



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

POLIMERTECHNIKA TANSZÉK

UJJ BENCE TIBOR

TDK DOLGOZAT

FŰTÖTT CSATORNA HATÁSA A FRÖCCSÖNTÖTT TERMÉKEK
SZÍNHOMOGENITÁSÁRA

Konzulensek:

Párizs Richárd Dominik

doktorandusz

Dr. Török Dániel

adjunktus

BUDAPEST, 2021

NYILATKOZATOK

Elfogadási nyilatkozat

Ez a dolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt tartalmi és formai követelménynek megfelelően készült. E dolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja: 2021.10.29.

Párizs Richárd Dominik

Nyilatkozat az önálló munkáról

Alulírott, *Ujj Bence Tibor* (CZE8UO), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karának hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2021.10.29.

Ujj Bence Tibor

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek és konzulensemnek, Török Dánielnek és Párizs Richárdnak, akik nélkül ez a dolgozat nem születhetett volna meg.

Köszönöm Richárdnak, hogy bárminemű problémával akármikor kereshettem, minden esetben tudtunk megoldást találni azokra. Köszönöm továbbá, hogy észrevételeivel hozzájárult dolgozatom szakmai és minőségi javulásához, illetve a kísérleti rész és a kiértékelés során nyújtott segítségét.

Köszönetet mondok Török Dánielnek, aki különösen a színezés, színhomogenitás és a kiértékelés során volt hatalmas segítségemre, akit szintén akár személyesen akár online kereshettem dolgozatom megírása közben bármikor. Köszönöm a kiértékelő program megírásában segítségét, illetve, hogy egy ilyen összetett témát és szakterületet lefedő tudásanyagot adott át számomra érthető módon.

További köszönet illeti a Polimertechnika Tanszéket, akik rendelkezésemre bocsájtották a dolgozatom megírásához szükséges berendezéseket, illetve alapanyagokat.

Hálámat és köszönetemet fejezem ki szüleim iránt, akik egyetemi tanulmányaim alatt biztosították a fejlődésemhez szükséges nyugodt környezetet, illetve köszönöm, hogy a teljes utam során végig mindenben támogattak. Köszönöm továbbá családom további tagjainak az elmúlt évek során nyújtott támogatásukat. Köszönöm folytonos érdeklődéseiket és biztatásaikat.

Végül pedig köszönetemet szeretném barátaim felé kifejezni, akik mind emberileg, mind szakmailag meghatározó személyek voltak számomra az elmúlt években, akik nehezebb időszakaim alatt is támogattak és kitartottak mellettem.

TARTALOMJEGYZÉK

Köszönetnyilvánítás	iv
1. Bevezetés	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Fröccsöntés és alapanyagai	4
2.1.1. Fröccsöntés	4
2.1.2. Fröccsöntéshez alkalmazott polimerek	5
2.1.3. Adalékok.....	7
2.2. Fröccsöntött termékek színezése	11
2.2.1. Színezési lehetőségek	11
2.2.2. Adagoló és keverő berendezések	13
2.3. Színhomogenitás minősítése	19
2.3.1. Színérzékelés.....	19
2.3.2. Színterek	20
2.3.3. Színhomogenitás.....	22
2.4. Irodalomkutatás összefoglalása.....	25
3. Felhasznált anyagok, alkalmazott berendezések	26
3.1. Felhasznált alapanyagok	26
3.2. Alkalmazott berendezések	26
3.3. Vizsgálati módszer	27
4. Kísérleti/fejlesztési rész	29
4.1. Kiértékelő MATLAB-program bemutatása	29
4.2. Eredmények kiértékelése	32
4.2.1. Fő paraméterek hatásai a színhomogenitásra	32
4.2.2. Paraméterek kölcsönhatásai a színhomogenitásra	36
5. Összefoglalás.....	42
5.1. Magyar nyelvű összefoglaló	42
6. Felhasznált források.....	44

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

Latin betűk

Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$f_B(x,y)$	kép kék színének intezitásfüggvénye (the intensity function of color blue of an image)	-
$f_G(x,y)$	kép zöld színének intezitásfüggvénye (the intensity function of color green of an image)	-
$f_R(x,y)$	kép piros színének intezitásfüggvénye (the intensity function of color red of an image)	-
$G_{\text{intenzitás}}(x,y)$	kép adott pont beli szürkeségi fokának intezitásfüggvénye (the intensity function of the degree of grayscale of an image at a given point)	-
G_x	szűrt mátrix x irányban (blurred matrix in direction x)	-
$G_x(i,j)$	szűrt x irányú mátrix i-edik sorának és j-edik oszlopának eleme (element of the direction x blurred matrix in the i-th row, j-th column)	-
G_y	szűrt mátrix y irányban (blurred matrix in direction y)	-
$G_y(i,j)$	szűrt y irányú mátrix i-edik sorának és j-edik oszlopának eleme (element of the direction y blurred matrix in the i-th row, j-th column)	-
$\text{grad}M(i,j)$	gradiens magnitúdó mátrix i-edik sorának és j-edik oszlopának eleme (element of the gradient magnitude matrix in the i-th row, j-th column)	-
H_x	operátor mátrix x irányban (operator matrix in direction x)	-
H_y	operátor mátrix y irányban (operator matrix in direction y)	-
I	kép (picture)	-
I_{GLCM}	GLCM módszer esetén alkalmazott kép felbontása (the resolution of the image used in the GLCM method)	-
i	sor (row)	-
j	oszlop (column)	-
K	konzisztencia koefficiens (consistency coefficient)	Ns/m ²
$K_{\text{RGB}}(x,y)$	kép színének intezitásfüggvénye (the intensity function of the color of an image)	-
L_x	x irányú pixelszám (pixel number in direction x)	-
L_y	y irányú pixelszám (pixel number in direction y)	-
n	hatvány-érzékenységi kitevő (sensitivity exponent)	-
$p(i,j)$	függőségi mátrix i-edik sorának és j-edik oszlopának eleme (element of the dependency matrix in i-th row, j-th column)	-
T_g	üveges átmeneti hőmérséklet (glass transition temperature)	°C
T_m	kristályolvadási hőmérséklet (crystal melting point)	°C
T_o	olvadási hőmérséklet (melting point)	°C

$T_{\text{ö}}$	ömledék-hőmérséklet (melt temperature)	°C
V_{bef}	befröccsöntési sebesség (injection molding speed)	cm ³ /s
V_{ker}	csiga kerületi sebessége (screw speed)	m/min

Görög betűk

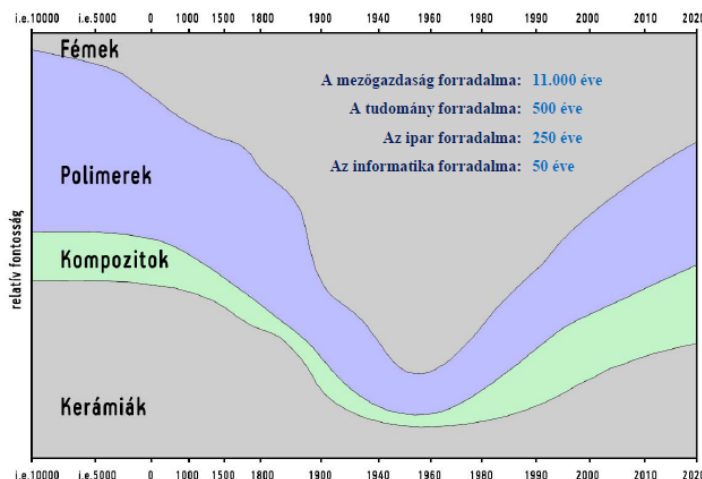
Jelölés	Megnevezés, megjegyzés, érték	Mértékegység
$\dot{\gamma}$	deformációsebesség (strain rate)	1/s
Δa	zöld-vörös átmenetbeli különbség (green-red temporary difference)	-
Δb	kék-sárga átmenetbeli különbség (blue-yellow temporary difference)	-
ΔE	színkülönbség (color difference)	-
ΔL	világosságbeli különbség (light difference)	-
τ	nyíró feszültség (shear stress)	MPa

Rövidítések

Rövidítés	Megnevezés
2D	két-dimenziós (two-dimensional)
3D	három-dimenziós (three-dimensional)
a	zöld-vörös átmenet (greend-red transition)
ABS	Akrilnitril-butadién-sztirol (Acrylonitrile-butadiene-styrene)
b	kék-sárga átmenet (blue-yellow transition)
CCD	központi kompozíciós kísérleti terv (Central Composite Design experiment)
CIE-Lab	CIE-Lab színtér (CIE-Lab color space)
FFDoE	teljes faktoriális kísérletterv (Full Factorial Design of Experiment)
GLCM	szürke-árnyalat újramegjelenési mátrix (gray level co-occurrence matrix)
L	világosság (lightness)
MFI	szabványos folyási mutatószám (Melf Flow Index)
PBT	Polibutilén Tereftalát (Polybutylene Terephthalate)
PC	Polikarbonát (Polycarbonate)
PP	Polipropilén (Polypropylene)
RGB	színkód (color code)
UV	ultraibolya sugárzás (ultraviolet radiation)

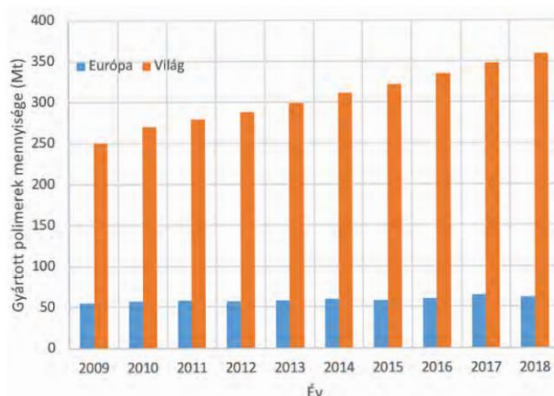
1. BEVEZETÉS

Az emberiség amióta eszközöket készít, azóta használ fel különböző anyagokat. Kezdetben tudásunk és a technológia hiánya miatt még csak egyszerűbb, természetben előforduló alapanyagokat alkalmaztunk. Az idő előre haladtával viszont ez változott, manapság pedig már számos anyag áll egy tervezőmérnök rendelkezésére (1. ábra) [1, 2].



1. ábra Az emberiség által használt anyagok relatív fontossága a történelem során [1]

Az 1950-es évektől kezdve napjainkig a műszaki és általános célú polimerek egyre nagyobb teret hódítanak, és számos területen alkalmazzák őket. Felhasználásuk mind európai, mind világ szinten növekvő tendenciát mutat (2. ábra), ami köszönhető a rendkívül jó csillapító képességüknek, könnyű feldolgozhatóságuknak és kis sűrűségüknek [3].



2. ábra A világ és Európa által felhasznált polimerek mennyisége napjainkig [3]

Napjainkban a polimer alapanyagok széles skálája érhető el a piacon, gyakorlatilag minden feldolgozótechnológiának és területnek megvan a saját alapanyaga.

Anyagszerkezetük szerint két nagy csoportba sorolhatjuk őket, a hőre lágyuló és a hőre nem lágyuló polimerek közé. Dolgozatomban a hőre lágyuló polimerek egyik legelterjedtebb gyártástechnológiájával, a fröccsöntéssel fogok foglalkozni. A fröccsöntés egy rendkívül termelékeny, ciklikus technológia, ami során a polimer alapanyagot ömledék állapotba hozzuk, majd a megömlesztett alapanyagot nagy nyomással és nyírósebességgel, egy szűk nyíláson keresztül, zárt szerszámba fecskendezzük. A terméket a zárt szerszámban lehűtjük, mellyel megtörténik az alakrögzítés, majd ezt követően a szerszám kinyit és a terméket eltávolítjuk. Ezután a folyamat kezdődik előlről. A fröccsöntést nem csak a világon, de hazai szinten is egyre többet alkalmazzák (**1. táblázat**), az itthon gyártott műanyag termékek több mint harmadát ezzel a technológiával állítják elő [3, 4].

Termékek	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2018/2012, %	2018/2017, %
Fröccstermék, kt	238	244	264	294	311	318	331	139,1	104,1
Résarány az összesből	29,6	29,9	29,7	31,1	32,0	31,5	31,8		
Mindösszesen, kt	803	817	889	944	973	1013	1042	129,8	102,9

1. táblázat A fröccsöntés elterjedtsége a hazai műanyagiparban [4]

A fröccsöntés termelékenységét tovább tudjuk növelni, ha több fészkes szerszámokat használunk, tehát egy ciklus alatt egyszerre több terméket is tudunk gyártani. Ezek a többfészkes fröccsöntő szerszámok általában bonyolult kialakításúak, ami különösen igaz a fűtöttcsatornás kialakítású szerszámokra. Miden szerszám esetében elengedhetetlen a fröccsöntési ciklus paramétereinek pontos beállítása, annak érdekében, hogy a megrendelő szempontjából jó minőségű termékeket tudjunk gyártani, költséghatékonyan. A beállítást az is nehezíti, hogy a termékek túlnyomó része színes. A melegcsatornás szerszámokban gyártott színes termékek gyártása viszont sok esetben még napjainkban is problematikus. Emiatt elhatároztam, hogy dolgozatom keretein belül egy ilyen szerszám segítségével készült termékek színhomogenitását fogom vizsgálni.

