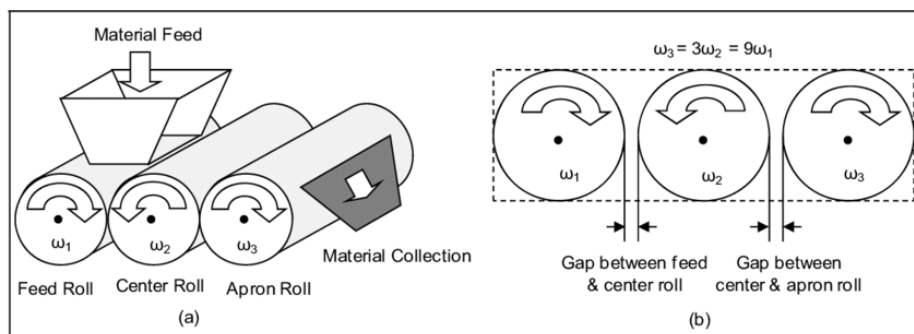
Az UV-pigment egy bizonyos festékgyártótól kerül megrendelésre. Por állagban érkezik, a szemcseméret minden pigmentre jellemző, egyedi állandó. Festékkeverés során a Bühler

gyártmányú Trias 300 típusú háromhengeres festékörlő gépben (1. ábra) keverik össze az adott festékhez tartozó összetevőket, amikor is festékbe kerül a por állagú pigment is. [5]



1. ábra: A Buhler cég Trias 300 típusú festékkerő gépe [5]

A gyakorlat azt mutatja, hogy a festékörlő gépen egy jól meghatározott program szerint keverik be ezt a fajta festéket. Három ütemet alkalmaznak, minden ütemben más a két fő őrlőhenger egymástól vett távolsága. Ez a „d” hézag (2. ábra), „Gap between feed and center roll”, magyarul: „rés a tápláló és a központi henger között” – mind a három ütemben egyre kisebb lesz, míg végül elkészül a festék.



2. ábra: A Trias 300 típusú festékkerő gép működési elve [6]

A Dolgozatban azt a kérdést is vizsgálom, hogy milyen módon függ a festék viszkozitása és tack értéke a bekevert pigment arányától. A Pénzjegynyomdában tapasztalták ugyanis, hogy minél magasabb a bekevert pigment mennyisége, annál rosszabb a festék nyomtathatósága is. A cél annak felderítése, hogy ha ugyanolyan keverési módszer mellett egyre növekvő pigmentarányt alkalmazunk, az hogyan hat a reológiára.

3.2. A PÉNZJEGNYOMDA ZRT-BEN HASZNÁLT, NYOMDAFESTÉKEK REOLÓGIÁJÁNAK VIZSGÁLATÁRA ALKALMAS MÉRŐMŰSZEREK

3.2.1. Viskoziméter

A viszkozitás mérésénél a Haake RheoWin IQ1 típusú viszkozimétert használtam (3. ábra), ami 20 – 100 °C-os hőmérséklettartományban képes mérni a különböző nyomdafestékek viszkozitását. [7]



3. ábra: A Haake IQ1 viszkoziméter és felépítési lehetőségei (a jobb szélső a Pénzjegynyomdában használt kialakítás) [7]

A viszkoziméter működése rotációs elven alapszik. [7] A mérés során a festékminta a viszkoziméter alsó tárcsájára kerül, ami temperálható is. Egy 25 °C és egy 40 °C-os program van telepítve a műszerben. Egyéb beállítási mód nem alkalmazható, bár a műszer képességei ezt nem gátolják. A Pénzjegynyomda belső szabályzata tiltja a programok kiegészítését vagy módosítását. A mérés megkezdésekor a felső tárcsát leengedve a tárcsák közti távolság 1 mm kell, legyen (ezt minden bekapcsoláskor kalibrálni kell, amihez a műszerhez rendszeresített etalon használandó). Ebben a résben tartózkodik a festékminta, mérés közben a felső tárcsát forgatja a műszer és a festék által okozott ellenállásból számolja ki a viszkozitást.

A műszer melletti leírás tartalmazza, hogy melyik festéket, milyen paraméterek használata mellett kell mérni (1. táblázat).

1. táblázat: Viskozitásmérés során előírt paraméterek a Pénzjegynyomda Zrt. laboratóriumában (saját táblázat)

Festék fajtája	Mérési mennyiség [g]	Mérési hőmérséklet [°C]
Ofszetfesték	0,8	40
Intaglio festék	1 - 1,2	40

A gyakorlatban kétféle festéket mérnek a laboratóriumban, az ofszetnyomtatáshoz és a metszetmélynyomtatáshoz (Intaglio) használt festékeket. A mérések során a megszokott sémát követik, azonban a mérési mennyiségek meghatározása évekkal ezelőtt történt. Ezt a leírást a festékeket beszállító festékgyár adta és magyarázatot nem fűzött mellé, azaz a festékgyár is ezt a módszert használja, így a Pénzjegynyomda Zrt-nek is ezt ajánlották átvételre. Az nem derül ki a táblázatból, milyen ofszetfestékekre vonatkoznak ezek az adatok, azt sem tudtam meg, miért ezen a hőmérsékleten mérik a viszkozitást. Azt sem tudom, hogy minden festék esetén kötelező-e alkalmazni az ajánlott, 0,8 gramm festékminta használatát, vagy ez a mennyiség festékfajtánként más és más legyen-e? Ezért első lépésben ezt a kérdést tisztáztam. A mérések végzése során a mérési mennyiséggel kapcsolatban az jelentett problémát, hogy amikor a Dolgozatban vizsgált, PJ005 és PJ982 nevű, különleges ofszetfestékekből a táblázatban megadott 0,8 g-ot kimértem és felhelyeztem a tárcsára, akkor az nem fedte le a tárcsák teljes felületét. Ennek megfelelően e mellett a mintamennyiség mellett két mérés sosem lehet összehasonlítható, mert minden esetben eltérő nagyságú felületen mérjük a viszkozitást. Kimértem ezért, mi az a festékmennyiség, aminek használata mellett a tárcsák teljes felülete lefedésre kerül. Több lépésben, lépésenként 0,1 grammal növeltem a minta mennyiségét, míg el nem értem a teljes fedettséget. Így végül kiderült, hogy minimum 1,3 g festékmennyiség bemérése szükséges a viszkozitás mérés meghatározásához. A minta mennyisége azonban túl sok sem lehet, mert ha túlfolyik a festék a tárcsa peremén, akkor az befolyásolhatja a felső tárcsára jutó ellenállás nagyságát. Ezt kiküszöbölendő meghatároztam egy felső határt is a mért mennyiségre, amellyel a viszkozitás mérési vizsgálat még elvégezhető. Ez 1,5 g festéknek felelt meg. Végig ebben az intervallumban tartottam a festékminták mennyiségét a méréseim során. A berendezés hőmérséklete szintén fontos kérdés, mivel, ahogy arról már korábban is említést tettem a festékek viszkozitása függ a hőmérséklettől. [4]

A feljegyzésben meghatározott 40 °C-os mérési körülmény a festékgyár ajánlata. A vizsgálatok során azonban az ajánlott hőmérsékletérték mellett a viszkoziméterben előre beprogramozott 25 °C-os mérési beállítással is kimérem a festékek viszkozitását, mert az (1) és (2) egyenletek alapján szeretném megállapítani a hőmérséklet-pigmentarány kapcsolatot.

Egy másik, a Brookfield cég által forgalmazott viszkoziméter használati utasításában ismertetnek egy módszert az ofszetfesték hőmérsékletfüggésének meghatározásához. [9]

Ebben két egyenlet szerepel, a Dolgozatban ezeket használok fel, illetve elvégzem a szükséges – ott hiányzó – levezetéseket, melyeket az **F1** függelék tartalmaz. A felhasznált egyenletek a következők (2):

$$\eta_i = Ae^{\frac{B}{T_i}},$$

$$i = 1, 2, 3 \dots$$

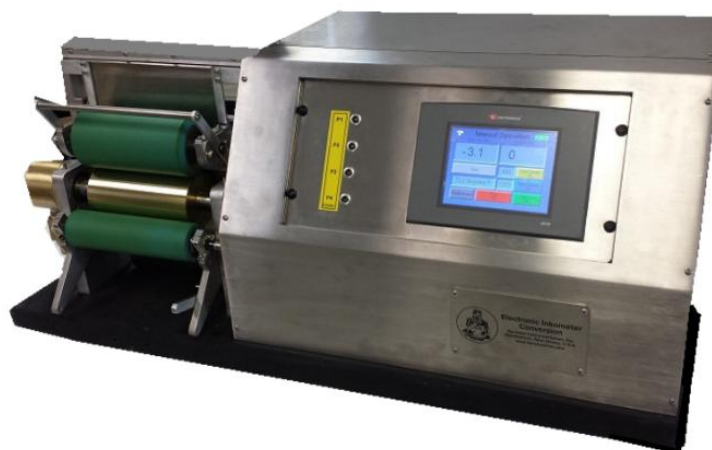
$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (2)$$

$$A = \eta_1 e^{-\frac{B}{T_1}}$$

A vizsgált festék hőmérsékletfüggése két méréssel határozható meg. A méréshez választani kell két, tetszőleges hőmérsékletet (T_1 és T_2), majd ezeken a hőmérsékleteken ki kell mérni a festék viszkozitását (η_1 és η_2). Ezen értékek segítségével a festék viszkozitása tetszőleges hőmérsékletre kiszámolható.

3.2.2. Tackometer

Az ofszetfestékek másik fontos jellemzője a viszkozitás mellett a tack érték. Ofszetfestékek tack értékének vizsgálata során a tack a festék tapadási képességét jelenti.¹ A tack mértékegysége N/m, amely a festék felületi tapadási erejének mértéke. [4] A Pénzjegynyomda laboratóriumában az Inkometer – Model 2006U típusú (4. ábra) tack-et mérő gépet használják.



4. ábra: Az Inkometer - Model 2006U tack mérőeszköz [10]

¹ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

A Dolgozat tárgyát képező ofszetfestékekkel (PJ005 és PJ982, nedvesítőfolyadékmentes ofszetnyomtatással történő írsznyomtatáshoz használt festékek) méréseket végzek ezzel az eszközzel és azt vizsgálom, hogy hogyan változik a festék tack értéke a bekevert UV-pigment arányának függvényében.