Dolgozatomban részletesen vizsgálom a technológiai paraméterek, valamint a megkövetelt pont pozíciójának hatását a színhomogenitásra.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

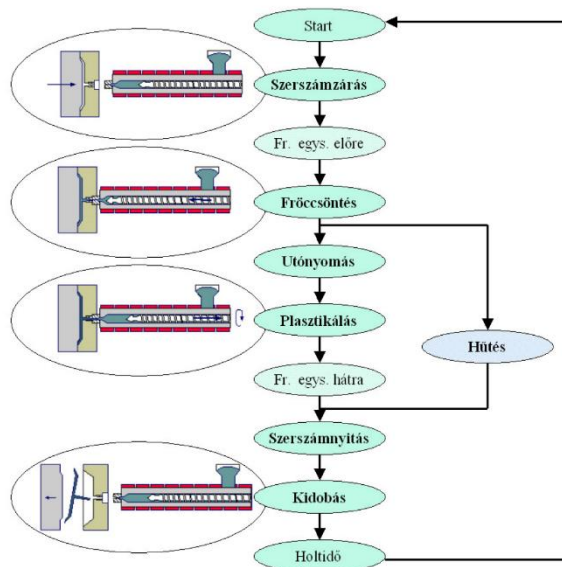
Témám alapján a szakirodalmi kutatás fejezetén belül részletesen ismertetem a fröccsöntéshez alkalmazott főbb alapanyagokat, azok színezési lehetőségeit, az alkalmazott keverő és adagoló berendezéseket, illetve a színhomogenitást.

2.1. Fröccsöntés és alapanyagai

A tervezés első lépése, hogy megfelelő alapanyagot választunk, amely minden olyan kritériumot és funkciót kielégít, amely a legyártott termék szempontjából lényeges. Fontos, hogy egy anyagválasztás esetén egy „profil” keresünk, amelyet az anyag kielégít, így több jó megoldás is lehetséges.

2.1.1. Fröccsöntés

A kiválasztott alapanyagot olvadáspont fölé hevítjük, az így kapott kis viszkozitású polimer ömledéket nagy sebességgel szűk beömlőnyíláson egy zárt szerszámba fecskendezzük. Ezután itt nagy nyomás alatt lehűtjük az anyagot, és így megkapjuk a kész terméket. Az eljárás előnyei közé tartozik, hogy tetszőleges 3D terméket tudunk előállítani egy lépésben, emellett pedig méretpontos és közel 100%-ban hulladékmentes is. Szakaszos technológiaként népszerűségét nagy termelékenységeének köszönheti elsősorban, ami a rövid ciklusidőből következik. Egy ciklus felépítését mutatja be vázlatosan a **3. ábra** [1, 5].



3. ábra Fröccsöntési ciklus felépítése [1]

A ciklus ismerete mellett fontos ismerni a gép felépítését is. Találhatunk a fröccsöntőgépen olyan elemeket, amely minden gép esetén fellelhető, mint a *gépváz*, a *plasztikáló egység* és a *vezérlő egység*, illetve a *szerszámzáró egység*. Viszont találunk rajtuk cserélhető, illetve hozzáadható elemeket is, mint a *szerszám* és az *anyagadagoló* [5].

A *gépváz* fogja össze a gép fő egységeit, magába foglalva a hidraulika rendszereket és motorokat, amik a szerszám és a fröccsegység mozgatásáért felelnek [1].

Plasztikáló egység: egy hengerből és a benne lévő csigából áll. A csiga hossza mentén haladva a kényszeráramlás, illetve a palástfűtésből és a súrlódásból származó hő hatására az egység végéig az anyag megolvad és így homogén ömledéket kapunk. Ez az egység azért is fontos, mivel a megömlesztés minősége, ebből adódóan pedig az ömledék áramlási képe függ a választott polimer típusától. Az áramlás típusa pedig fontos szerepet játszik a termék színhomogenitásának kialakulásában [5].

Vezérlő egység: gyártótól függően minden géphez tartozik egy kezelő panel, amelyen be tudjuk a ciklus egyes paramétereit állítani. Egy-egy ciklusrész jellemzően külön képernyő oldalhoz tartozik, ahol az adott cikluselem paramétereit tudjuk beállítani, mint a csiga kerületi sebességét, a befroccsöntött anyagmennyiséget, vagy az utónyomás idejét. A gép egyes részei a megfelelő gomb megnyomásával mozgathatók is [5].

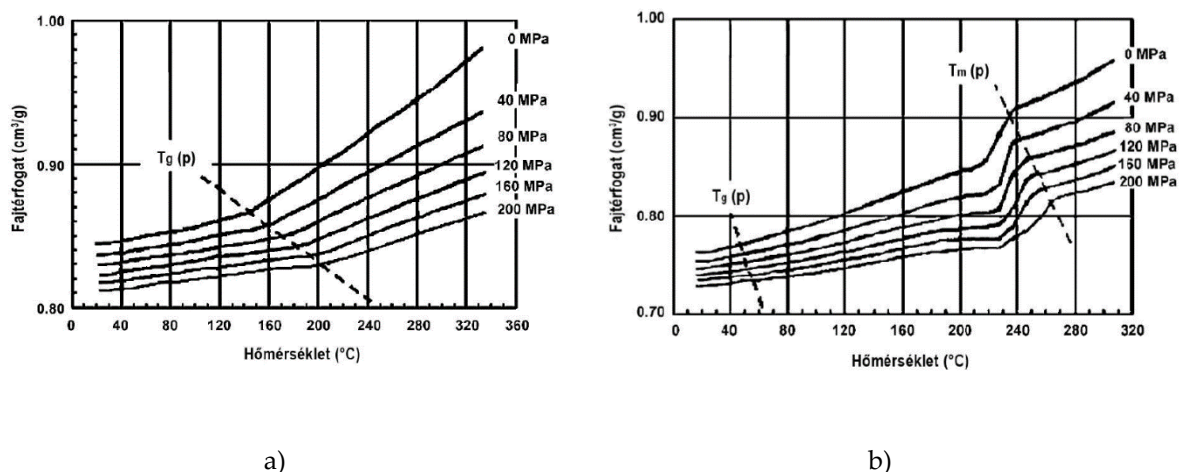
Szerszám: maga a szerszám alapvetően nem a gép részét képezi, mivel egy adott gép esetén több szerszám is alkalmazható, amennyiben az megfelelő méretű, és a záróegységgel megfelelő záróerőt tudunk biztosítani, illetve, ha a fröccsaggregáttal elő tudja a gép állítani a szerszám kitöltéséhez szükséges ömledéket. A szerszámban lévő betét, többfészkés szerszámok esetén betétek, az elkészíteni kívánt 3D-s termék „negatív formája”, de ezen kívül magába foglalja a kidobórendszert, a hűtő/temperáló köröket, esetlegesen a forrócsatornákat. Álló és mozgó oldalát egy-egy felfogólappal helyezzük, nyitását és zárását a *záróegység* biztosítja [5].

Anyagadagoló: színezett termék esetén kulcsfontosságú, hiszen itt dől el, hogy az alkalmazni kívánt komponensek megfelelő mennyiségben kerüljenek be a gépbe. Színezés esetén a legelterjedtebb, hogy színezetlen granulátumot és mesterkeveréket adagolnak egymáshoz [5].

2.1.2. Fröccsöntéshez alkalmazott polimerek

Fröccsöntéshez alapvetően mesterséges polimereket alkalmazunk, amiket két nagy csoportra bontunk: *hőre lágyuló* és *hőre nem lágyuló* polimerekre. A hőre lágyuló (vagy más néven termoplasztikus) polimereket emellett tovább oszthatjuk *amorf* és *részben kristályos* polimerekre, míg a hőre nem lágyulókat *gyengén térhálós elasztomerekre* és *sűrűn térhálós duromerekre*. Megjegyzem, hogy emellett léteznek természetes polimerek is, ezeket viszont általában az iparban kevésbé alkalmazzák, mivel tulajdonságaik nagyban elmaradnak a mesterséges polimerekétől, ezért ezek bemutatására a dolgozatomban nem térek ki [6].

A hőre lágyuló polimereket alkalmazzák elterjedtebben fröccsöntéshez. Az, hogy amorf vagy részben kristályos az alapanyag, megszabja, hogy milyen fűvókát alkalmazunk a gép esetén, ugyanis különböznek folyási tulajdonságaik. Emiatt elterjedten alkalmaznak „pvT” görbéket (4. a) és b) ábra) [1].



4. ábra Amorf PC (a) és részben kristályos PBT (b) pvT görbéi [1]

Egy polimer amorf, ha nem rendelkezik hosszútávú rendezettséggel. A kristályos polimerek ezzel szemben bizonyos mértékű rendezettséggel bírnak, viszont az ömledékekre jellemző rendezetlenség itt is megfigyelhető. Emellett a kis molekulás anyagokkal (fémekkel) ellentétben nem tudunk egyértelmű kristályhatárokat definiálni. Továbbá a kristályos polimerek minden esetben tartalmaznak bizonyos mennyiségű amorf részt, innen ered a *részben kristályos* elnevezés is. Fizikai állapotait, illetve hőmozgásaikat a mikro- és makro-Brown mozgások befolyásolják. Mikro-Brown mozgások esetén a molekulaláncok bizonyos szakaszai, melyeket szegmenseknek hívunk, végeznek mozgást anélkül, hogy maga a molekula tömegközéppontja elmozdulna. Makro-Brown mozgások esetén viszont már a tömegközéppont is elmozdul. Amorf anyagok esetén így az üveges átmeneti hőmérséklet felett (T_g) a mikro-Brown mozgásokkal magyarázható a nagyrugalmas amorf, míg a folyási hőmérséklet (T_o) felett a makro-Brown mozgásokkal az ömledék állapot. Velük szemben a részben kristályos anyagok esetén csak a kristályolvadási hőmérséklet (T_m) felett indulnak be a makro-Brown mozgások, ezalatt a kristályos részarány gátolja az amorf rész ömledék állapotba kerülését. Így magyarázható, hogy miért T_o illetve T_m felett dolgozzák fel az amorf illetve a részben kristályos polimereket [6].

Ömledék állapotban a polimerek a víztől eltérően nem Newtoni folyadékként viselkednek. Viszkozitásuk az igénybevétel növekedésével csökken, ezt a viselkedést *pszeudoplasztikusnak* nevezzük. A viselkedés leírására a *hatványtörvény* alkalmas (1) [2].

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

A fenti összefüggésben τ a nyírófeszültség, ami az ömledékre hat, K a konzisztencia koefficiens, $\dot{\gamma}$ a deformációsebesség, n pedig a polimer típusától függő sebesség-érzékenységi kitevő. A polimer anyagtudomány mai állása alapján a polimerek *strukturviszkózan* viselkednek. Ez azt jelenti, hogy rendkívül kicsi vagy nagy igénybevétel esetén az anyag Newtoni jelleget mutat, a kettő között pedig pszeudoplasztikusan viselkedik. A két szélsőséges esett között helyezkednek el a mai ismert polimerfeldolgozási technológiák, így a fröccsöntés is, tehát a pszeudoplasztikus viselkedés érvényesülni fog [2].

2.1.3. Adalékok

Színezés esetén általános problémát szokott jelenteni, hogy ömledék állapotban a különböző alappolimerek és színezékek egymással nehezen keverednek, mivel nem tud közöttük megfelelő kapcsolat létrejönni. A kapcsolat javítására elterjedten alkalmaznak ezért különböző adalékokat.

Adalékok osztályozása, csoportosítása

Az adalékok feladata, hogy az alapanyag célzott tulajdonságait feljavítsák. Az olyan polimereket, amelyek adalékanyagokat tartalmaznak, műanyagoknak nevezzük. A teljesség igénye nélkül ezeket két fő csoportra bonthatjuk [2, 5, 7, 8].

A *védőadalékok*, mint ahogy nevükben is szerepel, valamilyen hatás ellen védik az alapanyagot:

- antioxidánsok az oxidáció ellen,
- UV-stabilizátorok az ultraibolya sugárzás okozta oxidáció ellen,
- hidrolízis elleni stabilizátorok, a hidrolízis mérséklésének érdekében,
- antisztatizálók a feltöltődés ellen,
- lángállóságot és tűzvédelmet biztosító adalékok,
- stb.

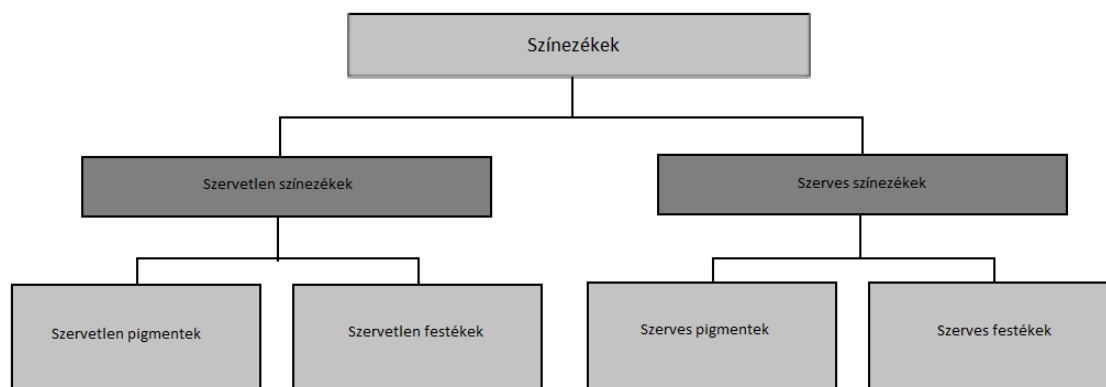
A *funkcionális adalékok* valamilyen tulajdonságát javítják általában az alapanyagban:

- csúsztatók és feldolgozást segítő adalékok,
- ütésállóságot javító adalékok,
- töltőanyagok (ár csökkentése), erősítőszálak (mechanikai tulajdonságok javítása),
- színezők és festékek,
- stb.

Tehát a gyártáshoz szükséges alapanyag minden esetben egy adott receptúra alapján készül. Fontos, hogy a legtöbb adalék általában maximum néhány tized százalékban lelhető fel az alapanyagban, kivételt képeznek ez alól például az erősítő szálak, melyek sokkal nagyobb mennyiségben szoktak fellelhetők lenni. Az adalékok emellett fontos szerepet játszanak az ömledékben kialakult áramlási képekért, emellett elősegítik a megfelelő színezékek és polimerek közötti megfelelő kapcsolat létrejöttét, így segítik elő a minél egyenletesebb színeképet [5, 7, 8].

Színezékek

Fröccsöntés esetén az egyik leggyakrabban alkalmazott adalékok a színezékek. Leginkább gazdasági okokra vezethető ez vissza: a natúr színű alapanyag gyártása egyszerűbb és gazdaságosabb, illetve adott alapanyaghoz több fajta mesterkeverék is rendelhető, amennyiben összeférhetőek. Összetételük szerint ezeket két nagy csoportra bonthatjuk: *szerves* és *szervetlen színezékek* (5. ábra). A másik csoportosítási szempont, hogy a színezék hogyan képes elkeveredni a polimer mátrixanyagban. Az elegyedő színezékek a *festékek*, a nem elegyedők pedig a *pigmentek*. Szerves pigmentre kiváló példa a korom, szervetlenre pedig a fémek sói és oxidjai [7, 9].



5. ábra. Színezékek csoportosítása [7]

A pigmentek és festékek között viszont nem mindig lehet egyértelmű határt húzni. A RED 254 pigment például a legtöbb polimerrel nem képes elegyedni, ezért pigmentként viselkedve szép piros árnyalatot ad a terméknek. PC (Polikarbonát) esetén viszont 330 °C felett már képes lesz azzal elegyedni feloldódása révén, így fluoreszkáló sárga színt fog eredményezni [7].

Fontos jellemzője a színezékeknek a szemcseméret, amivel már számos kutatás is foglalkozott. Zsíros és társai [9] azt vizsgálták, hogy egy mesterkeverék receptjének összetétele hogyan hat a termék színére, mindezt CIE-Lab környezetben vizsgálták, amely ilyen témában gyakran használt színtér, a 2.3.2 fejezetben bővebben szót is ejtek róla. Az egyik fontos dolog, amit kimutattak, hogy a mesterkeverék mérete nem befolyásolja a színhomogenitást. A másik fontos eredménye a vizsgálatnak az volt,

hogy bár egyértelműen a technológiai paraméterek befolyásolják a termék színét, de ez különböző színek esetén más és más változást eredményezett. Végül pedig megállapították, hogy nem a recept alkotói, hanem azok egymás közti reakciói befolyásolják leginkább egy termék színét, ami igazolja a 2.1.3 alfejezetben taglaltakat.

A szerves pigmentek listája meglehetősen szűkös szerves társaikkal szemben, viszont számos árnyalatuk és variációjuk elterjedt, így előfordulhat, hogy egy adott szín kis mértékben el fog térni a hozzáadott különböző fém-oxidok miatt, ez viszont nem minden esetben van feltüntetve a kémiai vegyjelükben. A két legfontosabb vegyület, amit itt alkalmaznak, az a titán-dioxid és a szén (**2. táblázat**). Ők felelnek a fehér és fekete színekért, illetve az egyéb színek árnyalatainak kikeverésében is fontos szerepet játszanak [7].

Termék	Vegyjel	Szín index	Szín
Titán-dioxid	TiO ₂	P. fehér 6	Fehér
Szén	C	P. fekete 7	Fekete

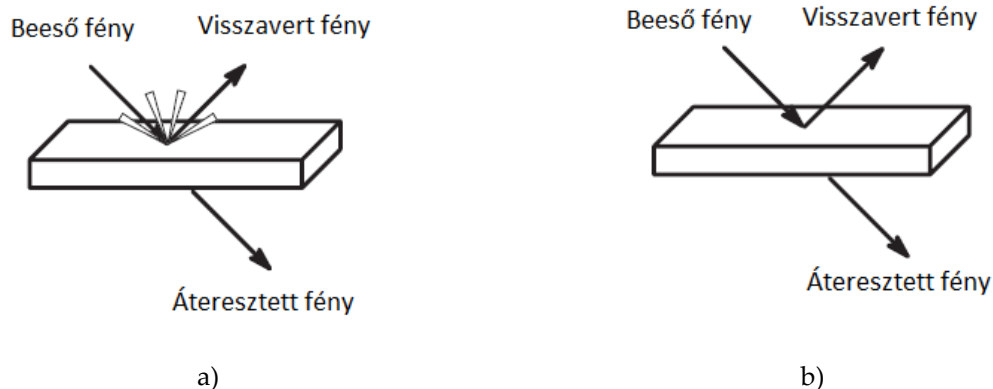
2. táblázat Fekete és fehér alapszínek és jellemzőik [7]

A szerves színes pigmentek tipikusan komplex fém-oxidok. Fontos jellemzőjük a méret, ugyanis ez határozza meg, hogy milyen lesz a színezett termék felülete, osztályozásuk pedig általában szín alapján történik. A kék pigmenteknek tipikusan kevés variánsuk ismert, amelyek általában alap kék pigmentek módosulatai, viszont a kémiai alapjaik megegyeznek. A zöld pigmentek magukban kevésbé elterjedtek, a kémiai instabilitásuk miatt, ezeket így tipikusan kék és sárga pigmentek keverésével hozzák létre [7].

A szerves pigmentek tárháza kis túlzással kifogyhatatlan. Kémiai szerkezetük variálhatóságának köszönhetően végtelen lehetőségeket rejtenek színek és árnyalatok kikeverésének tekintetében. A kereskedelmi forgalomban lévő szerves pigmentek száma viszont korlátos gazdasági szempontokat és mérgező tulajdonságaikat figyelembe véve. Általában az egyes festékek olvadáspontjai eltérnek, ami szerves voltukra vezethető vissza. További kellemetlen tényező, hogy nem mindegyikük alkalmazható polimerek színezésére, mivel nagy részük adott hőmérséklet felett bomlik [7].

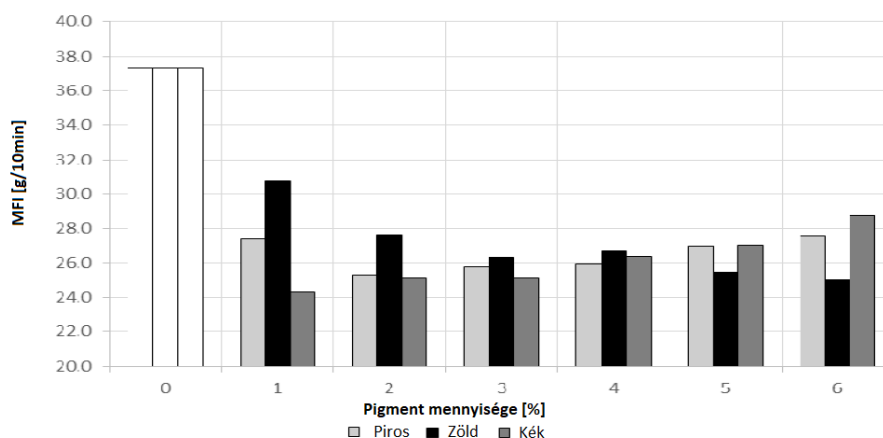
A festékek közül a gyakorlatban szerves változataikat alkalmazzák. Fontos, hogy a kiválasztott festék a színezni kívánt polimerben oldható legyen, de vízben ne. Ez azért is fontos, mivel nedvességgel keveredve degradálhatja a felhasznált polimert [7].

A másik fontos különbség a festékek és a pigmentek között, hogy míg a pigmenttel színezett műanyag felülete szórtan veri vissza a fényt, addig a festékkel színezett termék ezt egy kitüntetett irányban teszi meg, így más hatást kölcsönözve a termék felületének (**6. a) és b) ábra**) [7].



6. ábra Pigmenttel (a) és festékkel (b) színezett termék fényvisszaverése [7]

A pigmentek és festékek területe is igen kutatott témának számít napjainkban. Vaclav és társai [10] azt vizsgálták, hogy a pigmentek koncentrációjának mennyisége hogyan befolyásolja PP folyási tulajdonságait. Vizsgálatuk során arra jutottak, hogy a pigmentek mennyisége befolyásolja az anyag folyási tulajdonságait, ezt viszont a fröccsöntési paraméterek változtatásával korrigálni lehet. Emellett a pigmentek mennyisége hatással van a termék zsugorodására is. Vizsgálatuk során arra jutottak, hogy a keresztirányú zsugor a kék és piros pigmentek esetében nő, míg zöld esetén csökken. A piros szín esetén volt a legnagyobb a hossz és a keresztirányú zsugor. Azt is felismerték, hogy a pigmentek felülete, színekonzentrációja és kémiai összetételük fogja a zsugor mértékét befolyásolni. A pigmentek emellett az alap polimer folyási tulajdonságait is módosították, ez megmutatkozott a mért MFI (Melt Flow Index, magyarul szabványos folyási mutatószám) értékek esetén is, ezt szemlélteti a 7. ábra.



7. ábra MFI a pigment mennyiségének függvényében [10]

Kimutatták, hogy a színek túlnyomó részénél az MFI csökkent, közel a harmadával. Minél kisebb egy polimer ömledék MFI-je, annál rosszabbak a folyási tulajdonságai [10].

2.2. Fröccsöntött termékek színezése

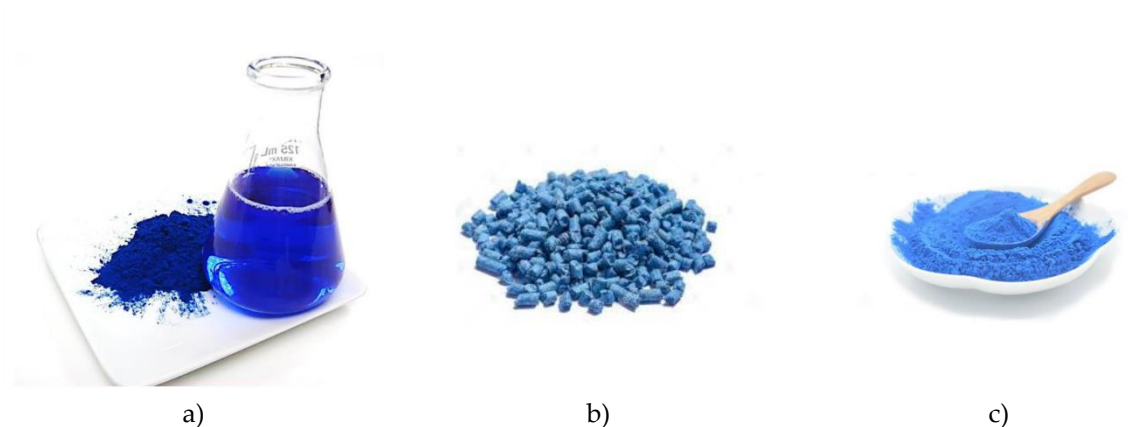
Ebben a fejezetben bemutatom a fröccsöntésnél alkalmazott színezési lehetőségeket, részletesen ismertetve a mesterkeverékek előállítását, alkalmazásuk előnyeit és hátrányait. Ismertetésre kerülnek a gépek esetén alkalmazott statikus és dinamikus keverőelemek, adagolóegységek.

2.2.1. Színezési lehetőségek

Fröccsöntés esetén gyakran van igény arra, hogy a termék színes legyen, melynek számos oka lehet [7]:

- funkcionális megkülönböztetés: szelektív kukák fedelei segítik a hulladék elhelyezését
- élettartam növelés: a sötétebb színek jobban elnyelik a látható fényt, így csökkentve a termék élettartamát, míg a világosabb színek inkább visszaverik azt. Tehát ha nem homogén a termék színe, akkor előfordulhat, hogy bizonyos részei gyengébbek a többinél.
- esztétika: LEGO-kockák

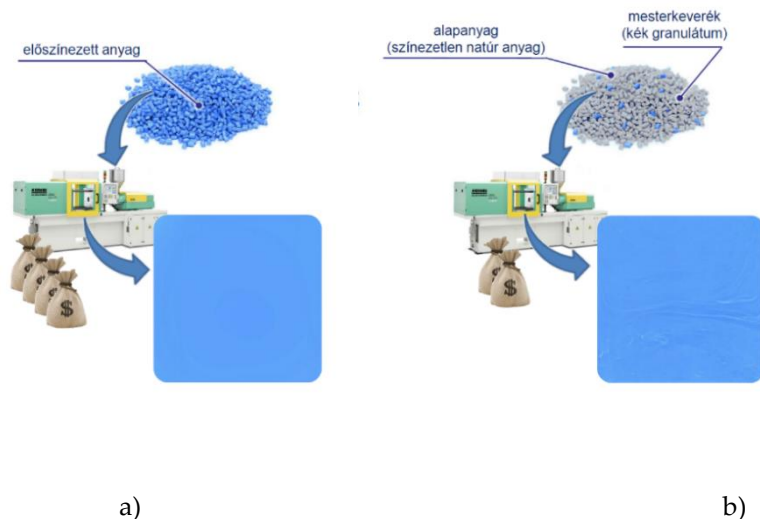
Napjainkban már számos színező anyag használatos. Halmazállapot alapján megkülönböztetünk szilárd (granulátum és por) illetve folyékony színezékeket. Eredet alapján pedig beszélhetünk organikus (szerves) és inorganikus (szervetlen) festékanyagokról (8. a), b), és c) ábra) [6].



8. ábra Színezési lehetőségek: folyékony festék (a), előszínezett granulátum (b), por (c) [1]

Fröccsöntés esetén a leggyakrabban granulátum alapú anyagból indul ki a gyártás. Ezek általában pár milliméter nagyságú szabályos vagy szabálytalan alakú anyagdarabkák. A granulátumok esetén lehetőségünk van előszínezett alapanyaggal dolgozni. Ezek esetében sokkal homogénebb lesz a termék színe, viszont ezek nagyban megdrágítják a gyártást. Mivel a cél általában a gyártási költségek minimalizálása a lehető legjobb minőségű termék előállítása mellett, ezért az alapanyag mellé általában

bizonyos mennyiségű, úgynevezett mesterkeveréket kevernek. Ezen anyagok a szakirodalom alapján nagy koncentrációban (30-40%) tartalmaznak hatóanyagot, amely esetben a színező-anyagot jelenti. Emiatt a nagy koncentráció miatt elegendő keveset adagolni belőlük a színezetlen alapanyaghoz (1-3%). Alkalmazásukkal nagyban lecsökken a gyártási költség, viszont itt gyakoribbak lehetnek a hibák, például: csíkok, foltok (9. a) és b) ábra) [5].