Megkülönböztetik a magas tack és az alacsony tack értékeket. Magas a tack érték abban az esetben, amikor a festék nagyon ragadós, és nagy erőt igényel a felületről történő elválasztása. Ez hasznos lehet például, ha a festéknek erősen kell tapadnia a nyomathordozóhoz. [4]

Az alacsony tack érték azt jelenti, hogy a festék kevésbé ragadós, és kisebb erőt igényel a felületről történő elválasztása.² Ez előnyös lehet, ha a festéknek könnyen kell távoznia a nyomóformáról vagy más felületről. [4]

A mérőműszer melletti sablon szerint az ofszetfestékek méréséhez 0,40 g festéket kell használni, a műszer pedig 25 °C-on mér. Ezt a mérési metódust követve végeztem el a vizsgálatokat. Az UV-száradású festékekhez egy külön hengerkészlet áll rendelkezésre, ezeket a mérések megkezdése előtt kicseréltem.

3.3. OFSZETFESTÉKEK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

A Dolgozat vizsgált ofszetfestékek viszkozitását és tack értékeit megmérve, mindkét jellemző mennyiséget a festékekbe kevert UV-pigment arányában vizsgálom. Azt is vizsgálom, hogy különböző hőmérsékleteken és különböző pigmentarányok mellett, hogy alakul az ofszetfestékek viszkozitása. Minden bekevert pigmentarány mellett megvizsgálom a festékek viszkozitásának hőmérsékletfüggését is. A 2. táblázat és a 3. táblázat mutatja a vizsgált festékek pigmentarányait. Ezek a festékminta sorozatok kerültek elkészítésre a Trias 300 típusú festékkeverő gépen, a Pénzjegynyomda festékörlő üzemében.

2. táblázat: A PJ005 festékminták UV-pigment keverési arányai

Festék neve	Pigment aránya [%]					
	0	3	9	15	21	25
PJ005						

3. táblázat: A PJ982 festékminták UV-pigment keverési arányai

Festék neve	Pigment aránya [%]						
	0	3	9	10	15	20	22
PJ982							

² Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

A pigmentek bekeverési arányának meghatározása az alapján történt, hogy a PJ005 festék az íriszpár azon tagja, aminek a nyomtathatósága megfelelő. A ma használt festékekben a pigment aránya 25%. Legalább hat fajta festékmintát szerettem volna kimérni, hogy ezekre a mérési pontokat grafikonon ábrázolhassam. Az elemzés során Matlab szoftvert használok, melynél a pontos görbeillesztés feltétele legalább hat mérési pont felvétele. [11]³

A PJ982 festék az íriszpár azon tagja, melynek nyomtathatósága tapasztalat szerint problémás. A gyártott termék története során már 10 %-os pigmentarány mellett is nyomtattak 2017-2019 között, majd ezt az arányt két lépcsőben előbb 16,50 %-ra, majd a ma is alkalmazott 22 %-ra növelték. Ennek oka a beszállított pigment emittálásának megváltozása volt. Többek között ezért is fontos kimérni a festék reológiájának és a pigmentarányának az összefüggését. A PJ982 festékmintáinak sorozata ezért tartalmazza a 10 %-os keverési arányt is. E mellett a PJ982 festék esetében is legalább hat féle mintát szerettem volna megmérni.

Az elemzés során görbéket illeszttek a mért pontokra. Az illesztést a Matlabban írt programkód elvégzi és kiszámítja az illesztés hibáját is. Ez alapján választom ki több illesztett görbe közül a legmegfelelőbbet. [12]

Az illesztés hibája (négyzetes középhiba, RMS hiba) úgy számítható ki, hogy összehasonlítom az illesztett értékeket az eredeti adatokkal. Az illesztési hiba meghatározásának lépései a következők:

1. az illesztett értékek kiszámítása az eredeti x értékekre,
2. a hibák négyzetének kiszámítása,
3. az RMS hiba kiszámítása.

Az RMS hiba azt mutatja meg, hogy az illesztett görbe átlagosan mennyire tér el az eredeti adatpontoktól. Pl. az 1,1980 érték azt jelenti, hogy az illesztett görbe y értékei átlagosan 1,1980 egységgel térnek el az eredeti y értékektől.

Kis RMS hibáról akkor beszélünk, ha az RMS hiba kicsi, azaz az illesztett görbe jól közelíti az adatpontokat.

Nagy RMS hiba esetén az illesztett görbe nem jól közelíti az adatpontokat, tehát a modellünk nem jól írja le az adatok viselkedését.⁴

³ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, a Matlab kódokat irattam meg vele. Ahol kellett, javítottam a kódokon.

⁴ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

4. VIZSGÁLATI RÉSZ

4.1. A FESTÉK ISMERT ÉS MEGMÉRT PARAMÉTEREI

4.1.1. A vizsgált festékek összetétele

A vizsgálat tárgyát képző festékek különböző arányban tartalmaznak sárga (Y), cián (C), áttetsző fehér valamint UV-sugárzásra érzékeny pigment összetevőket. A 4. táblázat foglalja össze a két (PJ005-ös és PJ982-es típusú) vizsgált festék összetevőit és eredeti keverési arányait.

4. táblázat: A vizsgált ofszetfestékek összetétele

Összetevő neve	Keverési arány [%]	
	PJ005	PJ982
Sárga	8,70	10,31
Cián	2,50	3,40
Áttetsző fehér	63,80	64,29
UV-sugárzásra érzékeny pigment	25,00	22,00

4.1.2. A PJ005 és PJ982 festékek korábban mért viszkozitás értékei

A dolgozat tárgyát képző két festék (PJ005 és PJ982) íriszpárként történő nyomtatási nehézsége nem újkeletű probléma, a Pénzjegynyomdában rég ismerik és próbálják kezelni. Ennek megfelelően a festékek viszkozitás értékeit is mérték már a Pénzjegynyomda Zrt. saját laboratóriumában, legutóbb 2024. tavaszán (5. táblázat).

Az 5. táblázatból látni, hogy a problémás PJ982 festék viszkozitása 2,28-szorosa a tapasztalat szerint jobban viselkedő PJ005-nek.

5. táblázat: A vizsgált ofszetfestékek viszkozitás adatai, 2024 tavasz

Viszkozitás		
Vizsgált festékminta	Mintamennyiség [g]	Vizsgálati érték [Pa·s]
PJ005	5	23,81
PJ982	5	54,36

A viszkozitás mellett a festékek tack értékei is megmérésre kerültek a Pénzjegynyomda laboratóriumában, melynek mérési értékeit a 6. táblázat mutatja be.

6. táblázat: A vizsgált ofszetfestékek tack adatai, 2024 tavasz

Tack					
Vizsgált festékminta	Mintamennyiség [g]	Mért érték			
		T _a [N/m]	T _{max} [N/m]	T _{time} [s]	TU [N/m]
PJ005	5	548	614	163,8	260
PJ982	5	461	467	69,8	310

A T_{time} értékben jelentős különbség mutatkozik. Ez a mutató arra szolgál, hogy jellemezze a festék tack változásának ütemét. Amennyiben az írsznyomtatás esetén ezek közt ilyen nagy eltérés jelentkezik, akkor nyomtatási hibát eredményez, azaz az írsz elmosódását okozhatja. Azt feltételezem, hogy a különbségek oka a pigment fajtájában keresendő, mivel az alapkeverés összetétele szinte megegyezik. A Dolgozatban olyan mérési sorozatot tervezek, ami ezt a feltételezést megerősíteni, vagy cáfolni képes.

4.1.3. Pigment nélküli festékek

Ennél a mérésnél a kiinduló gondolatom az volt, hogy megvizsgálom, hogy milyen mérési eredményeket kapok, ha kihagyom a mintákból a pigmenteket és csak a három-három alap összetevőből álló minta viszkozitását mérem meg. A kérdés pedig az, hogy vajon ebben az esetben milyen értékeket vesz fel a festékek viszkozitása? A viszkozitás mérés eredményét a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat: UV-pigment mentes ofszetfestékek viszkozitás adatai

Viszkozitás		
Vizsgált festékminta	Mintamennyiség [g]	Vizsgálati érték [Pa·s]
PJ005	10	9,904
PJ982	10	6,520

Jól látható, hogy a PJ982 viszkozitása, 6,520 Pa·s, ami kb. a fele a PJ005 festék viszkozitásának, melynek értéke 9,904 Pa·s. Ebből megállapítható, hogy a pigment fajtája valóban komoly hatással van a viszkozításra.

4.1.4. Más UV-pigmentet különböző arányokban tartalmazó festék

Ebben az esetben az alapötlet az volt, hogy kicserélem az UV-pigmentet, és egy másik, a Pénzjegynyomda gyártása során egyébként is gyakran használt pigmentet tartalmazó mintát mérek meg. Az alap festékkeverék ugyanaz marad. A PJ982 festék esetében két 10 és 15%-os pigment tartalmú festékminták készültek. Az is kérdésként merült fel, hogy vajon ez a bekeverésre került másik pigment milyen módon hat az alapösszetételű festék viszkozítására?

8. táblázat Más pigmentet tartalmazó ofszetfestékek viszkozitás adatai

Viszkozitás		
Vizsgált festékminta	Mintamennyiség [g]	Vizsgálati érték [Pa·s]
PJ982 – 10% más pigment	10	38,05
PJ982 – 15% más pigment	10	50,80

A viszkozitás mérési eredményekből látható, hogy a festék viszkozitása függ (nő) a bekevert pigment mennyiségétől. Ezért úgy vélem, hogy a pigment fajtája maga okozhatja a jelentős viszkozitás különbséget.

4.2. A VIZSGÁLT FESTÉKEK MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK FELDOLGOZÁSA

4.2.1. Viszkozitás

A PJ005 viszkozitás értékeinek mérési eredményeit a 9. táblázat, míg a PJ982 adatait a 10. táblázat tartalmazza. A mérések során minden pigmentarány variációnál három-három mérést végeztem, majd ezek átlagát vettem. A mérési mennyiséggel kapcsolatban a korábban meghatározott 1,3 - 1,5 gramm tartományban dolgoztam. Az F2 és F3 függelékben található táblázatokban az összes mérési adatot feltüntettem (mérési minták mennyisége, egyes minták viszkozitásértékei), itt csak a 25 és 40 °C-hoz tartozó, mért viszkozítások ($\eta_{25^\circ\text{C}}$ és $\eta_{40^\circ\text{C}}$) számolt átlagait helyeztem el.

9. táblázat: Saját pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ005 festék viszkozitás adatai 25 és 40 °C-on

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\eta_{25^\circ\text{C}}$ [Pa*s]	$\eta_{40^\circ\text{C}}$ [Pa*s]
PJ005	0	81,44	21,57
	3	94,12	21,78
	9	96,45	21,99
	15	90,72	20,44
	21	91,25	20,46
	25	89,91	21,89

10. táblázat: Saját pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ982 festék viszkozitás adatai 25 és 40 °C-on

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\eta_{25^\circ\text{C}}$ [Pa*s]	$\eta_{40^\circ\text{C}}$ [Pa*s]
PJ982	0	76,97	22,66
	3	72,09	26,46
	9	96,32	32,66
	15	100,09	34,53
	20	113,80	37,97
	22	141,55	50,23

A következőkben az (3) és (4) egyenlet alapján kiszámolom a festékek viszkozitásait gyártási hőmérsékleten (19,5 °C).