9. ábra Színezési lehetőségek: előszínezett granulátum (a) és alapanyag+mesterkeverék (b) [1]

A mesterkeverékek előállításának lépéseit szemlélteti a 10. ábra. Adott receptúra alapján történik a beadagolás. Miután megtörtént ezek mennyiségének megfelelő ellenőrzése, következik a keverés, vagy más szóval *kompaundálás*. Ennek lényege, hogy előre meghatározott mennyiségű adalékokkal bíró műanyag keveréket (kompaundot) hozunk létre. Ezt a folyamatot általában ikercsigás extruderrel végzik, majd a végterméket *granulálják*. A szakirodalom a granuláló berendezéseket két fő csoportra bontja, az alapján, hogy az alapanyag milyen hőmérsékleten kerül vágásra: meleg és hideg granuláló gépek. Meleg granulálás esetén a hűtés mind levegőn, mind vízben is történhet. A mesterkeverékek előnyei közé tartozik a hulladékmentes gyártás, a jól kimérhető receptúra, viszont összeférhetőnek kell lennie azzal a polimerrel, amihez keverik, előállításuk pedig költséges [2, 5, 7, 11].



10. ábra Mesterkeverékek előállításának sematikus ábrája [7]

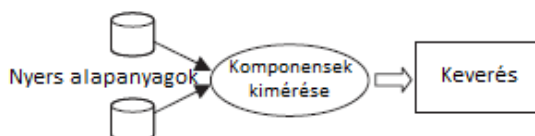
A folyadékfestékek gyártása egyszerűbb a mesterkeverékekénél, amit a 11. ábra szemléltet. A megfelelő mennyiségű nyersanyagokat elkeverik egymással, majd pedig ezeket egy tartályban teljesen diszpergálva hozzák létre a kívánt festékanyagot.

Használatuk szélesebb körre terjed ki, mint a mesterkeverékeké, hiszen a festék minden egyes granulátumot átjár, gyártásuk olcsó, viszont a színcsere és a gép tisztítása drága, illetve a folyadék volta miatt a festék-polimer ömledék viszkozitása is változik [7].



11. ábra Folyadékfestékek előállításának sematikus ábrája [7]

Előállítást tekintve a porok gyártása a legegyszerűbb (**12. ábra**): a megfelelő komponensek adagolása és ellenőrzése után következik a keverés. A nehézsége ennek a színezési módnak, hogy a színezék megfelelő elkeveredését kell biztosítani fröccsöntés során. Előnyei viszont, hogy szinte bármilyen alapanyaghoz keverhető, gyártása olcsó, illetve a legnagyobb színezék-arányt ezzel az eljárással lehet megvalósítani. Cserébe viszont használata szennyezést von maga után, a színváltás nehézkes, illetve minden esetben társító szert kell alkalmazni, hogy megfelelően tudjon színezni [7].

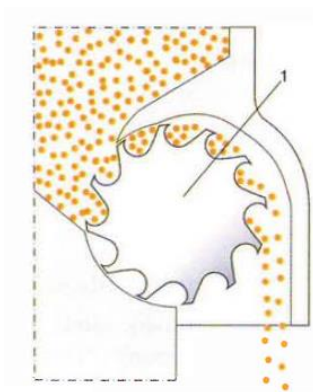


12. ábra Porok előállításának sematikus ábrája [7]

2.2.2. Adagoló és keverő berendezések

A homogén szín kulcsa a megfelelő adagolás pontosságában rejlik. Ha ez nem teljesül, akkor a terméken szabad szemmel is látható hibák fognak megjelenni. A hiba viszont akkor is fennállhat, ha nem összeférhető anyagokat használunk. Mivel színezés során a legelterjedtebben mesterkeverékeket alkalmaznak, ezek adagolásához leginkább csigas- vagy görgős adagolókat alkalmaznak [5, 9].

A szakirodalom [5] megkülönböztet térfogat és tömeg alapján történő adagoló berendezéseket. Egy térfogatadagolás elvén működő berendezést mutat a **13. ábra**. Itt egy adagoló görgőnk van, mely hornyainak segítségével történik meg az anyag továbbítása. Legnagyobb hátránya, hogy nehezen szabályozható az adagolás pontossága.



1 – adagoló görgő

13. ábra Térfogatadagoló [5]

Egy mesterkeverék adagolását is biztosító térfogatadagolót szemléltet a **14. ábra**. A berendezés esetén a cső egyik szárából a natúr granulátum, a másiktól pedig a mesterkeverék érkezik. Ezek egy közös lefolyóban keverednek megfelelően össze. A térfogatadagolók előnye, hogy olcsók, viszont cserébe alacsony az adagolási hatásfokuk ($\pm 0,15\%$ [5]).



Mesterkeverék adagoló és anyagszállító berendezés keverő nélkül.

- 1 – mesterkeverék adagoló; 2 – adagoló görgő;
3 – a központi anyagszállító berendezése egyik anyagleválasztója;
4 – csőtoldal az anyagszállítóhoz és a színezőhöz; 5 – csővezetékek

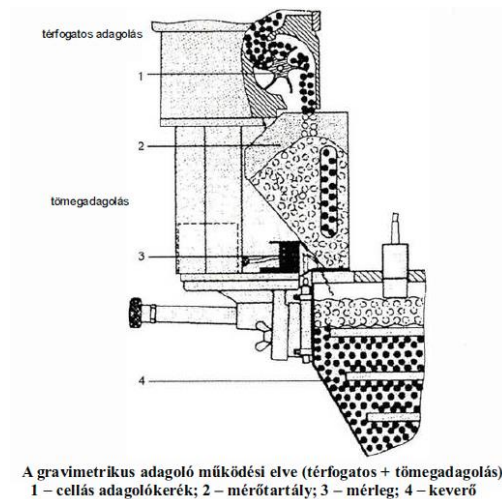
14. ábra Mesterkeverék adagoló [5]

A por alapú színezők legnagyobb hátránya, hogy a por tömörül és összeragad. A probléma kiküszöbölésére egy tüskés keverőkart és egy lekaparót alkalmaznak. A görgők felett helyezik el általában a keverőkart, a lekaparót pedig a görgőhöz. A keverőkar biztosítja, hogy azonos legyen a megömlesztésre kerülő adagsúly, illetve elősegíti a hornyok kitöltését. Ezzel szemben a lekaparó elősegíti, hogy a görgő teljesen kiürüljön [5]. Egy ilyen adagolót szemléltet a **15. ábra**.



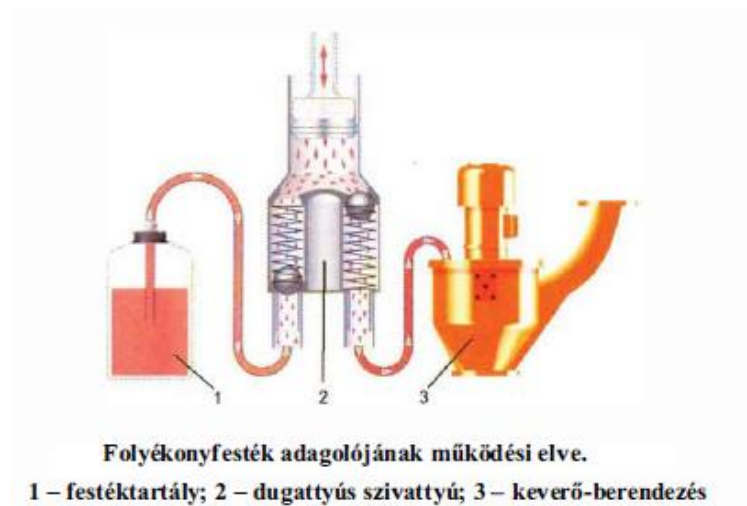
15. ábra Porfesték adagoló és részei [5]

Vannak emellett gravimetrikus adagolók is. Ezek kombinált elven működnek: a térfogat adagolók előnyeit kombinálja a tömegadagolók adagolási pontosságával ($\pm 0,003-0,005\%$). A legnagyobb előnyük, hogy az adagoló görgő által szállított anyagot tömegméréssel ellenőrzi, és a fellépő különbözetet a térfogatadagolóval tudja korrigálni. Egy gravimetrikus adagoló felépítését mutatja be a 16. ábra. Mesterkeverékek esetén is alkalmazható, mivel több komponens esetén képes külön adagolni, mérni, majd a komponenseket összekeveri [5].



16. ábra Gravimetrikus adagoló [5]

A szakirodalom emellett megkülönböztet még folyékonyfesték adagolókat is (17. ábra). Működési elvüket tekintve a központi elem egy dugattyús szivattyú, ami egy tartályból szívja fel a megfelelő mennyiségű festéket. Ezután ezt bejuttatja egy keverő berendezésbe, ahol a színtelen granulátumot átjárva megtörténik a színezés [5].



17. ábra Gravimetrikus adagoló [5]

A megfelelő adagolás után következik a keverés. A keverő berendezéseket két fő csoportra bonthatjuk: mechanizmus alapján *diszperzív* és *disztributív* (18. a) és b) ábra), illetve mozgás alapján *statikus* és *dinamikus* berendezések. Lényegük, hogy minél egyenletesebben oszlassuk el az adott adalékokat az alapanyagon belül. Diszperzív keverés esetében ez a részecskék méretének csökkenésével jár, disztributív esetben pedig a szemcséket méretük megváltoztatása nélkül akarjuk minél egyenletesebben eloszlatni [5].



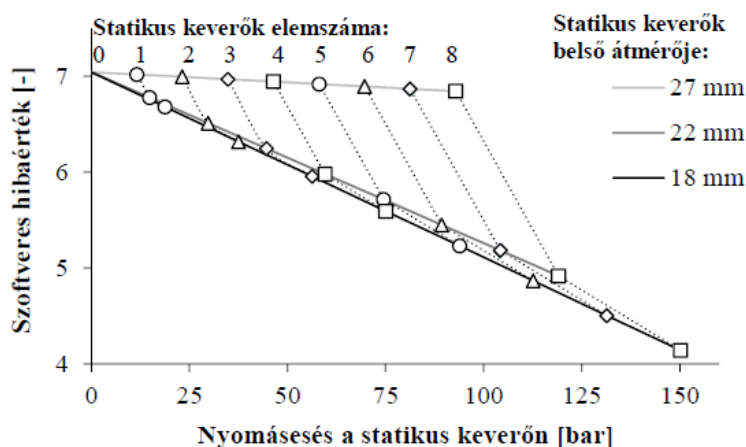
18. ábra Diszperzív (a) és disztributív (b) keverés szemléltetése [12]

A mozgás alapú keverési berendezéseknek is megvannak az előnyeik és hátrányaik. A statikus berendezések „mozgás nélkül”, keverőelemek révén szétválasztják, majd egyesítik az anyagáramot. Egy ilyen keverőt szemléltet a 19. ábra. Maguk a keverőelemek a csigához viszonyítva nem végeznek mozgást. Általában a fúvókába integrálva használatosak, így a befroccsöntés során fejtik ki hatásukat. Tehát ha megfelelő keverést szeretnénk elérni, akkor a technológiai paramétereket kell megfelelően beállítani, mivel alkalmazásuk nyomásesést szokott eredményezni [13].



19. ábra Statikus keverő tokozással és keverőelemekkel [13]

Zsíros és társai [13] egy mérőrendszert fejlesztettek, amivel statikus keverőket lehet minősíteni a kialakult termék színhomogenitása alapján. Ezen keverőknél a nyomásesés értéke befolyásolja a végtermék színének inhomogenitását. Az esés mértéke függ a statikus keverő belső átmérőjétől, illetve keverőelemeinek számától. A 20. ábra alapján látszik, hogy minél több keverőelemet alkalmazunk, illetve minél kisebb a keverő belső átmérője, annál nagyobb lesz a nyomásesés, viszont annál kisebb lesz a színhomogenitásban fellépő hiba.



20. ábra Statikus keverő minősítési diagramja [13]

A dinamikus keverőberendezések ezzel szemben mozgás révén, a csigával együtt forogva végzik a keverést. Másik előnyük, hogy a keverést adagoláskor fejtik ki, keverőfejek segítségével, így itt nem tapasztalható nyomásesés. Hátrányuk, hogy mivel a csigába vannak építve, így a csiga hasznos hossza csökkenni fog. A másik probléma, hogy használatukkal csökken a plasztikálási teljesítmény, tehát csökken az egy ciklus alatt beadagolható anyagmennyiség, emellett nem minden anyagnál alkalmazhatók. Beépíthetők a homogenizálási zóna után keverőfejként, de akár a csigatestbe építve is (21. a) és b) ábra) [14].



a)



b)

21. ábra Dinamikus keverőfej (a) és csigatestbe épített dinamikus keverőelem (b) [1]

A különféle statikus és dinamikus keverők a keverést a fröccsöntési ciklus során végzik el, ahol a színezetlen granulátum és a mesterkeverék megfelelő elegyedését segítik elő. Viszont a keveredés nem csak fröccsöntés során, hanem már a mesterkeverék gyártása során is fontos szerepet játszik, elősegíti a megfelelő adalékok elkeveredését az alap polimeren belül. Dinamikus keverés céljából előszeretettel alkalmaznak egy- illetve kétcsigás extrudereket, viszont ezek emellett számos más berendezés is létezik az ipar számára, így minden terület megtalálja a számára legmegfelelőbb berendezést (**3. táblázat**) [2, 5].

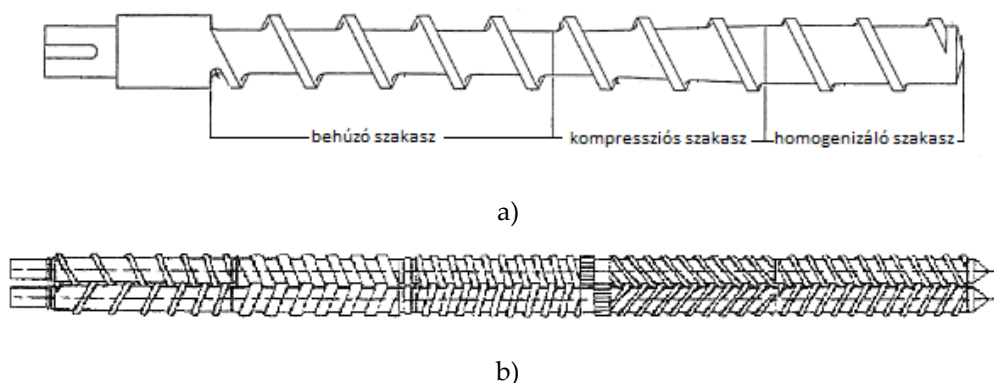
Berendezés neve	Működés módja	Keverő elem	Alkalmazási terület
hengersizék	szakaszos	hengerrés	gumiipar
nyitott nyíróhengeres extruder	folyamatos	hengerrés+horony	kísérleti berendezés
bolygócsigás extruder	folyamatos	vezércsiga+bolygócsigák	műanyagipar
ko-kneter (egycsigás mixtruder)	folyamatos	áttört csiga	műanyagipar
kétcsigás keverő extruder	folyamatos	keverő csigák	műanyagipar
sorba kapcsolt keverőkamrás extruder	folyamatos	rotorok	kísérleti berendezés
belső keverő	szakaszos	rotorok	műanyag-és gumiipar
statikus keverő	folyamatos	bonyolult geometriájú keverő elemek	műanyagipar

3. táblázat Keverő berendezések típusai és főbb jellemzőik [5]

A kutatásom során arra jutottam, hogy a keverést egy/kétcsigás (**22. a) és b) ábra**) vagy bolygócsigás extruderrel lehet a legkönnyebben megoldani, de emellett statikus keverők is használatosak [2, 5, 9, 11, 12, 14, 15]. Extruderek esetén a csiga kialakításával lehet a plasztikálást változtatni, amire az alábbi megoldások terjedtek el:

- magprogresszió: a csiga magátmérője az anyag áramlási irányában növekszik, így növelve az anyagra nehezedő nyomást
- szögdegresszív: a csiga menetemelkedési szögének növelése az anyag áramlási irányában
- menetszárny szélesség növelése

A három opció közül a magprogresszív csigák a legelterjedtebbek, mivel ezek gyártása a legegyszerűbb [11].



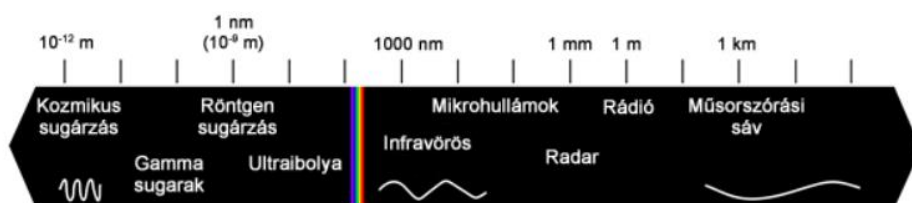
22. ábra Egycsigás (a) illetve kétszigás (b) extruderek csigái [15]

2.3. Színhomogenitás minősítése

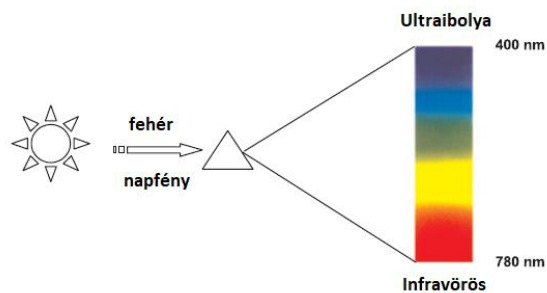
Ebben a fejezetben ismertetem a színérzékelés biológiai alapjait, emellett bemutatásra kerülnek a leggyakrabban alkalmazott színterek. Végül pedig definiálom a színhomogenitás minősítéséhez alkalmazott alapvető mérőszámokat.

2.3.1. Színérzékelés

A színhomogenitás téma tárgyalása előtt érdemes tisztázni, hogy hogyan is látjuk mi emberek a színeket, ugyanis az összes színvizsgálati módszer erre épül. A látható fény elektromágneses hullámokból épül fel, melyeket az emberi szem 400 és 780 nm között képes érzékelni (23. ábra). A napból érkező fehér fényt ezen a tartományon belül fel tudjuk alkotóira bontani (24. ábra), így minden színhez adott hullámhosszt lehet rendelni. A látás másik fontos tényezője, hogy a tárgyak érzékeléséhez azokról fény kell, hogy verődjön vissza. A beérkező fény egy része a tárgyakban elnyelődik, másik része visszaverődik azokról [7, 16].

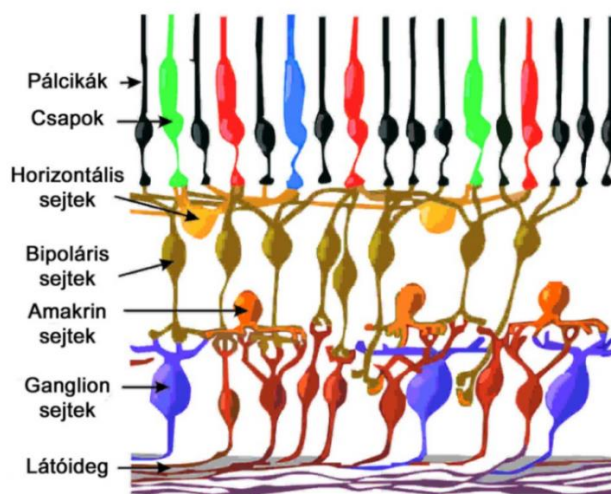


23. ábra Elektromágneses sugárzások spektrumai [16]



24. ábra Fehér fény felbontása alkotóira [7]

Kiemelkedő szereppel bír az emberi szem, amely egy rendkívül összetett optikai rendszer. A színlátás során fontos szerepe van a retinának, azon belül is az úgynevezett csapoknak és pálcikáknak (25. ábra). A pálcikák a sötét és éjszakai környezetben látásért felelnek, emellett pedig a retina perifériás részén helyezkednek el, így a jel továbbítása idegi alapon gyorsabb. Ennek oka egyszerű: az emberek nappal aktívabbak, mint éjszaka, így éjszaka a látás az önvédelem miatt fontos. A pálcikák emellett érzékenyebbek is a csapoknál, ami azt jelenti, hogy kisebb intenzitású fényt képesek érzékelni. A csapok a nappali látásért felelősek, így érzékenységük elmarad a pálcikákétól, mivel nappal nagyobb a beérkező fény intenzitása. Három színt képesek adott tartományok között megkülönböztetni: a pirosat, a zöldet és a kék [16].



25. ábra Retina felépítése [16]

2.3.2. Színterek

Magukat a képeket kétváltozós függvények segítségével írhatjuk le digitális képfeldolgozások során. Az összes szín leírható három szín kombinációjának a segítségével az úgynevezett RGB kóddal, ami az RGB színtér alapja is lesz egyben. Ezen rendszer leírása a piros, a zöld és a kék színek segítségével, kétváltozós

függvényekkel történik, amennyiben 2D-s digitális képfeldolgozásról beszélünk (2) [17, 18].

$$K_{\text{RGB}} = f_R(x,y); f_G(x,y); f_B(x,y) \quad (2)$$

Ahol K_{RGB} jelöli a képünk színét, $f_R(x,y)$, $f_G(x,y)$, $f_B(x,y)$ pedig rendre a piros, zöld és kék színek intenzitásfüggvényeit, melyek 2D-s esetben x illetve y koordinátáktól fognak függeni. Emellett alkalmazási területek alapján megkülönböztetünk több RGB színteret is. A legkorábbi az ISO RGB volt, melyet a mai napig digitális állóképek kiértékelésénél előszeretettel alkalmaznak kamerás színeképelemzésekénél. Számítógépek esetén az SRGB terjedt el. Képszerkesztés esetén a színhűség és a pontosság nagyon fontos, erre terjedtek el a ROMM RGB és Adobe RGB színterek. A különböző színterek kialakítására azért is volt szükség, mivel minden területnek más és más pontossággal van szüksége ezek színhűségeinek a visszaadására [17].

Az RGB színterek mellett széles körben alkalmazzák ezeknek a szürkeárnyaltos módosulatait. Az átskálázás előnye, hogy a csak kizárólag fekete és fehér árnyalataival rendelkező képek kiértékelő algoritmusai jóval egyszerűbbek, emellett pedig a számítások időtartamai is nagyban lerövidíthetők. Tulajdonképpen alkalmazásuk ott hasznos, ahol a színhűség nem kitétel, hanem csak egy felesleges információ. Szürkeárnyalat esetén szintén kétváltozós függvénnyel történik a leírás, viszont itt 3 helyett csak 1 függvény kell, az adott ponthoz tartozó szürkeségi fok, mivel itt a fekete és fehér átmeneteivel dolgozunk [19].

Christopher és Garrison [19] kutatásukban ismertették 13 mérőszámot, amivel egy kép szürkeségi foka jellemezhető. A legegyszerűbb átskálázást az alábbi összefüggéssel végezhetjük el (3):

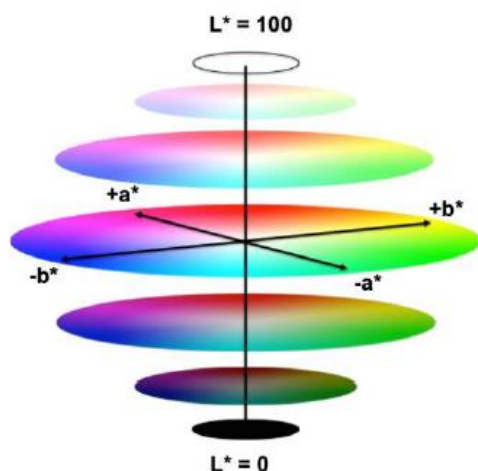
$$G_{\text{intenzitás}}(x,y) = \frac{1}{3} \cdot (f_R(x,y) + f_G(x,y) + f_B(x,y)) \quad (3)$$

Ahol $G_{\text{intenzitás}}(x,y)$ jelöli a képünk bizonyos pontjának szürkeségi fokának intenzitását, amit adott pontban az intenzitásfüggvények átlagaként kapunk meg. Az átskálázásra mutat példát a **26. ábra**.



26. ábra RGB színtérből szürkeárnyalatba konvertálás [19]

Egy másik gyakran alkalmazott színtér az úgynevezett CIE-Lab, amit gyakran alkalmaznak a minőségellenőrzésben. Alapvetően a CIE XYZ rendszerből fejlődött ki, amit azért hoztak létre, hogy az RGB terektől eltérően, matematikailag egyértelműen és perifériától függetlenül írassunk le színeket. Alapja, hogy az agy a szembe beérkező ingereket világosság szerint ismeri fel, illetve az egymást kizáró színek zónáit is megtudja határozni. Maga a színtér leírására szolgáló paraméterek a nevében is szerepelnek. L az adott szín fényességét jelenti (az angol *lightness* után), ami a 3D modell esetén 0 és 100 között vesz fel értékeket a fekete és a fehér között. Az elnevezésben lévő a illetve b felelősek a színekért: a értéke térben a zöldtől a pirosig, míg b kéktől sárgáig tart [20]. A tér szemléltetését mutatja a 27. ábra.



27. ábra CIE-Lab rendszer értelmezése 3D-ben [20]

2.3.3. Színhomogenitás

A nehézséget az jelenti a színmérések és kiértékelések esetén, hogy a színek érzékelése emberről-emberre eltér. Így előfordulhat, hogy egy hibát egy adott személy szabad szemmel észrevesz, addig a másik még nem. Színvizsgálatok esetén a ΔE értéket általában két pont közötti szín eltérésére használják a CIE-Lab színtérben (4) [20].

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

Ahol ΔE a színkülönbség, ΔL a két pont fényességkülönbségét jelenti, Δa és Δb pedig a színkülönbségekre utalnak, illetve L , a és b értelmezése 2.3.2 alfejezet szerinti.

A képek feldolgozására előszeretettel alkalmazzák a szegmentálást. A módszer lényege, hogy a képet felbontjuk olyan csoportokra, amely csoportokon belül eső részek tulajdonságai megegyeznek, amit mi választunk ki. Az egyik elterjedt

szegmentáló módszer az élkeresés, ahol a jól elkülöníthető régiók határait keressük [21]. Az élek keresésre előszeretettel alkalmazzák a Roberts operátort (5) [22]:

$$H_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \text{ illetve } H_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

H_x és H_y a módszer operátor mátrixai. A képet (I) konvolúciósan kell szorozni az operátor mátrixokkal (6), így kapjuk meg a gradiens kép mátrixait (G_x és G_y), melyek felhasználásával a gradiens magnitúdó és a gradiens iránya határozható meg (7). A gradiens mátrix alapján lehet következtetni a kép homogenitására: minél több a színváltozás a képen, annál nagyobbak a gradiens mátrix elemei.

$$G_x = I * H_x \text{ illetve } G_y = I * H_y \quad (6)$$

$$\text{gradM}(i,j) = \sqrt{G_x^2(i,j) + G_y^2(i,j)} \quad (7)$$

Elterjedt még a GLCM módszer alkalmazása is, amelyet Haralick és társai [23] fejlesztettek ki. Lényege, hogy minden kép leírható egy kétdimenziós függvényként, hasonlóan az előbb említett két módszerhez. Tehát egy kép esetén annak felbontása lesz az információt hordozó függvény (8).

$$I_{GLCM}(L_x, L_y) \quad (8)$$

Ahol I_{GLCM} a képet jelöli, L_x és L_y pedig az x és y irányú pixelszámokat. A kép minden egyes pixeléhez hozzárendelhetjük RGB kódja alapján a hozzá tartozó szürkeségi fokot. A képből ezután annak felbontása alapján egy mátrixot hozunk létre. Ez egy Full-HD felbontás esetén egy 1920x1080 nagyságú mátrixot fog jelenteni például. Ezután hozzuk létre az úgynevezett „függőségi-mátrixokat”. Ez úgy történik, hogy vizsgáljuk azt, hogy milyenek a szomszédos elemek szürkeségi fokai páronként, majd a számokat egy újabb mátrixba rendezzük. Mérete a szürkeségi fokok osztályával lesz megegyező és azt adja meg, hogy hányszor fordul elő olyan eset, hogy adott szürkeségi fok mellett adott szürkeségi fok lesz fellelhető. A mátrix alapján Haralick és társai [23] publikációjukban 14 jellemző mennyiséget fogalmaztak meg, melyek segítségével a képek leírhatók lesznek. Jelen dolgozatom keretén belül, mivel színhomogenitást vizsgálok, bemutatom a homogenitás minősítésére szolgáló számot (9):

$$\text{Homogenitás} = \sum_{i,j} \frac{p(i,j)}{1+|i-j|} \quad (9)$$

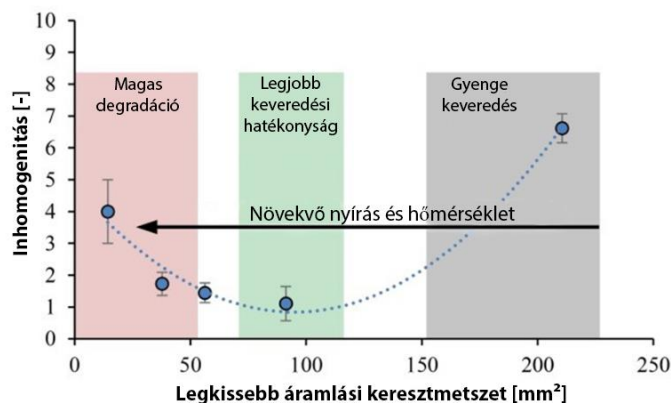
Ahol $p_{(i,j)}$ a függőségi mátrix i -edik sorának és j -edik oszlopának elemét, míg i és j ugyanezen mátrix sorait és oszlopait jelöli.