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}} \quad (3)$$

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (4)$$

$$A = \eta_1 e^{-\frac{B}{T_1}}$$

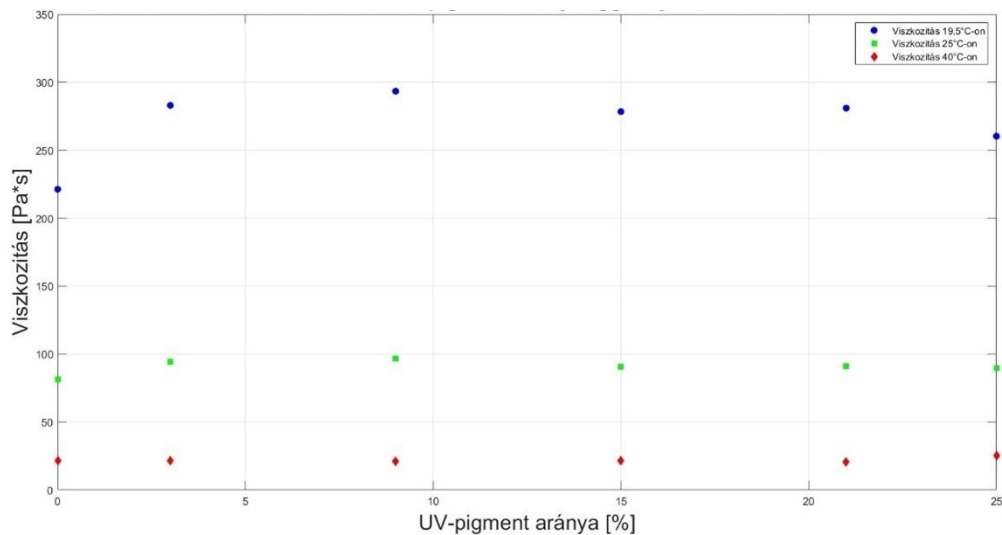
Két, ismert hőmérsékleten (25 °C és 40 °C) kimértem a festékek (PJ005 és PJ982) viszkozitását. Az (3) egyenlet segítségével bármely más hőmérsékletre kiszámolható a festék viszkozitása, ha a (4) egyenletek és a mért adatok segítségével meghatározom az „A” és „B” állandókat. E módszerrel számolom ki, mennyi a festékek viszkozitása 19,5 °C-on. Ez azért fontos, mert a nyomómű is erre a hőmérsékletre van beállítva. A kapott eredményeket a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat: Saját pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ005 festék viszkozitás adatai 19,5 °C-on

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\eta_{19,5^\circ\text{C}}$ [Pa · s]	Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\eta_{19,5^\circ\text{C}}$ [Pa · s]
PJ005	0	221,2	PJ982	0	193,0
	3	282,9		3	153,2
	9	293,3		9	217,3
	15	278,3		15	259,8
	21	280,9		20	308,5
	25	260,2		22	369,1

Az F4 függelékben található táblázatban nem csak a 19,5 °C-ra, hanem minden olyan hőmérsékletre kiszámolt viszkozitás értékeket is feltüntettem, mely hőmérsékletekre a nyomógép nyomóműve beállítható. Ezek a hőmérsékletek 0,5 °C-os növekedéssel a 17,5 °C és 21,5 °C-os intervallumba esnek.

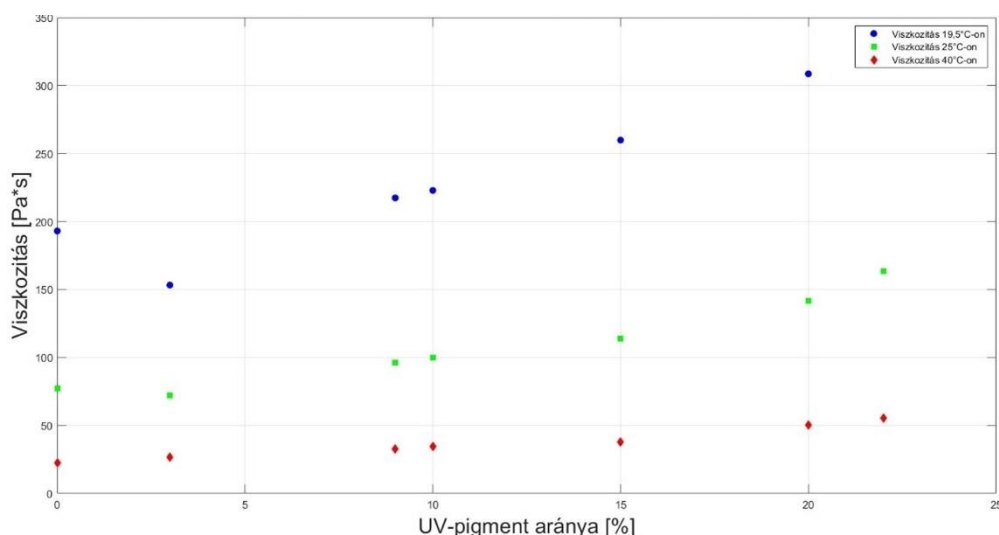
A mai beállítást jelentő, 19,5 °C-hoz tartozó viszkozitás értékeket grafikonon ábrázoltam, ezt mutatja a PJ005 festék esetében az 5. ábra és a PJ982 festék esetén a 6. ábra.



5. ábra: PJ005 pigmentarány-viszkózitás függése különböző hőmérsékleten

Az 5. ábrán megfigyelhető, hogy miként változik a hőmérséklettel a viszkózitás és pigmentarány közti összefüggés. Ugyanis, mint látható, ez sem állandó. Az 5. ábrán két fontos folyamat is látható.

- A PJ005 nevű festékben, ahogy növelem a pigment arányát, a festék viszkózitásának értéke nem monoton növekvő sorozatot alkot. Attól függően, hogy milyen hőmérsékleten mérem, beáll egy jól meghatározható értékre. 19,5 °C mellett ez a középérték $269,47 \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 25,98 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, 25 °C esetén ez a középérték $90,65 \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 5,13 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, 40 °C mellett a középérték $21,36 \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 0,72 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.
- A másik, jól kivehető jelenség az, hogy a pigmentarány és a viszkózitás közti kapcsolat minden hőmérsékleten más. Ez azt jelenti, nem elegendő csak egy hőmérsékleten kimérni ezt az összefüggést (pl. 40 °C mellett), hanem ki kell számolni az egyes viszkózitásértékeket arra a hőmérsékletre, amin nyomtatni szeretnénk. Csak ebben az esetben tudjuk megjósolni, hogy hat majd a pigment arányának növelése a festék viszkózítására.



6. ábra: PJ982 pigmentarány-viszkozitás függése különböző hőmérsékleten

A 6. ábrán jól látható, hogy a két festék viszkozitása eltérően reagál a pigmentarány növelésére: az 5. ábrán a PJ005 festék viszkozitása egy jól meghatározható érték felé konvergál, míg a PJ982 viszkozitása monoton növekedő trendet mutat. Ez a tendencia a PJ982 festék esetében mind a három hőmérsékleten (19,5, 25, 40 °C) jól megfigyelhető. 10 – 14 %-os pigmentarány mellett még közel azonos értékű (rendre 260 Pa·s , 96 Pa·s, 25 Pa·s) viszkozitást vesznek fel. Majd elkezdi kettéválni a festékek viselkedése és a PJ982 viszkozitása a pigment arányának további növelése esetén a ma alkalmazott 22 % és 25 %-os pigmentarány mellett. Ez eléri a 369 Pa·s, 141 Pa·s és az 51 Pa·s értéket (az egyes hőmérsékleteken). E közben ugyanezek a hőmérsékleteken a PJ005 viszkozitása 269,47 Pa·s, 90,65 Pa·s és 21,36 Pa·s. Ezeket a megfigyeléseket összefoglaltam a 12. táblázatban.

12. táblázat: A PJ005 és PJ982 festékek viszkozitásértékeinek függése hőmérséklettől és pigmentaránytól

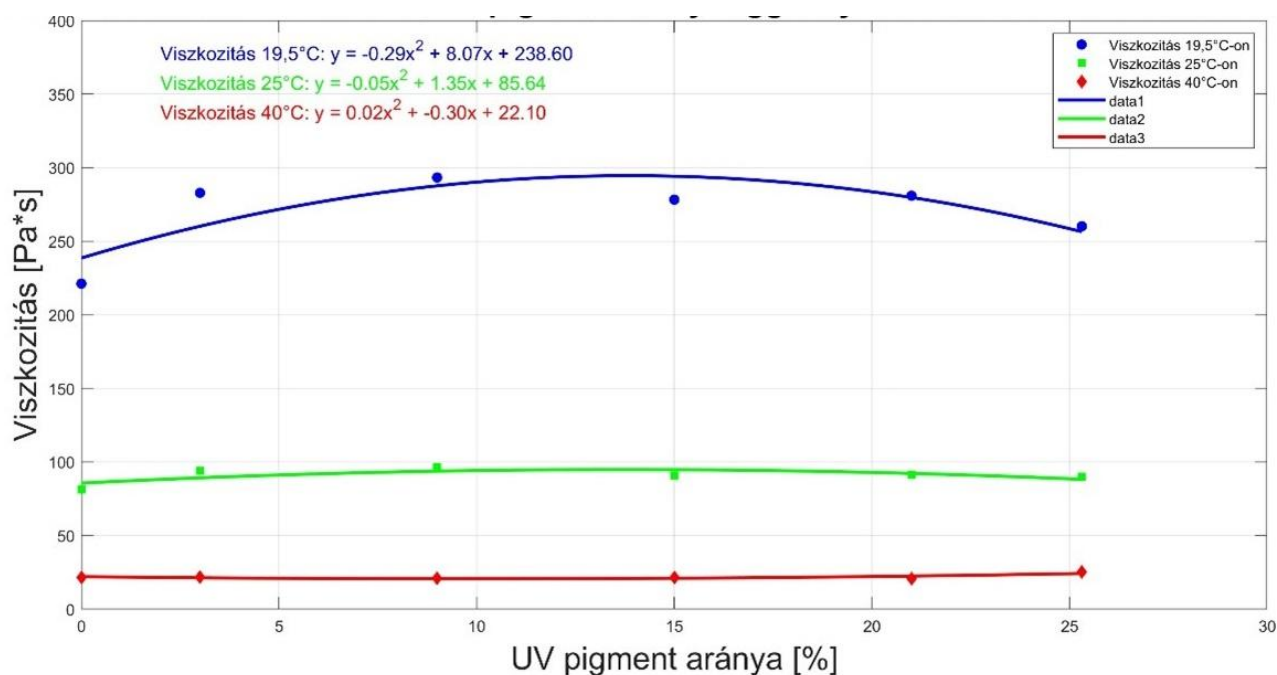
Festék neve	Pigment aránya [%]	Viszkozitás [Pa·s]		
		$\eta_{19,5^{\circ}\text{C}}$	$\eta_{25^{\circ}\text{C}}$	$\eta_{40^{\circ}\text{C}}$
PJ005	22	369	141	51
PJ982	25	269	91	21
Viszkozítások aránya				
		1,37	1,54	2,42

A grafikonok alapján levonható azt a következtetés, hogy a PJ005 festék és a PJ982 festék UV-sugárzásra érzékeny pigmentje eltérő módon hat a festék viszkozitására. Ha növeljük a pigment arányát, a PJ982 viszkozitása drasztikusan emelkedik, míg a PJ005 viszkozitása stagnál. Ezek okozhatja a tapasztalt nyomtatásbeli problémát. A viszkozítások arányaiból az is

megfigyelhető, hogy a hőmérséklet változtatása ezt a viszkozitásbeli különbséget csökkenti ugyan, de nem elegendő mértékben.