A módszer népszerűségét mutatja, hogy az utóbbi időben számos kísérlet folyt a módszer hatékonyságának növelésére [24]. Emellett gyakran alkalmazza az úripar, például műholdak képeinek elemzéséhez, de emellett az orvostechika is egyre elterjedtebben használja tumorok automata azonosítására, így meggyorsítva a kezelés minél hamarabbi kezdetét a pontos azonosításnak köszönhetően [25].

A kutatások rámutatnak arra, hogy nem csak színezék mérete és eloszlottsága, hanem a mennyiségük is fontos szerepet játszik a különféle színezési hibák kialakulásában, de a fröccsöntési hibák gyakoriságában is. Kausalyah és társai [26] arra jutottak, hogy a különböző színek, kiváltképp a kék, sárga és piros pigmentek, illetve koncentrációik és méretük nagyban befolyásolják a vetemedés, fátylasodás jelenségeit. Fontos konklúzió viszont, hogy a különböző színek nem mutatnak azonos rátát a hibák kialakulására vonatkozóan.

Homogén szín megfelelő keverés révén lesz megvalósítható. Ezek vizsgálatára is számos tanulmány született már [18, 26, 27]. Hargitai [27] tanulmányában azt vizsgálta, hogy a különböző keverési mechanizmusok révén létrehozott töltött PP rendszerek hogyan viselkednek, ha az alapanyagot más módon keverjük elő fröccsöntéshez, kiváltképpen a statikus és dinamikus keverők közti különbségre összpontosítva. Az így fröccsöntött termékeken azt tapasztalta, hogy adott színezék mennyiség felett a statikus keverő jelentős javulást tud előidézni a tulajdonságok javításában. A legfontosabb dolog itt is a polimer mátrix és a színezék közti adhézió volt.

Kovács és Török további vizsgálatokat is folytattak [28], hogy a különböző dinamikus keverési mechanizmusok hogyan befolyásolják a termék színhomogenitását. A tanulmány célja az volt, hogy különböző dinamikus keverők karakterisztikáját tudják minősíteni a legkisebb áramlási keresztmetszetben. Ez azért is fontos, mivel itt fogja feldolgozása során az anyag a legnagyobb nyírást kapni. Emiatt meg kell találni azt az optimumot, hogy megfelelően tudjanak keveredni a komponensek, de még ne degradálódjon az alapanyag. Vizsgálatuk során arra jutottak, hogy a fröccsöntési paraméterek, kiváltképp a hőmérséklet, illetve maga a keverő típusa jelentősen befolyásolja a szín homogenitását a nyírásból adódóan. Azt is megállapították, hogy dinamikus keverők esetén van egy optimum is erre (28. ábra).



28. ábra. Dinamikus keverő legkisebb áramlási keresztmetszetének hatása a színhomogenitásra [28]

2.4. Irodalomkutatás összefoglalása

Kutatásom során utánajártam, hogy fröccsöntés során milyen alapanyagokat és milyen adalékokkal alkalmaznak. Ezután vizsgáltam, hogy hogyan is lehet magát a színezést technológiailag minél homogénebben megvalósítani. Végül pedig kutattam, hogy hogyan is lehet az így kapott terméket minősíteni.

Elmondható, hogy amennyire népszerű napjainkban a fröccsöntés, úgy a technológiával kapcsolatos kutatások is. A különböző adalékok és mennyiségeinek hatása, a keverés minél egyenletesebb megvalósítása, illetve a képfeldolgozási mechanizmusok is igen kutatott területek. Mindez viszont kevésbé jellemző fűtöttcsatornás szerszámokra, így dolgozatomban az alábbi pontokat fogom a kísérletezés során vizsgálni:

- technológiai paraméterek hatása a termék színhomogenitására és
- meglövési pont pozíciójának hatása fűtöttcsatornás szerszámok esetén

3. FELHASZNÁLT ANYAGOK, ALKALMAZOTT BERENDEZÉSEK

Az irodalomkutatás és az az alapján felállított célok ismeretében a következő lépése dolgozatomnak a kísérleti rész volt. Ebben a fejezetben bemutatom a mérésekhez alkalmazott alapanyagokat, illetve berendezéseket, emellett ismertetem a vizsgálati módszert is.

3.1. Felhasznált alapanyagok

Alappolimer

A fröccsöntéshez ABS-t (akrilnitril-butadién-sztirolt) alkalmaztam. Szerkezetét tekintve egy amorf, kiválóan fröccsönthető műszaki polimer, jó mechanikai tulajdonságokkal. Mivel ez egy kopolimer, így tulajdonságai a monomerek mennyiségének változtatásával modifikálhatók. Zsugorodása kicsi, mérettartása jó. Jelen dolgozat keretein belül a Terluran GP-35 nevet viselő anyagot alkalmaztam.

Mesterkeverék

A színezéshez ABS-hez való mesterkeveréket használtam, az úgynevezett Renol-pink ABS143479Q-t, melyet a Clariant cég gyárt, emellett pedig ABS hordozóra épül. A keverésnél 4 m%-nyi mesterkeveréket adtam az alappolimerhez a gyártó ajánlása alapján.

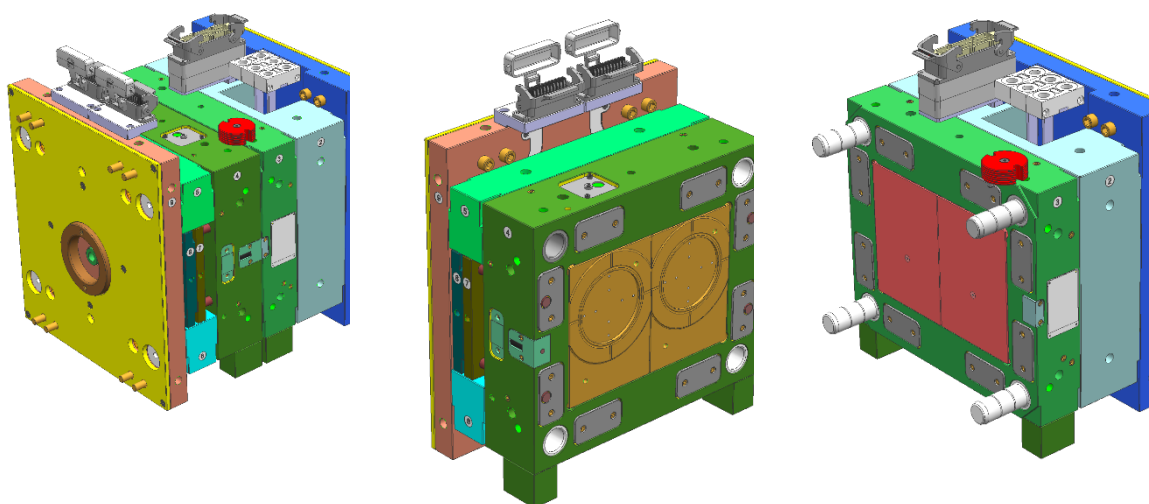
3.2. Alkalmazott berendezések

Fröccsöntőgép

A fröccsöntött termékek gyártásához egy ARBURG 470 A típusú fröccsöntő gépet alkalmaztam.

Fröccsöntő szerszám

A mérések során a **29. ábra** szerinti fröccsöntő szerszámot alkalmaztam. Amint az látszik, ez egy két fészkes szerszám. Különlegessége, hogy az integrált forrócsatorna mellett az egyik szerszámbetét forgatható, így a darab meglövési pontja megváltoztatható. Így a vizsgálatok során tudtam a meglövési pont pozíciójának a termék színére gyakorolt hatását is tanulmányozni.



29. ábra A gyártás során alkalmazott fröccsöntő szerszám

Mérleg

Az ABS és a mesterkeverék kiméréséhez egy CAS AD 1/06 típusú digitális mérleget használtam. A mérleg 6000g-os mérési tartománnyal bír, emellett pedig 2g pontossággal lehet vele mérni.

3.3. Vizsgálati módszer

A vizsgálatok során alapvetően három fröccsöntési paraméter játszott fontos szerepet: az ömledék-hőmérséklet (T_0), a befroccsöntési sebesség (v_{bef}), illetve a csiga kerületi sebessége (v_{ker}). Előzetes feltevéseim alapján ez a három paraméter lehet hatással leginkább a fröccsöntött termék színhomogenitására.

A vizsgálat során az úgynevezett teljes faktoriális kísérleti terv (Full Factorial Design of Experiment vagy röviden FFDoE) módszerét alkalmaztam, azon belül is a központi kompozíciós kísérleti tervet (Central Composite Design, vagy röviden CCD). Jelen esetben ezt 2 szinten alkalmaztam, feltételezve a lineáris kapcsolatot. A paraméterek esetén három értéket definiáltam, melyeket a 4. táblázat segítségével foglaltam össze:

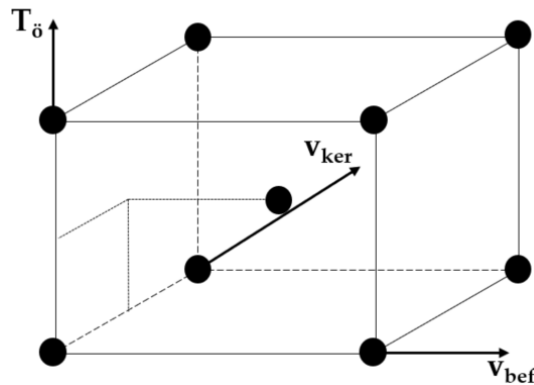
Fröccsöntési paraméter	Alacsony érték (-1)	Közepes érték (0)	Magas érték (1)
T_0 (°C)	200	215	230
v_{bef} (cm ³ /s)	10	35	60
v_{ker} (m/min)	10	25	40

4. táblázat Vizsgált paraméterek és értékeik

A táblázat -1 és 1 jelöléseit a kiértékelés megkönnyítése érdekében vezettem be, itt csak a bemutatás végett szerepelnek. Továbbá a táblázatban egy vizsgált paraméter

nem szerepel, viszont a vizsgálat során fontos szerepet játszott: a meglövési pont pozíciója.

A kísérleti mód szemléltetésére a **30. ábra** szolgál. Az ábrán látszik, hogy a kísérlet értelmezhető egy 3D-s térben egy téglatesttel szemléltetve. A téglatest egyes pontjai a paraméterek értékeinek feleltethetők meg. Az ismertetett paraméter-térben a lineáris kapcsolatok feltárásához szükséges kísérletek száma az összes kombinációt figyelembe véve 2^3 -on, azaz összesen 8 mérési pont (a téglatest csúcspontjai).



30. ábra FFDoe szemléltetése

Az ábrán külön jelölve van a test középpontja. Ez a középső értéket jelenti a fröccsöntési paraméterek esetén, ez egyfajta kiindulási állapotként szolgált. A 8 mérés mellett 2 olyan mérést is elvégeztem, ami erre a pontra vonatkozik, tehát minden paraméter közepes értékével végeztem fröccsöntést. Ez a pont azért is került bele a vizsgálatba, hogy meg lehessen bizonyosodni arról, hogy a technológiai paraméterek változtatása után visszaállva a referencia értékekre, a referencia paramétereken előállított termékek színhomogenitásában nem álltak be változások. A vizsgált faktorok szintjeit és kölcsönhatásait az **5. táblázat** foglalja össze.