Az 5. és a 6. ábrán látható grafikonokból levonható következtetést szerettem volna matematikailag is alátámasztani, vizsgálni. Ezért a 25 °C és 40 °C-hoz tartozó mért és a 19,5 °C-hoz tartozó számolt viszkozitásértékekre a Matlab segítségével görbéket illesztettem. A kapott görbékhez tartozó egyenletekből látható, hogy a festék viszkozitása nem csupán a hőmérséklettől függ, hanem a pigment arányában is változik. Ez a viszkozitás-pigmentarány függés az egyes festékek esetén is minden hőmérsékleten más és más, hisz a görbék egyenletei különböznek egymástól. Ez azt jelenti, hogy ha megmértem a festék viszkozitását egy adott hőmérsékleten, pl. 40 °C-on, ahogy a festékgyár is ajánlja, akkor nem ugyanazt a viszkozitás-pigmentarány összefüggést kapom, mint ami a gyártási hőmérsékleten, 19,5 °C-on lezajlik. Ezt figyelembe kell venni a festék tervezése során: fontos tudni, hogy gyártás közben hogy fog reagálni a festék reológiája a pigmentarány változására. A kapott görbék egyenleteiben a pigmentarányt „p” betűvel jelölöm. A PJ005 és a PJ982 festékek esetén is elvégeztem az illesztéseket és megvizsgáltam az egyenletek alakját. Azt találtam, hogy a PJ005 esetén a viszkozitás-pigmentarány közti összefüggés kvadratikusan, míg a PJ982 festék esetén harmadfokú. Ez megerősíti a 5. és 6. ábrák alapján levont következtetést, hogy a két pigment eltérően hat a festék viszkozítására.

A PJ005 festék ábrázolt pontjaira a 7. ábrán látható görbéket illesztettem.

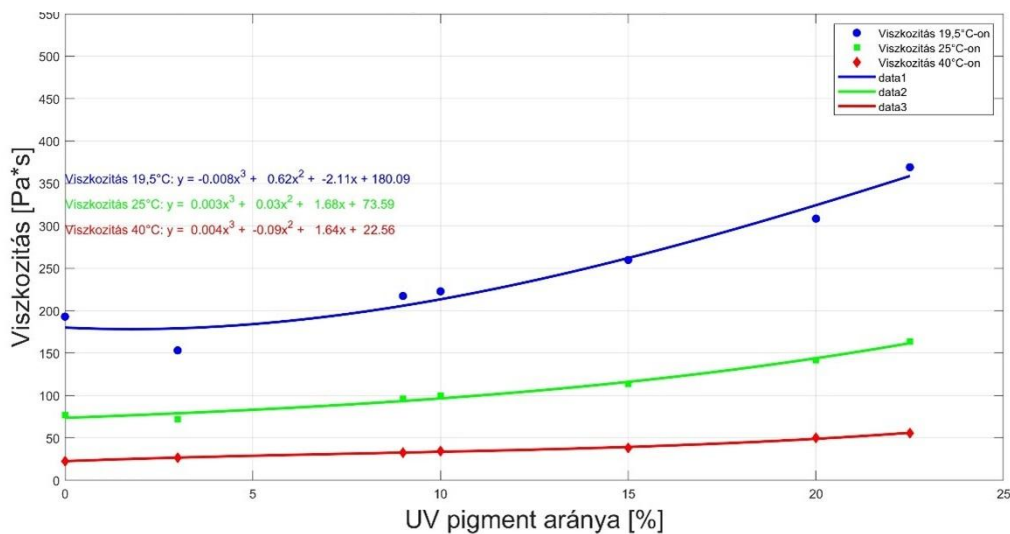


7. ábra: PJ005 pigmentarány-viszkozitás hőmérsékletfüggése, illesztett görbék

A kapott egyenletek a következők:

$$\begin{aligned}\eta_{19,5^\circ\text{C}} &= -0,2879 * p^2 + 8,0711 * p + 238,5958 \\ \eta_{25^\circ\text{C}} &= -0,0529 * p^2 + 1,3541 * p + 85,6389 \\ \eta_{40^\circ\text{C}} &= 0,0281 * p^2 - 0,0343 * p + 22,0958\end{aligned}\quad (5)$$

A görbék matematikai alakjából, de a grafikonból is jól látható, hogy a pigmentarány-viszkozitás kapcsolat maga is függ a hőmérséklettől.⁵ Ugyanezt az ábrázolást a PJ982 festékkel is elvégeztem, ezt mutatja a 8. ábra.



8. ábra: PJ982 pigmentarány-viszkozitás hőmérsékletfüggése, illesztett görbék

A PJ982 festék esetén kapott egyenletek a következők:

$$\begin{aligned}\eta_{19,5^\circ\text{C}} &= -0,0079 * p^3 + 0,62 * p^2 - 2,11 * p + 180,09 \\ \eta_{25^\circ\text{C}} &= 0,0032 * p^3 + 0,03 * p^2 - 1,68 * p + 73,59 \\ \eta_{40^\circ\text{C}} &= 0,0039 * p^3 - 0,09 * p^2 - 1,64 * p + 22,56\end{aligned}\quad (6)$$

A PJ982 festék esetében is megfigyelhető az a jelenség, miszerint a viszkozitás és a pigmentarány kapcsolata maga is függ a hőmérséklettől. Ez azt jelenti, hogy más sebességgel, más ütemben változik a festék viszkozitása a pigmentarány növelésének hatására 19,5 °C, 25 °C és 40 °C-on is. Egy mennyiség változását a deriváltja jellemzi.

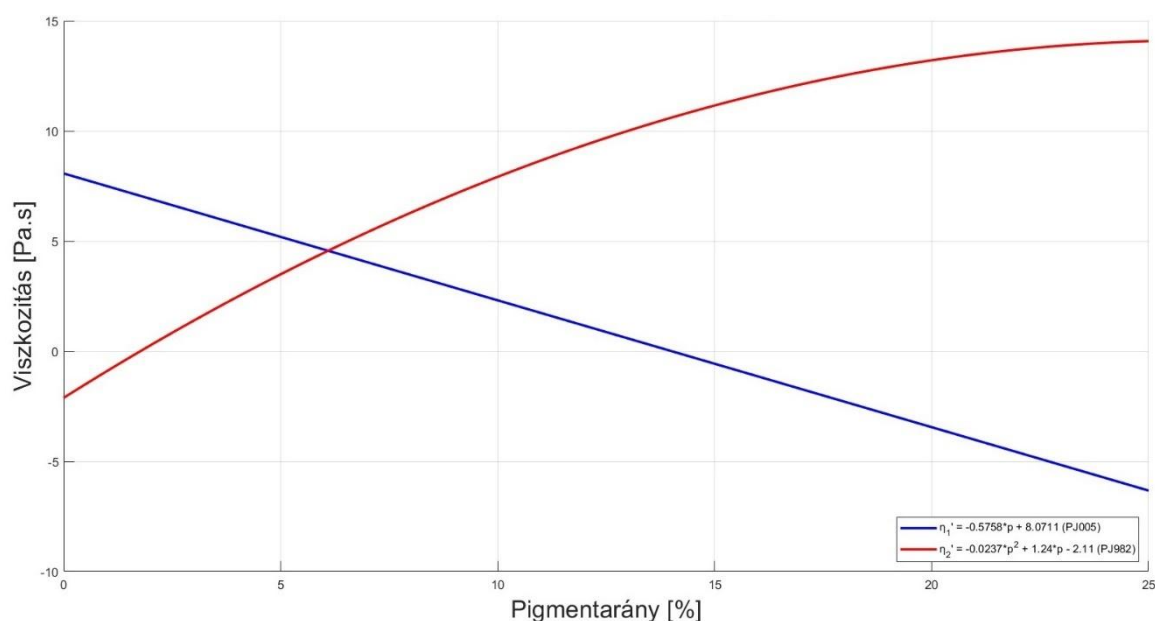
A PJ005 és a PJ982 festék esetén ezeket a függvényeket, a (5) és (6) egyenletek deriváltjait a 13. táblázat tartalmazza.

⁵ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, megírtam vele a Matlab kódot, ami elvégezte a görbék illesztését.

13. táblázat: A PJ005 és a PJ982 festékek viszkozitás-pigmentarány kapcsolatának változási sebességei

Festék fajtája	Deriváltak
PJ005	$\eta_{19,5\text{ °C}}' = -0,5758 * p + 8,0711$
	$\eta_{25\text{ °C}}' = -0,1058 * p + 1,3541$
	$\eta_{40\text{ °C}}' = 0,0562 * p - 0,0343$
PJ982	$\eta_{19,5\text{ °C}}' = -0,0237 * p^2 + 1,24 * p - 2,11$
	$\eta_{25\text{ °C}}' = 0,0096 * p^2 + 0,06 * p - 1,68$
	$\eta_{40\text{ °C}}' = 0,0117 * p^2 - 0,18 * p - 1,64$

A 19,5 °C melletti egyenletekből látni, hogy a változás üteme sokkal gyorsabb a PJ982 festék esetén, mint a PJ005 festéknél: az előbbi esetén a derivált egy másodfokú függvény, míg az utóbbi esetében elsőfokú. E két függvényt egymással összehasonlítva azt kapjuk, hogy a másodfokú összefüggés értékkészlete az adott pigmentarány-tartományon sokkal bővebb, mint az elsőfokúé. Ezeket a deriváltakat grafikonon is ábrázoltam, amit a 9. ábra mutat. Itt látható, mennyire más a viszkozitás változásának üteme a két vizsgált festék esetében.



9. ábra: A PJ005 és a PJ982 festékek viszkozitás-pigmentarány kapcsolatának változási sebességei, 19,5 °C-on

A megoldandó probléma az, hogy míg a PJ005 festék tapasztalat szerint jól nyomtatható, addig a PJ982-es típusú festék sajnos nem. A mérések azt mutatják, hogy a viszkozitásuk a pigment arányában változik. Meghatározandó ezért az a pigmenttartomány, ami mellett a viszkozítások egyenlők egymással, vagy $\pm 10\%$ -on belül mozognak. Ekkor a viszkozitásbeli eltérések olyan kicsik lesznek, ami a nyomtatásban problémát már nem okozhat. Az illesztett viszkozítás egyenletek $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra érvényes változataiból – melyeket a (3) és (4) egyenletek tartalmaznak – ez a pigmenttartomány meghatározható. Numerikus analízist végeztem, amit az **F3** függelék tartalmaz, itt csak az eredményét írom le. ⁶ Ez a keresett pigment tartomány a PJ982 festék esetén:

$$13,5\% < p < 17,5\% \quad (7)$$

Ilyen pigment tartalmú PJ982 festék mellett várható, hogy az íriszpárt alkotó festékek nyomtathatósága közel megegyező lesz.

4.2.2. Tack

A Pénzjegynyomda laboratóriumában az Inkomenter –Model 2006U típusú, tack-et mérő gépet használják. Ebben a gépben három henger található, középen egy bronzpalásttal rendelkező henger, míg ez előtt és e fölött egy-egy, gumibevonatú henger foglal helyet (10. ábra).



10. ábra: Az Inkomenter –Model 2006U típusú, tack-et mérő gép hengerei [13]

A PJ005 és PJ982, a Dolgozatban vizsgált festékek UV-száradásúak. Az ilyen száradású festékekhez a gépgyár speciális gumibevonattal rendelkező hengereket biztosít a tackométerhez, melyeket a mérések megkezdése előtt beemeltem a mérőműszerbe.

⁶ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle e numerikus analízisről.

A Pénzjegynyomda Zrt. gyakorlatában csak bizonyos fajta, oxidációs száradású festékek tack értékeit mérik. Ezért a laboratórium kevés ismerettel rendelkezik ilyen, UV-száradású festékek vizsgálatában. Ezért a mérések megkezdésekor a mérőműszer hitelesítését végeztem el, illetve próbaméréseket végeztem, melyekkel a gép viselkedését szerettem volna felmérni. A műszer négyféle tack értéket mér meg, ezek:

- T_a (Initial tack): a kezdeti tack értéke. Ez az a tack érték, amit a műszer a mérés megkezdése után regisztrál. A mérés során, időben a tack érték változik. Mértékegysége: N/m.
- T_{max} (Maximum tack): a legnagyobb tack érték, amelyet a mérés során regisztrál. Mértékegysége: N/m.
- T_{time} (Time to maximum tack): Az az időtartam, amennyi idő alatt eléri a festék maximális tack értéket. Mértékegysége: másodperc.
- TU (Tack Units): A festék tapadási képességének mérésére szolgál. Mértékegysége: N/m.

Amikor a napi működés során a laboratórium az oxidációs festékek tack értékeit méri, a negyedik, TU értéket veszi csak figyelembe. Ennek az az oka, hogy ezeket a festékeket nem a Pénzjegynyomda festékörlő üzeme, hanem egy festékgár készíti és küldi meg a Pénzjegynyomdának. A festékek mellé egy-egy adatlapot is csatolnak, melyen csupán a TU értéket tüntetik fel. A laboratórium a mérés során e megadott TU értéket veti össze a mért TU értékkel. Bizonyos tolerancián belül (festék típusától függően ez a tolerancia 2 - 5% lehet) a festék tack-je megfelelő, ezen kívül nem.

A Dolgozatomban vizsgált (PJ005-ös és a PJ982-es típusú) festékek esetén ilyen adatlappal és ezért megfelelőnek minősíthető TU vagy egyéb tack értékkel sem rendelkezem. Így a mért TU értéket sem állt módomban a gyári adathoz hasonlítani. Ezért a két vizsgált (PJ005 és PJ982) festék értékeit meghatározásakor úgy jártam el, hogy a két festék, a PJ005 és a PJ982 TU értékeit hasonlítottam egymáshoz. Tapasztalat szerint a PJ005 jobban nyomtatható, így, ha a PJ982 TU értéke megközelíti a PJ005 TU értékét, akkor joggal feltételezhető, hogy a PJ982 festék nyomtathatósága is megfelelő lesz. A mérések során azt vizsgálok, milyen pigmentarány esetén áll fent ez a hasonlóság és a viszkozitáshoz hasonlóan ebben az esetben is $\pm 10\%$ -os tartományt célzok meg.

Mielőtt a méréseket elkezdtem volna, próbaméréseket készítettem a géppel. A gép bekapcsolása után a PJ005 festék 0%-os pigmentarányú mintáját mértem meg. Három mérést készítettem,

melyekből az átlagot vontam. Azonban azt tapasztaltam, hogy az első mérés értékeit a második mérés igen nagy különbséggel ismétli meg, a harmadik mérés pedig a második méréshez képest is sokkal alacsonyabb értékeket adott. Mivel ezek a különbségek igen nagynak tűntek, végeztem további két mérést. Ezt a tapasztalt bizonytalanságot a T_a és a T_{max} mennyiségek mérőszámaiban tapasztaltam. Az öt mérés adatait a 14. táblázat mutatja.

14. táblázat: A PJ005 festék első öt tack mérése

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Mért érték			
		T_a [N/m]	T_{max} [N/m]	T_{time} [s]	TU [N/m]
PJ005	0	797	822	164,80	790
		664	703	162,00	660
		601	646	160,00	580
		587	646	164,60	660
		595	663	157,60	550

A táblázatban látható, hogy az első méréskor a T_a értéke 797 N/m-nek, míg a második mérésnél 664 N/m-nek, végül a harmadik mérés során 601 N/m-nek adódott. A negyedik és ötödik mérés ezt a harmadik eredményt támasztotta alá, ehhez az értékhez van ugyanis közel a mért 587 N/m és az 595 N/m érték. A T_{max} hasonló tendenciát mutat: az első két mérés igen kiugró (822 N/m és 703 N/m), majd a következő három mérés már konszolidáltabb, 646 – 663 N/m közti értékeket adott.

A T_a , T_{max} , TU értékeket vettem össze, mert a T_{time} értékek kis szórással, de megegyeztek. A mérések azt mutatják, hogy a műszer üzembe helyezése után az első két mérés értékeit az elemzés során nem szabad figyelembe venni, átlagot a 3-5. mérések eredményeiből szabad csak vonni.

Ez a megfigyelés a laboratórium alkalmazottai számára is érdekes, új felfedezés volt. Az okát abban keressük, hogy ezeket a gumibevonatú, csak UV-száradású festékekhez használt hengereket nem szokták használni a napi gyakorlatban, ezért ezekben szükséges lehet lejátszódnia azoknak a súrlódással, mechanikai igénybevétellel járó folyamatoknak, melyek az első két mérés során történnek meg. Egyéb festékeknél, illetve hengereknél ez a probléma nem lép fel, mert rendszeres használatban vannak.

A PJ005 és a PJ982 festékek tack méréseit is elvégeztem, a T_a és T_{max} értékeket csak abból a célból vettem figyelembe, hogy lássam, a műszer mérései összevethetők egymással, a mérések fontosabb eredményeit a TU értékek adták. A 15. táblázatban a vizsgált festékek TU értékeinek az átlagait tüntetem fel, melyet minden esetben három-három, összemérhető mérésből

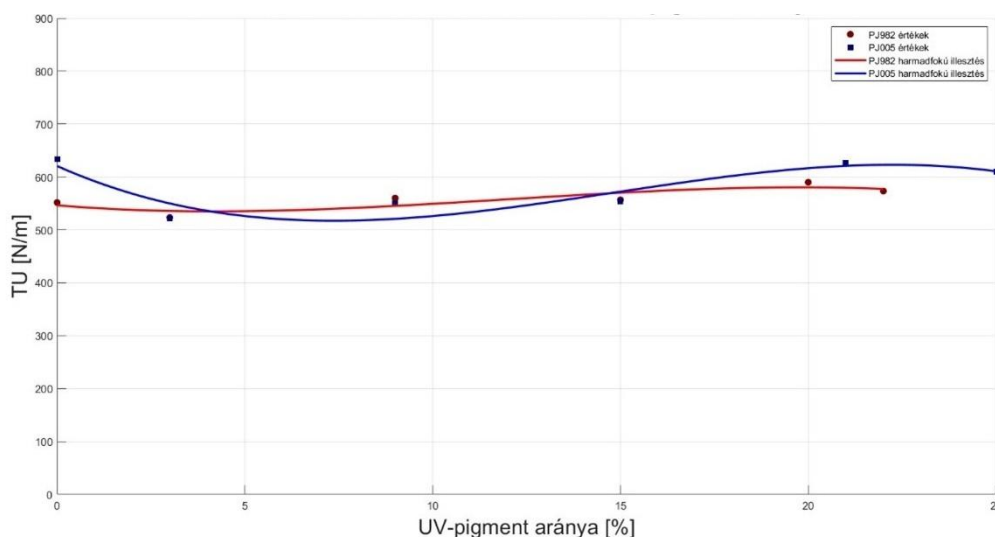
számoltam ki. Azt tapasztaltam, hogy csupán a gép bekapcsolásakor mutatkozik a fent bemutatott jelenség, a későbbiekben meg nem ismétlődött. Az összes mért adatot az **F7** és **F8** függelékekben tüntetem fel (minták mérési mennyisége, egyes tack értékek: T_a , T_{max} , TU , T_{time}).

15. táblázat: A PJ005 és PJ982 festékek TU értékeinek átlagai a pigmentarány függvényében

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\overline{TU}$ [N/m]	Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	$\overline{TU}$ [N/m]
PJ005	0	633,33	PJ982	0	551,67
	3	521,67		3	523,33
	9	550,00		9	560,00
	15	553,33		15	556,67
	21	626,67		20	590,00
	25	610,00		22,50	573,33

A mért tack adatok elemzése

A mérések átlagait ábrázoltam (11. ábra), a TU értékeket a pigmentarány függvényében. A pontokra görbét is illesztettem, a Matlabban végzett elemzés szerint az exponenciális, másodfokú és harmadfokú polinomok közül a harmadfokú polinom lett a legpontosabb.⁷



11. ábra: A PJ005 és a PJ982 festékek TU értékeinek változása a pigmentarány függvényében

A grafikonon a PJ005 és a PJ982 festékek TU értékeinek változása figyelhető meg, a pigmentarány függvényében. Megállapítható, hogy a PJ005 értékei nagyobb intervallumban

⁷ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

ingadoznak és a 15%-os pigmentarány fölött a két görbe elkezd elválni egymástól. Tapasztalat szerint a probléma épp ebben a tartományban jelentkezik.