Vizsgált faktorok szintjei			Kölcsönhatás táblázat			
T_0	v_{ker}	v_b	T_0 és v_{ker}	T_0 és v_b	v_{ker} és v_b	Hármas kölcsönhatás
-1	-1	-1	1	1	1	-1
-1	-1	1	1	-1	-1	1
-1	1	-1	-1	1	-1	1
-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	1	1	1	1	1	1

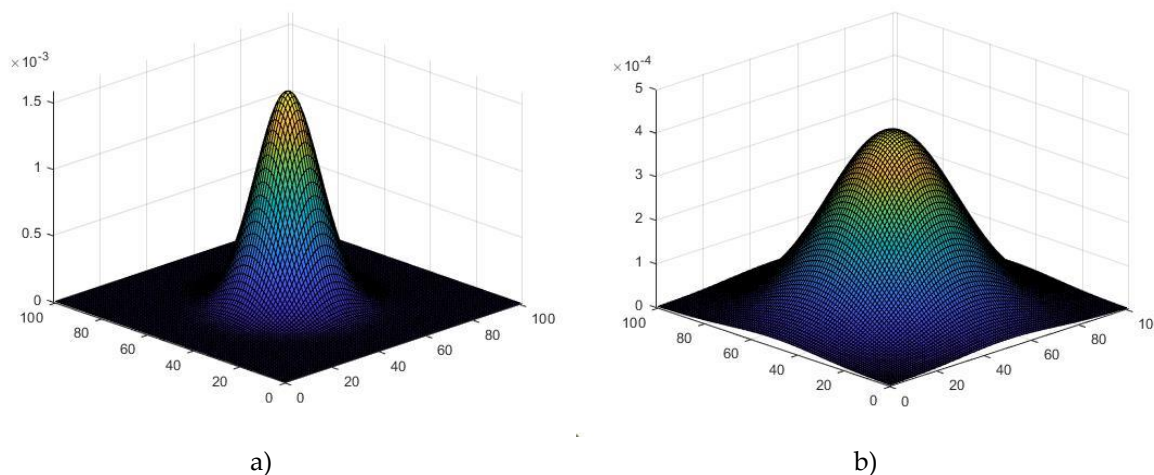
5. táblázat Vizsgált faktorok szintjei és kölcsönhatásai

4. KÍSÉRLETI/FEJLESZTÉSI RÉSZ

A vizsgálati módszer felállítása után legyártottam a fröccsöntött termékeket. Miután ezt elvégeztem, bescanneltem azokat, végül pedig elvégeztem a képek elemzését és kiértékelését MATLAB és Excel használatával.

4.1. Kiértékelő MATLAB-program bemutatása

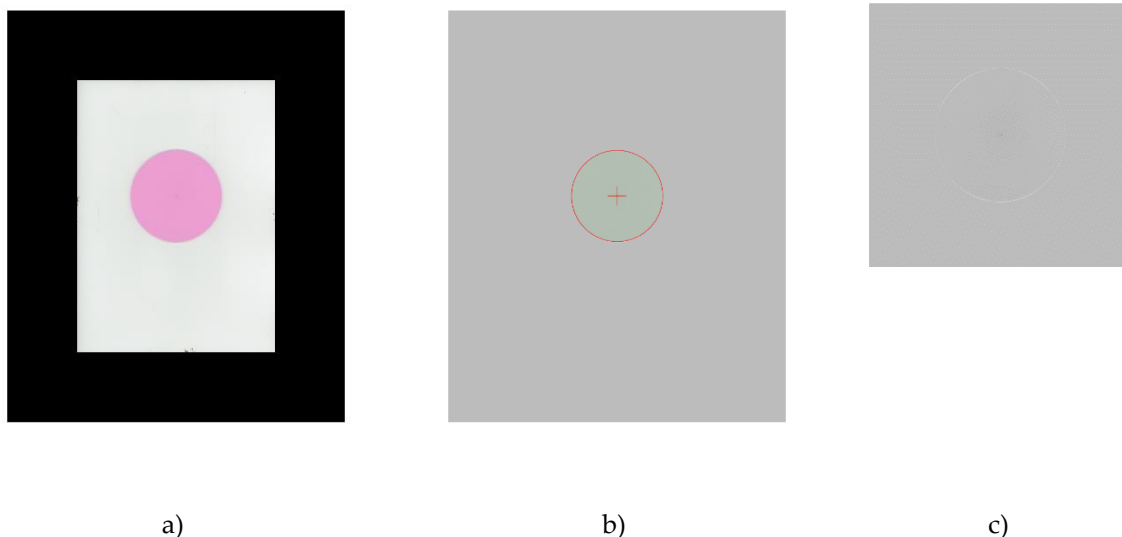
A képek színhomogenitásának vizsgálatához MATLAB-ot, azon belül pedig egy képszűrésen és gradiens számításon alapuló algoritmust használtam. Szűrőként különböző erősségű Gauss-szűrőket használtam, melyek azért is előnyösek, mert, ha a termék esetén sok kisebb, akár szemmel nem látható hiba található, akkor a kép rendkívül „zajos” lesz, ami befolyásolja a gradiens számítás végeredményét. Viszont a gyenge szűrők az apróbb hibákat eliminálják, míg a szemmel is jól kivehető nagyobb hibák csak erősebb szűrők esetén tűnnek el (**31. a) és b) ábra**).



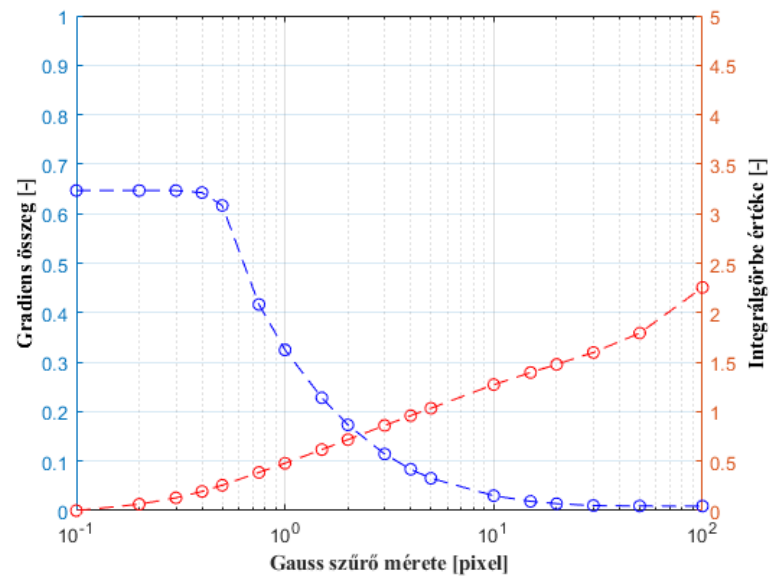
31. ábra 10 pixel (a) és 20 pixel (b) nagyságú Gauss-szűrő grafikus szemléltetése

A program először behívja a megadott mappából a képeket. A beolvasás után következik a képek kiterjesztése adott pixelszámra (**32. a) ábra**). Erre azért van szükség, hogy ha esetleg a darab nagyon a scan-terület széléhez lett volna helyezve, akkor ne vigyünk többlet hibát azzal, hogy a számításba bele vesszük a képen kívül eső részeket is (amit a program nulla színértékként értelmez). A kiterjesztést követte a képek szegmentálása. Ehhez a képet szétszedtem R, G, illetve B mátrixokra, majd ezeket összeadtam. Az összeg kapcsán a termék így könnyebben elkülöníthető volt a háttértől, mint szürkeségi fokban. Az így kapott kép lett átskálázva szürkeségi fokba. Miután ez megtörtént, a darab és a háttér szétválasztása következett. Ehhez a program megnézi azt, hogy az RGB összeg értéke nagyobb-e, mint az előre definiált érték (threshold= 625). Ez alapján a program egy olyan mátrixot hozott létre, amelyben két érték szerepel: az egyik a termékhez, a másik a háttérhez tartozik. A mátrix segítségével így már meghatározható a kör alakú darab legnagyobb átmérője és

középpontja (**32. b) ábra**). A középpont és az átmérő ismeretében a háttér azon részeit le lehet vágni, amelyre nincs szükség, így meggyorsítva a számolás menetét. A kép esetén mind vízszintes, mind függőleges irányban egy-egy kör átmérőnyi területet hagytam ráhagyásként (**32. c) ábra**). További egyszerűsítésként kiszámoltam a darab átlagos szürkeségi fokát, és azt alkalmaztam a háttérre, hogy ki lehessen a szűrésnél a szélhibát küszöbölni. Az előzetes előkészítés után következett a képszűrés, mely az előbb említett különböző méretű Gauss-szűrőkkel történt. Az alkalmazott szűrőméretek a következők voltak: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100. A képszűrés után a gradiens mátrix kiszámítása következett a szűrt képekre. Ezután összegeztem a gradiens mátrixok elemeit. A szűrőméret függvényében ábrázoltam a gradiens összegeket (**33. ábra**). Az eredmények alapján látszik, hogy a gradiens összeg a szűrőméret függvényében csökken, ami a zaj és az apróbb inhomogenitások eltüntetéséből/kiszűréséből ered. Ezt a függvényt integráltam és a kiértékelés során a kapott hibaérték az integrálgörbe legnagyobb szűrőmérethez tartozó értéke lesz. A hibaérték pedig a termékek színének inhomogenitását jellemzi. Nagyobb hibaérték esetén a szín egyenetlensége növekszik.



32. ábra Scan kiterjesztése (a); Próbatessz átmérőjének és középpontjának meghatározása (b); Levágott kép (c)



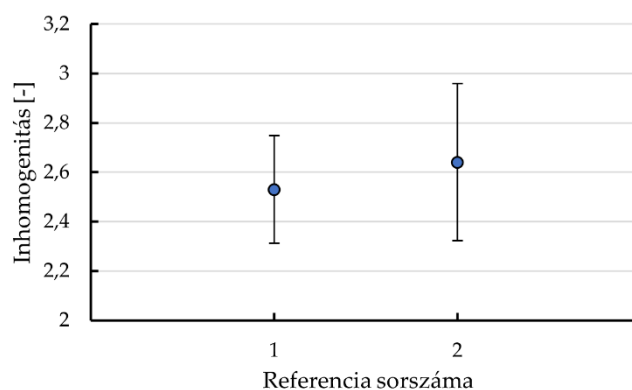
33. ábra A gradiens összeg és az integrálgörbe értéke a szűrőméret függvényében

4.2. Eredmények kiértékelése

A MATLAB segítségével kapott hibaértékek birtokában elvégeztem az eredmények grafikus ábrázolását és elemzését, melyeket az alábbi fejezetben fogok bemutatni.

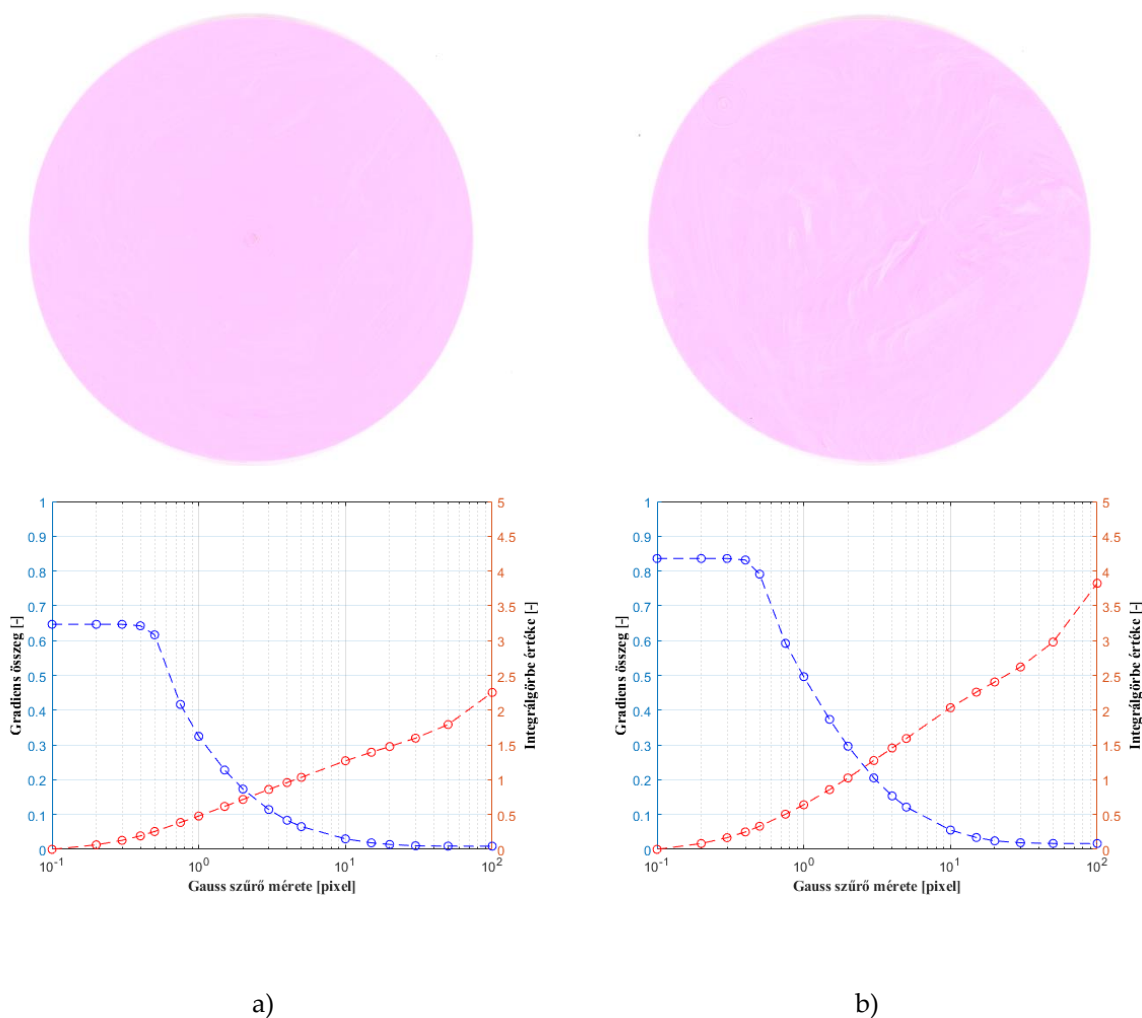
4.2.1. Fő paraméterek hatásai a színhomogenitásra

A kiértékelés további részében a „Fészek1” jelöli a középső, a „Fészek2” a felső meglövással készült fröccsöntött darabokra jellemző adathalmazokat. A vizsgálatok során a FFDóE kocka középpontjában szereplő szürke pont nem képezte a vizsgálatok részét, ugyanis ez a beállítás-kombináció csak gyártásközi ellenőrzés céljából lett beiktatva (**34. ábra**). Az ábrán látszik, hogy az átlagos inhomogenitás nagysága jelentős mértékben nem változott, viszont a szórás megnőtt. Ez részben annak lehet köszönhető, hogy az első referencia felvételét 80 ciklus gyártása előzte meg, míg a második esetében ez a szám körülbelül 20 volt, így esetlegesen a technológia még nem volt olyan stabil, mint az első esetében.