Az illesztett görbék egyenletei (5):

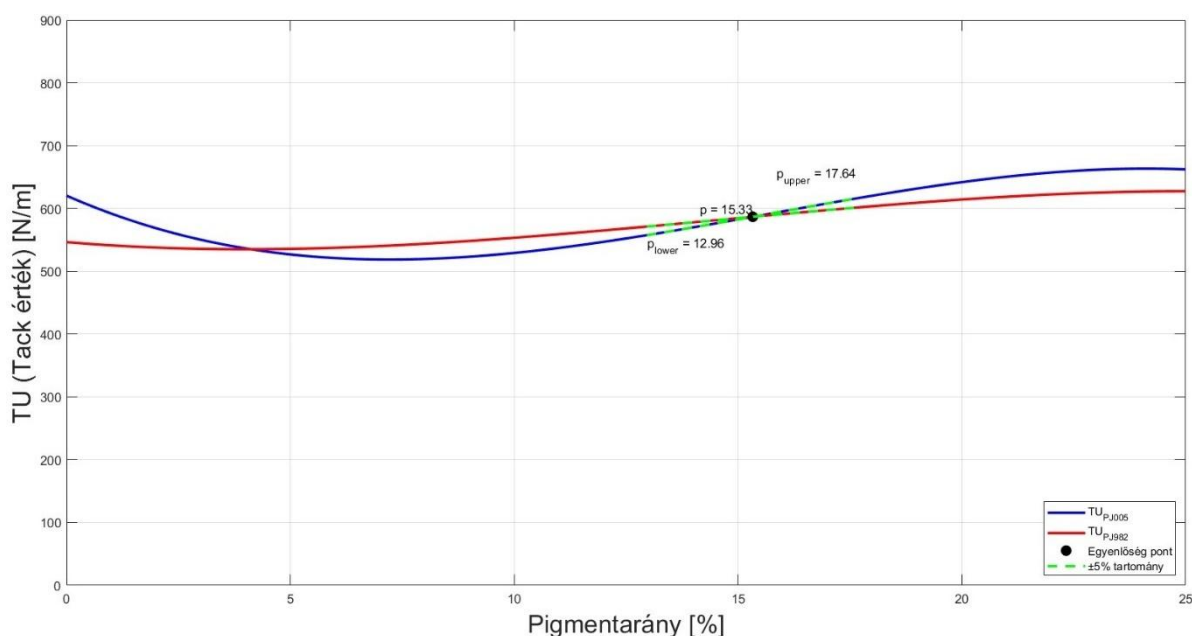
$$TU_{PJ005} = -0,06 * p^3 + 2,82 * p^2 - 31,33 * p + 620,44$$

$$TU_{PJ982} = -0,02 * p^3 + 0,87 * p^2 - 6,01 * p + 546,43$$
(8)

Ezekre a görbékre is elvégeztem azt a numerikus analízist, amit a viszkozitásnál is és meghatároztam azokat a pigmentarányokat, ahol a TU értékek a két festék esetén megegyeznek. Végül azokat a pigmentarány értékeket is kiszámoltam, melyek használata esetén a PJ005 és a PJ982 TU értékei 5%-os intervallumon belül vannak. 10%-ról 5%-ra csökkentettem ezt az intervallumot, mert azt tapasztaltam, hogy a két festék TU értékei nem térnek el egymástól olyan drasztikus mértékben, mint a viszkozítások tették. A numerikus analízist ebben az esetben a Matlabbal végeztem el, a kódot és a leírást az **F9** függelék tartalmazza.⁸

A mérési eredményeimből látszik, hogy a PJ005 és PJ982 TU értékei $p_1 = 4,07\%$ és $p_2 = 15,33\%$ pigmentarány mellett egyeznek meg.

A p_1 eredményt elvetem, mert ilyen alacsony pigmentarány mellett a nyomat intenzitása nem lehet megfelelő. A $\pm 5\%$ -os tartományt grafikonon is ábrázolta a program (12. ábra).



12. ábra: A PJ005 és a PJ982 festékek TU értékeinek változása a pigmentarány függvényében

⁸ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

A 12. ábrán azt látjuk, hogy a $p = 15,33\%$ -os pigmentarány mellett, ahol a két festék TU értéke egyenlő (586,7 N/m), mi az az intervallum (csíkozott rész a görbéken), amiben a TU értékek $\pm 5\%$ -on belül maradnak. Ennek a TU intervallumnak a határai: 557,3 N/m és 616,1 N/m.

A grafikonra ki is írja a program az pigmentarány intervallum szélső értékeit.

Ez alapján:

$$12,96\% < p_{TU} < 17,64\% \quad (9)$$

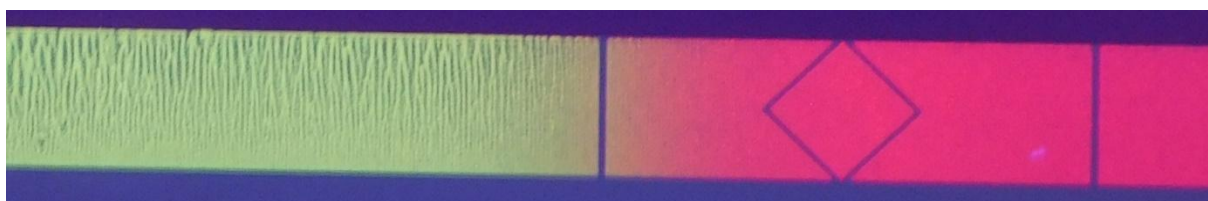
E pigmentarányok közt a PJ982 tack értéke megfelelően megközelíti a PJ005 festékét. Ez esetben a festékek nyomtathatósága is hasonlóan megfelelő kell, legyen.

Ezt az értéket összevetem a viszkozitásnál kapott pigmentaránnal is.

$$13,5\% < p_{\eta} < 17,5\% \quad (10)$$

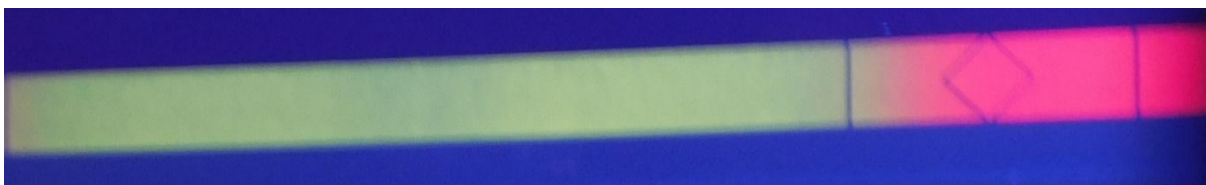
A két érték fedi egymást így, ha ebből az intervallumból választunk pigmentarányt, akkor a PJ005 és PJ982 festékek reológiai tulajdonságai egymáshoz hasonlóak lesznek és így, várhatóan a nyomtathatósági tulajdonságaik is.

A nyomat terhelési csíkjairól fényképeket készítettem a Pénzjegynyomda Zrt. laboratóriumában. Ezeket a 13 – 18. ábrák mutatják.



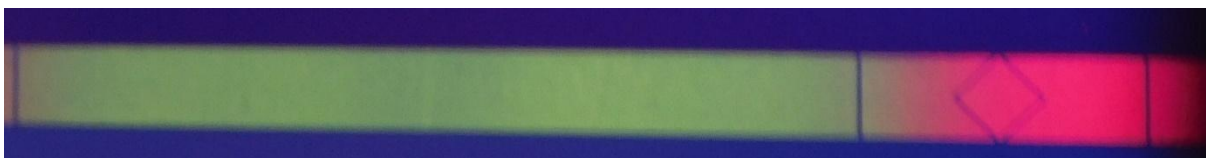
13. ábra: A PJ982 és a PJ005 festékek 254, illetve 365 nm hullámhosszú UV-sugárzás hatása alatt.

A 13. ábrán az látható, hogy az elkészített nyomat terhelési csíkja 254 és 365 nm hullámhosszúságú UV-sugárzás hatására sárga, illetve vörös fényben „világít”. A PJ982 festék az UV-C tartományba eső UV-sugárzással lett megvilágítva és ennek hatására sárga színű fényt emittál. A PJ005 festék UV-A tartományba eső UV-sugárzással lett besugározva és ennek hatására vörös színű fényt emittál. A PJ982 festék terhelési csíkján jól látható az a nyomtatási probléma, ami miatt a nyomat csíkozott lesz. Ennek a jelenségnek a megszüntetése a cél.



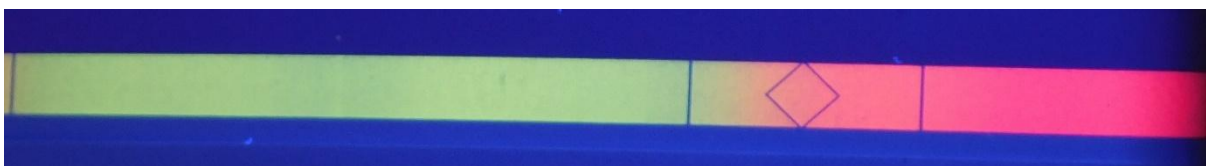
14. ábra: A PJ982 (11%-os pigmentarányú) és a PJ005 festékek 254, illetve 365 nm hullámhosszú UV-sugárzás hatása alatt.

A 14. ábrán a PJ982 festéknek az a változata látható, amiben az UV-pigment arányát az eredeti 25%-ról 11%-ra csökkentették. Ekkor a 13. ábrán megfigyelhető csíkozottság nem látható.



15. ábra: A PJ982 (12%-os pigmentarányú) és a PJ005 festékek 254, illetve 365 nm hullámhosszú UV-sugárzás hatása alatt.

A 15. ábrán a PJ982 festéknek az a változata látható, amiben az UV-pigment arányát az eredeti 25%-ról 12%-ra csökkentették. Ekkor a 13. ábrán megfigyelhető csíkozottság nem látható.



16. ábra: A PJ982 (13%-os pigmentarányú) és a PJ005 festékek 254, illetve 365 nm hullámhosszú UV-sugárzás hatása alatt.

A 16. ábrán a PJ982 festéknek az a változata látható, amiben az UV-pigment arányát az eredeti 25%-ról 13%-ra csökkentették. Ekkor a 13. ábrán megfigyelhető csíkozottság nem látható.



17. ábra: A PJ982 (14%-os pigmentarányú) és a PJ005 festékek 254, illetve 365 nm hullámhosszú UV-sugárzás hatása alatt.

A 17. ábrán a PJ982 festéknek az a változata látható, amiben az UV-pigment arányát az eredeti 25%-ról 14%-ra csökkentették. Ekkor, bár a 13. ábrán megfigyelhető csíkozottság nem látható, de megfigyelhető, hogy a pigmentkirkódással járó nyomtatási hiba kezd kialakulni.

4.3. JAVASLATOK A FELVETETT PROBLÉMÁK MEGOLDÁSÁRA

A vizsgálati eredmények fényében javaslom, hogy a gyártás során a PJ982 festék pigmenttaralmát a mai 25%-os értékről csökkentsék 11-13%-ra. Ekkor a tapasztalt nyomtatási probléma megszűnik. Ezzel együtt mérlegelni szükséges a PJ982 festék emittált fényének intenzitásának csökkenését, mint a pigmentarány változtatás velejáróját. Ha ez a csökkenés a nyomtatási probléma megszűnése mellett elfogadható, akkor a gyártást e megváltozó specifikáció mellett javaslom folytatni.

Továbbá szükségesnek tartom a PJ982 festékben alkalmazott pigment cseréjét. A dolgozat vizsgálataiból látható, hogy a másik festék, a PJ005 hasonló pigmentarány mellett nem mutatja a nyomtatási problémát, a pigment kirakódását. Ebből az következik, hogy létezik olyan UV-pigment, ami olyan hullámhosszon emittál, mint a jelenlegi PJ982 pigment, de a PJ005 nyomtathatósági tulajdonságaival is bír. Érdekes lehet ebben az irányban folytatni a kutatást és kipróbálni több pigmentgyártó vállalat termékét.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Dolgozatomban a nedvesítőfolyadékmentes ofsetnyomtatás során használt nyomdafestékek reológiai tulajdonságait vizsgáltam, különös tekintettel a viszkozításra és a tack értékekre. A vizsgálatok fő célja az volt, hogy megértsük, mi okozza a PJ005 és PJ982 festékek közötti nyomtatási különbségeket, különösen az írisznyomtatás során felmerülő problémát, ahol a PJ982 festékkel kirakódás és csíkozás jelentkezik.

A vizsgálatok során megállapítottam, hogy mind a festékek viszkozítása, mind a tack értéke jelentős mértékben függ a festék hőmérsékletétől és az UV-pigment arányától. A PJ982 festék esetében a pigment növekedésével drasztikus viszkozitásnövekedést tapasztaltam, ami hozzájárul a nyomtatási hibákhoz. Ezzel szemben a PJ005 festék viszkozítása stabilabb maradt, és nem mutatott ilyen jelentős változást.

Az általam végzett mérések alapján sikerült meghatározni azt a pigmentarányt (13-17%), amely mellett a PJ982 festék viszkozítása és tack értéke közel azonos a PJ005 festékével. Ez a pigmentarány lehetőséget nyújt arra, hogy a nyomtatás minősége javuljon és a csíkozás megszűnjön.

A javaslatom a gyártás számára, hogy a PJ982 festék pigmentarányát csökkentsék a jelenlegi 25%-ról 12-13%-ra. Ezzel a nyomtatási probléma megszűnhet, bár figyelembe kell venni a pigment arány csökkentésének hatását a festék emittálási tulajdonságaira is. Továbbá érdemes lehet alternatív UV-pigmenteket is tesztelni, amelyek megfelelő nyomtatási és optikai tulajdonságokkal rendelkeznek.

Ezzel a kutatással remélem, hogy hozzájárulok a nedvesítőfolyadékmentes ofsetnyomtatás technológiai fejlődéséhez, és segítem a nyomtatási folyamatok hatékonyságának növelését.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://www.printingsystem.toray/> [Megtekintve: 2024. június 05.]
- [2] Toray Industries INC.: Toray Waterless CTP Plate Instruction Manual, Toray Waterless Plate, 2003. május
- [3] Pukánszky B. – Varga J.: Bevezetés a műanyagok fizikájába, BME Fizikai Kémia és Anyagtudomány Tanszék, Műanyag és Gumiipari Laboratórium, 2012
- [4] Leach, R. – Pierce, R.: The Printing Ink Manual, Springer, SPRINGER VERLAG PUBLISHING, 1999
- [5] https://www.buhlergroup.com/global/en/products/trias_three-rollmill.html [Megtekintve: 2024. augusztus 26.]
- [6] Kazi Imran - Kunigal N Shivakumar: Enhancement of Electrical Conductivity and Assessment of Thermal and Mechanical Properties of Graphene/Epoxy Nanocomposites, American Society for Composites 30th Technical Conference, At: Michigan State University, East Lansing, Michigan, 2015
- [7] <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/262-0001TS?SID=srch-srp-262-0001TS> [Megtekintve: 2024. július 16.]
- [8] https://www.staff.u-szeged.hu/~peintler/files/gyfkl/MELL%C3%89KLET_A%20rot%C3%A1ci%C3%B3s%20viszkozim%C3%A9ter%20haszn%C3%A1lata.pdf [Megtekintve: 2024. július 16.]
- [9] <https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametekbrookfield/manuals/obsolete%20manuals/dial%20m85-150-p700.pdf?la=en> [Megtekintve: 2024. július 16.]
- [10] <https://www.kershawinst.com/products/ink-tack-measurement/inkometer-model-e2006u/> [Megtekintve: 2024. augusztus 02.]
- [11] <https://edu.epito.bme.hu/local/coursepublicity/mod/resource/view.php?id=58079> [Megtekintve: 2024. augusztus 02.]
- [12] https://www.stat.berkeley.edu/~rice/oldstat20_S98/Chapt11.pdf [Megtekintve: 2024. augusztus 02.]
- [13] <https://www.thwingalbert.com/product/inkometer-1100/> [Megtekintve: 2024. augusztus 27.]

7. FÜGGELÉK

F1 Viszkozitás hőmérsékletfüggésének számolásához alkalmazott egyenletek levezetése

Az Arrhenius - Andrade egyenletből indulok ki, azt egyszerűsíttem:

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}} = Ae^{\frac{B}{T}}$$

Legyenek A és B a festékre jellemző anyagi állandók, ahol $B = E/R$.

Az A és B állandókat úgy lehet kimérni, ha két ismert T hőmérsékleten (T_1, T_2) meghatározzuk a festék viszkozitásait, majd az itt levezetett képleteket használjuk. Ha T_1 ismert, az ehhez tartozó viszkozitás: η_1 , a T_2 -höz η_2 tartozik. Az ezekre vonatkozó összefüggések:

$$\eta_1 = Ae^{\frac{B}{T_1}}$$

$$\eta_2 = Ae^{\frac{B}{T_2}}$$

Ezeket az egyenleteket linearizálom:

$$\ln \eta_1 = \ln \left(Ae^{\frac{B}{T_1}} \right)$$

$$\ln \eta_2 = \ln \left(Ae^{\frac{B}{T_2}} \right)$$

$$\ln \eta_1 = \ln A + \ln e^{\frac{B}{T_1}}$$

Kivonom őket egymásból:

$$\ln \eta_1 - \ln \eta_2 = \ln e^{\frac{B}{T_1}} - \ln e^{\frac{B}{T_2}}$$

$$\ln \eta_1 - \ln \eta_2 = \frac{B}{T_1} \ln e - \frac{B}{T_2} \ln e$$

Mivel $\ln e = 1$:

$$\ln \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{B}{T_1} - \frac{B}{T_2}$$

$$\ln \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{BT_2 - BT_1}{T_1 T_2}$$

Innen a B:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

Az A állandó is hasonló módszerrel határozható meg. A kiinduló egyenlet:

$$\eta = A e^{\frac{B}{T}}$$

$$\ln \eta = \ln A e^{\frac{B}{T}}$$

$$\ln \eta = \ln A + \ln e^{\frac{B}{T}}$$

$$\ln \eta = \ln A + \frac{B}{T}$$

$$\ln A = \ln \eta - \frac{B}{T}$$

$$A = e^{\ln \eta - \frac{B}{T}}$$

$$A = e^{\ln \eta} e^{-\frac{B}{T}}$$

Az $e^{\ln \eta} = \eta$ azonosság segítségével:

$$A = \eta_1 e^{-\frac{B}{T_1}}$$

A

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

$$A = \eta_1 e^{-\frac{B}{T_1}}$$

egyenleteket tartalmazta a használati útmutató. Segítségükkel kiszámolhatók az A és B állandók, majd az Arrhenius egyenlettel meghatározható az adott festék viszkozitása tetszőleges hőmérsékleten.

F2 Mérési eredmények összefoglaló táblázata a pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ005 festék viszkozitás adatairól 25 és 40 °C-on

Viszkozitás								
Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Minta [g]	η_1 [Pa·s]	Minta [g]	η_2 [Pa·s]	Minta [g]	η_3 [Pa·s]	$\bar{\eta}$ [Pa·s]
PJ005	25 °C							
		1. mérés		2. mérés		3. mérés		
	0	1,46	84,96	1,38	79,48	1,36	79,89	81,44
	3	1,41	86,62	1,46	96,18	1,45	99,56	94,12
	9	1,48	102,40	1,40	94,39	1,44	92,58	96,45
	15	1,41	91,58	1,42	89,45	1,41	91,14	90,72
	21	1,47	87,35	1,42	91,55	1,36	94,87	91,25
	25	1,35	82,26	1,38	89,17	1,45	98,30	89,91
	40 °C							
	0	1,33	21,30	1,32	22,95	1,37	20,48	21,57
	3	1,40	25,58	1,32	18,28	1,36	21,48	21,78
	9	1,31	22,31	1,32	19,66	1,35	24,01	21,99
	15	1,34	15,17	1,38	23,84	1,34	22,32	20,44
	21	1,37	23,30	1,39	19,93	1,41	18,17	20,46
	25	1,43	24,19	1,37	18,65	1,32	22,84	21,89

F3 Mérési eredmények összefoglaló táblázata a pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ982 festék viszkozitás adatairól 25 és 40 °C-on

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Minta [g]	η_1 [Pa·s]	Minta [g]	η_2 [Pa·s]	Minta [g]	η_3 [Pa·s]	$\bar{\eta}$ [Pa·s]
PJ982	25 °C							
		1. mérés		2. mérés		3. mérés		
	0	1,32	74,54	1,36	87,24	1,31	69,14	76,97
	3	1,32	67,84	1,37	71,38	1,40	77,06	72,09
	9	1,34	101,20	1,27	97,42	1,32	90,34	96,32
	10	1,35	107,71	1,40	106,01	1,36	107,54	100,09
	15	1,38	112,40	1,32	114,00	1,30	115,00	113,80
	20	1,45	139,74	1,30	148,50	1,52	136,40	141,55
	22	1,33	151,65	1,44	162,47	1,32	176,72	163,61
	40 °C							
	0	1,35	22,75	1,41	25,17	1,44	20,06	22,66
	3	1,32	25,95	1,45	24,89	1,33	28,54	26,46
	9	1,48	32,14	1,44	29,61	1,47	36,23	32,66
	10	1,31	36,21	1,36	33,11	1,44	34,28	34,53
	15	1,33	35,36	1,38	38,75	1,32	39,81	37,97
	20	1,30	46,45	1,44	56,65	1,43	47,61	50,23
	22	1,36	55,43	1,49	48,41	1,45	62,59	55,47

F4 Saját pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ005 ofszetfesték viszkozitás adatai
különböző hőmérsékleteken

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Nyomómű								
PJ005	0	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		371,7	322,9	282,7	249,3	221,2	197,5	177,3	159,9	144,9
	3	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		501,3	429,4	370,9	322,8	282,9	249,7	221,7	197,9	177,7
	9	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		522,5	446,8	385,4	334,9	293,3	258,4	229,2	204,37	183,2
	15	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		498,2	425,5	366,5	318,2	278,3	245,0	217,1	193,4	173,2
	21	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		503,9	430,1	370,3	321,4	280,9	247,2	218,9	195,0	174,6
	25	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		451,9	389,1	337,8	295,4	260,2	230,6	205,6	184,3	166,0

*F5 Saját pigmentjét különböző arányokban tartalmazó PJ982 ofszetfesték viszkozitás adatai
különböző hőmérsékleteken*

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Nyomómű								
PJ982	0	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		311,4	273,5	242,0	215,5	193,0	173,9	157,4	143,2	130,9
	3	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		226,6	203,8	184,4	167,6	153,2	140,6	129,6	119,9	111,4
	9	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		331,5	295,7	265,3	239,5	217,3	198,1	181,4	166,8	154,0
	10	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		338,9	301,8	271,3	245,3	222,8	203,5	186,6	171,9	158,9
	15	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		398,9	355,2	318,3	286,8	259,8	236,6	216,4	198,7	183,3
	20	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		462,5	414,5	373,6	338,7	308,5	282,4	259,6	239,6	221,4
	22	Hőmérséklet [°C]								
		17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5
		Viszkozitás [Pa·s]								
		563,3	502,3	450,7	406,8	369,1	336,5	308,2	283,4	261,7

F6 A viszkozitások numerikus analízise ⁹

Adott a két viszkozitási függvény a pigment arányának (p) függvényében, 19,5 °C-on:

$$\eta_{PJ005} = -0,2879 * p^2 + 8,0711 * p + 238,5958$$
$$\eta_{PJ982} = -0,0079 * p^3 + 0,62 * p^2 - 2,11 * p + 180,09$$

Feladatok:

1. Milyen p érték mellett lesz a két viszkozitás egyenlő?
2. Milyen p értékek mellett lesz a két viszkozitás közötti különbség $\pm 10\%$ -on belül?

A két viszkozitás egyenlőségének meghatározása

Lépések:

- Egyenletek egyenlővé tétele:

$$-0,2879 * p^2 + 8,0711 * p + 238,5958 = -0,0079 * p^3 + 0,62 * p^2 - 2,11 * p + 180,09$$

- Minden tagot egy oldalra rendezés és egyszerűsítés:

$$0,0079 * p^3 - 0,9079 * p^2 + 10,1811 * p + 58,5058 = 0$$

- Harmadfokú egyenlet numerikus megoldása:

Elosztom az egyenlet mindkét oldalát 0,0079-cel:

$$p^3 - 114,9241 * p^2 + 1289,3772 * p + 7405,1772 = 0$$

Megoldás keresése

Newton-Raphson-féle numerikus módszert használok a gyökök meghatározásához. A Newton-Raphson módszer egy iteratív numerikus eljárás, amelyet a nemlineáris egyenletek megoldására használnak. A módszer lényege, hogy egy adott függvény gyökét (ahol a függvény értéke nulla) közelítjem egy kezdeti tippből kiindulva. A módszer iteratív, tehát minden lépésben javítok a közelítésen, amíg elég pontos megoldást nem kapok. Ennek az eredménye:

$$p = 15,2\%$$

⁹ Itt használtam a ChatGPT 4.0-t, információkat kértem tőle.

Ennél a pigmentarányánál lesz a két festék (PJ005 és PJ982) viszkozitása egyenlő.

A viszkozitások $\pm 10\%$ -os eltérésének meghatározása

Lépések:

- 10%-os tolerancia meghatározása

Az alapérték legyen az egyenlőségi pontban kiszámított viszkozitás:

$$\eta = -0,2879 * p^2 + 8,0711 * p + 238,5958$$
$$\eta = -0,2879 * 15,2^2 + 8,0711 * 15,2 + 238,5958 = 285 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

10%-os tartomány:

Alsó határ: $285,0 - 28,5 = 256,5$

Felső határ: $285,0 + 28,5 = 313,5$

- A p értékek meghatározása ezen tartományon belül

Olyan p értékeket keresek, amelyekre:

$$|\eta_1 - \eta_2| \leq 28,5$$

Numerikus módszerrel meghatározva

Alsó tartomány:

- p értékek, ahol a viszkozitások közötti különbség 28,5 alatti.

Megoldás:

A numerikus számítások alapján a következő p tartományt kapom:

$$13,0 < p < 17,5$$

Tehát, amikor a p értéke 13,0 és 17,5% között van, a két viszkozitás közötti különbség $\pm 10\%$ -on belül marad.

F7 A PJ005 típusú festék mért tack értékei

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Mintamennyiség [g]	Mért érték			
			T _a [N/m]	T _{max} [N/m]	T _{time} [s]	TU [N/m]
PJ005	0	0,43	664	703	162,00	660
		0,43	601	646	160,00	580
		0,40	587	646	164,60	660
	3	0,44	571	619	153,20	560
		0,41	541	596	156,00	510
		0,42	537	598	162,00	495
	9	0,40	615	664	162,80	595
		0,40	597	660	164,80	540
		0,44	541	618	163,60	515
	15	0,40	619	672	149,80	550
		0,45	613	688	162,40	560
		0,41	594	646	151,40	550
	21	0,42	677	727	168,60	620
		0,41	719	751	155,60	660
		0,40	661	708	153,40	600
	25	0,44	688	749	153,20	620
		0,42	699	769	155,60	640
		0,40	632	674	128,80	570

F8 A PJ982 típusú festék mért tack értékei

Vizsgált festékminta	Pigment aránya [%]	Mintamennyiség [g]	Mért érték			
			T _a [N/m]	T _{max} [N/m]	T _{time} [s]	TU [N/m]
PJ982	0	0,42	564	607	158,00	560
		0,40	582	622	153,40	550
		0,42	570	612	155,20	545
	3	0,43	552	590	160,00	540
		0,41	545	594	158,40	520
		0,44	521	580	164,80	510
	9	0,42	586	629	147,00	560
		0,41	579	630	164,80	560
		0,40	593	652	164,80	560
	15	0,40	597	635	164,80	570
		0,45	599	642	161,20	550
		0,40	595	641	163,40	550
	20	0,40	581	621	163,40	590
		0,43	586	637	163,00	595
		0,41	572	607	164,80	585
	22,5	0,43	556	578	162,80	550
		0,41	550	571	148,60	580
		0,42	567	575	148,60	590

F9 A tack értékek numerikus számításának Matlab programkódja

A programkód a következő:

```
% Definiáljuk a függvényeket

TU_PJ005 = @(p) -0.06*p.^3 + 2.82*p.^2 - 31.33*p + 620.44;
TU_PJ982 = @(p) -0.02*p.^3 + 0.87*p.^2 - 6.01*p + 546.43;

% Keressük meg a p = 15.33 körüli egyenlőségi pontot
p_target = 15.33;

% TU érték meghatározása a p = 15.33 pontnál
TU_target = TU_PJ005(p_target); % TU_PJ005 és TU_PJ982 egyenlő ezen a ponton

% ±5%-os határok meghatározása a p = 15.33 pont körül
tolerance = 0.05;
lower_bound = TU_target * (1 - tolerance);
upper_bound = TU_target * (1 + tolerance);

% Határokon belüli p értékek keresése
p_range = linspace(0, 25, 1000);
TU_PJ005_vals = TU_PJ005(p_range);
TU_PJ982_vals = TU_PJ982(p_range);
difference_vals = abs(TU_PJ005_vals - TU_PJ982_vals);

% Csak a TU(15.33)-hoz tartozó ±5% tartomány meghatározása
within_tolerance = (TU_PJ005_vals >= lower_bound) & (TU_PJ005_vals <= upper_bound)
& ...

                (TU_PJ982_vals >= lower_bound) & (TU_PJ982_vals <=
upper_bound);
```

```

% Meghatározzuk a tartomány határainak p értékeit

p_lower = min(p_range(within_tolerance));
p_upper = max(p_range(within_tolerance));

% Eredmények megjelenítése

disp('TU érték p = 15.33-nál:');
disp(TU_target);

disp('Tartományok, ahol a különbség ±5%-on belül van:');

disp(['p tartomány: ', num2str(p_lower), ' és ', num2str(p_upper), ' között']);

% Grafikon ábrázolása

figure;

plot(p_range, TU_PJ005_vals, 'b-', 'LineWidth', 2);

hold on;

plot(p_range, TU_PJ982_vals, 'r-', 'LineWidth', 2);

plot(p_target, TU_target, 'ko', 'MarkerSize', 8, 'MarkerFaceColor', 'k');

plot(p_range(within_tolerance), TU_PJ005_vals(within_tolerance), 'g--',
'LineWidth', 2);

plot(p_range(within_tolerance), TU_PJ982_vals(within_tolerance), 'g--',
'LineWidth', 2);

% Tengelyek beállítása

ylim([0 900]);

% Egyenlőség és tartomány határok kiírása a grafikonon

text(p_target, TU_target, sprintf('p = %.2f', p_target), 'VerticalAlignment',
'bottom', 'HorizontalAlignment', 'right');

```

```

text(p_lower, lower_bound, sprintf('p_{lower} = %.2f', p_lower),
'VerticalAlignment', 'top', 'HorizontalAlignment', 'left');

text(p_upper, upper_bound + 20, sprintf('p_{upper} = %.2f', p_upper),
'VerticalAlignment', 'bottom', 'HorizontalAlignment', 'right');

xlabel('Pigmentarány [%]', 'FontSize', 20);

ylabel('TU (Tack érték) [N/m]', 'FontSize', 20);

title('TU értékek és ±5%-os tartomány p_{2} = 15,33% körül', 'FontSize', 22);

legend({'TU_{PJ005}', 'TU_{PJ982}', 'Egyenlőség pont', '±5% tartomány'},
'Location', 'southeast');

grid on;

hold off;

```