34. ábra Referenciasorozatok összehasonlítása

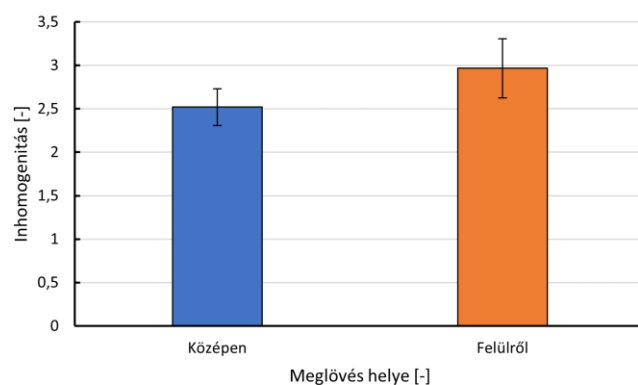
A **35. ábra** két kiragadott példát mutat be, két különböző beállításkombinációval. A három fröccsöntési paraméter mellett a termék színének inhomogenitásában fontos szerepet játszik a meglövés helye. A **36. ábra** kapcsán az összes legyártott darabot szétválogattam meglövési pozíció szerint, majd vizsgáltam ennek függvényében az átlagos inhomogenitást. A közepen meglőtt darab esetén mind az inhomogenitás nagysága, mind annak szórása kisebb volt a felülről meglőttel szemben. A **35. és 36. ábrák** alapján feltételezhető, hogy az inhomogenitást a meglövési pont mellett az ömledék állapotban történő keveredés, tehát a nyírósebesség nagysága és a viszkozitás befolyásolja, amit pedig a technológiai paraméterek segítségével tudunk befolyásolni.



35. ábra Gradiensek összege és az integrálgörbe értéke a szűrőméret függvényében

a): $T_0 = 200^\circ\text{C}$; $v_{\text{bef}} = 60\text{cm}^3/\text{s}$; $v_{\text{ker}} = 40\text{m/min}$; középen meglövés

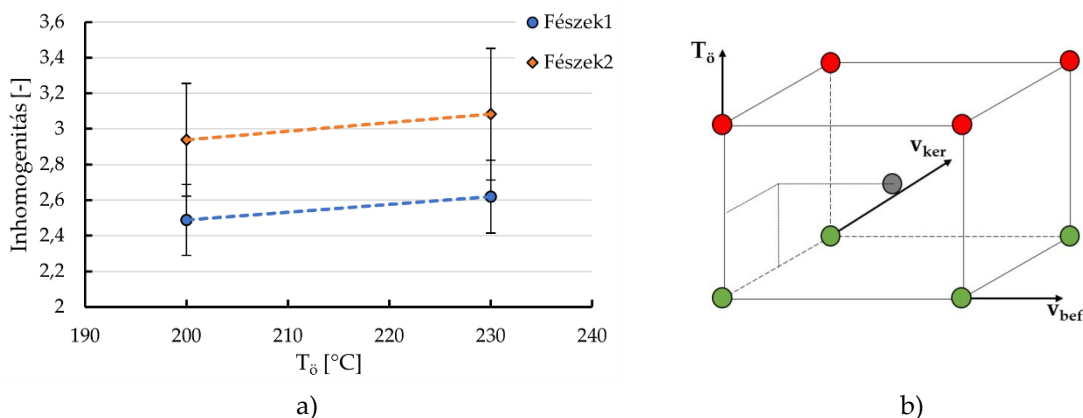
b): $T_0 = 230^\circ\text{C}$; $v_{\text{bef}} = 10\text{cm}^3/\text{s}$; $v_{\text{ker}} = 10\text{m/min}$; felülről meglövés



36. ábra Meglövés helyének hatása az inhomogenitásra

Az érthetőség megkönnyítése végett az egyes vizsgálatok kapcsán a diagrammok mellett feltüntettem a vizsgálat tárgyát képező pontokat FFD_{oE} kiskockán is. A kocka esetén a főhatások vizsgálata során a zöld pontok jelölik azokat a beállítási kombinációkat, ahol a vizsgált paraméter értéke alacsony, míg a piros pontok azokat, ahol ugyanezen paraméter értéke magas volt (lásd **5. táblázat**).

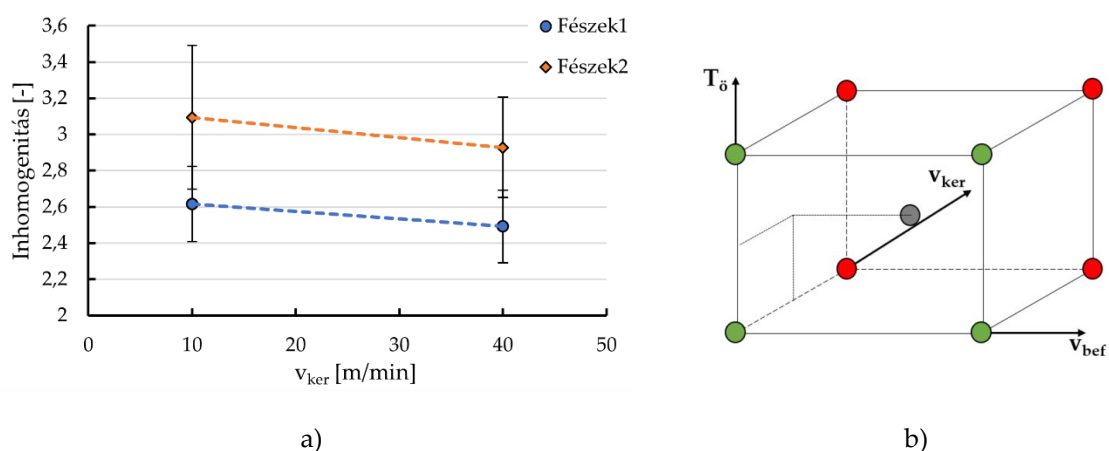
A kiértékelés első lépéseként megvizsgáltam a paraméterek hatásait külön-külön a színhomogenitásra. Fröccsöntés során a plasztikálást többek között az aggregát hőmérsékletével és a csiga kerületi sebességével tudjuk befolyásolni. Az ömledék-hőmérséklet hatását a **37. a) ábra** szemlélteti. Ahogy az látszik, a meglövési pont megválasztásától függetlenül, ha növeljük az ömledék hőmérsékletét, akkor nőni fog az inhomogenitás is, mindkét fészek hasonlóan reagált a hőmérséklet változására. Az inhomogenitás növekedése azzal magyarázható, az ömledék-hőmérséklet növelésével bár csökkenni fog a viszkozitás, de az ömledékre ható nyíró erők, amik a csiga forgómozgásából és a befröccsöntésből adódnak, azokban a viszkozitás csökkenése változást fog előidézni, így az inhomogenitásban az ábrán is látható romlás lesz megfigyelhető. Ezen kívül az is elmondható, hogy a középen meglőtt darabok kisebb inhomogenitással rendelkeztek a felülről meglőttekkel szemben. A szórásokban is jelentős eltérések figyelhetők meg: a középen meglőtt darab esetében a szórás kisebb volt. Minél inkább kisebb egy minta szórása, annál inkább megbízhatóbb lesz a gyártás minősége. Így tehát a hőmérséklet függvényében az inhomogenitás nagysága is könnyebben becsülhető lesz.



37. ábra Ömledék-hőmérséklet hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFD_{oE} kiskockán (b)

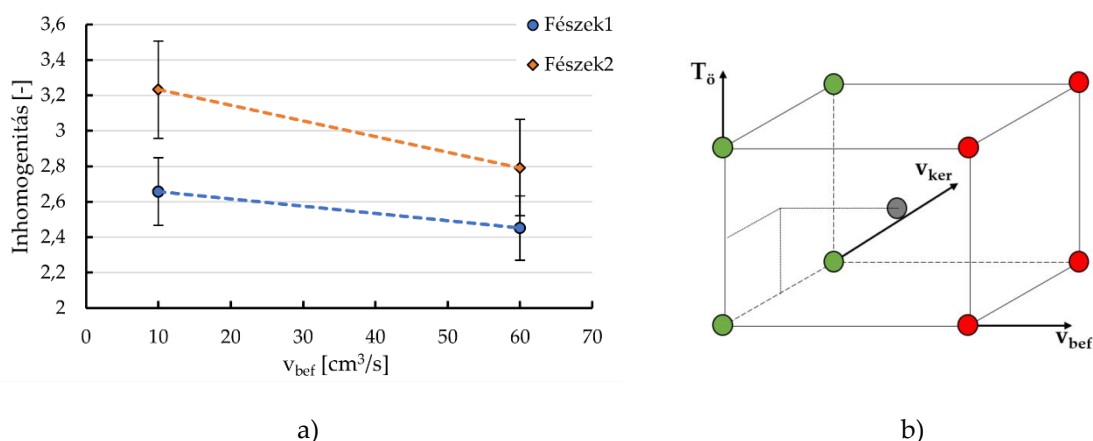
A kerületi sebesség elemzése során (**38. a) ábra**) azt tapasztaltam mindkét fészek esetén, hogy minél nagyobb sebességgel végez a csiga forgó mozgást, az annál inkább egyenletesebb színt fog eredményezni. Ez érthető, hiszen a kerületi sebesség növelésével nő az anyagra ható nyírás, így pedig javul a keveredés. A felülről meglőtt darab esetén itt is nagyobb volt az inhomogenitás nagysága, viszont a kerületi sebesség növelésével hasonló tendenciát mutatott javulásban, mint a középen meglőtt darab. A

szórásmező viszont a felülről meglőtt darab esetén nagyobb volt a középén meglőttel szemben.



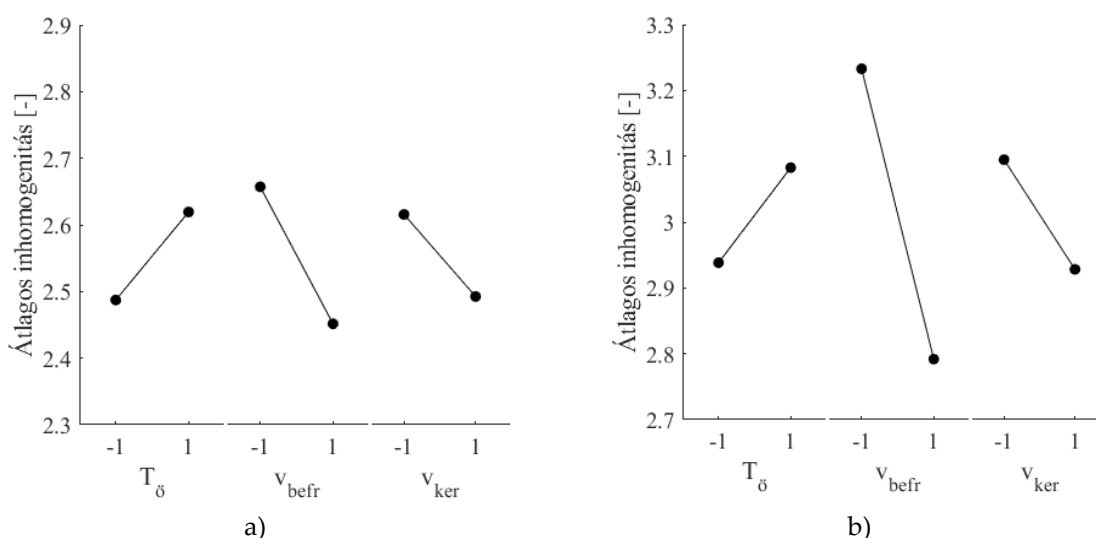
38. **ábra** Csiga kerületi sebességének hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFD_{oE} kiskockán (b)

Végül az utolsó vizsgált paraméter a befroccsöntési sebesség volt, aminek hatását a 39. a) **ábra** szemlélteti. A felülről meglőtt darab esetében ismételten elmondható, hogy maga az inhomogenitás nagysága nagyobb lesz, viszont a befroccsöntési sebesség növelésével szemmel láthatóan is jelentős javulást lehet elérni, viszont az egyes számú fészek esetén is csökkent a hiba a befroccsöntési sebesség növelésével. A javulás érthető, hiszen a befroccsöntési sebesség növelésével az anyagot terhelő nyírás nagysága is nő, növekedésével a keveredés is intenzívebb lesz. A két fészek közötti különbség a szórásokban is megmutatkozott: a középén meglőtt darab esetében a szórás kisebb volt, de a befroccsöntési sebességtől függően változott is, míg bár a felülről meglőtt darab esetében a szórás nagyobb volt, de számottevően nem változott.



39. **ábra** Befroccsöntési sebesség hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFD_{oE} kiskockán (b)

A technológiai paraméterek átlagos színhomogenitásra gyakorolt hatását fészkenként a **40. ábra** kapcsán foglaltam össze. A vízszintes tengely -1 értékei jelzik az adott paraméter alacsony, míg 1 a magas értékeit (lásd **4. táblázat**). A felülről meglőtt darabok esetén az inhomogenitás minden esetben nagyobb volt, tehát ha kisebb inhomogenitást szeretnénk elérni érdemes a darabokat középen meglőni. A paraméterek emellett mindkét fészek esetén hasonlóan viselkedtek. Az ömledék-hőmérséklet növekedésével nőtt az inhomogenitás nagysága, hiszen minél kisebb az ömledék viszkozitása, annál rosszabb a keveredés, mivel az ömledékre ható nyíró erőkben, amik a csiga forgómozgásából és a befröccsöntésből adódnak, a viszkozitás csökkenése változást fog előidézni, így az inhomogenitásban is. A befröccsöntési és a kerületi sebesség növekedésével csökkent az inhomogenitás, hiszen ezek növelésével nőtt az anyagot terhelő nyírás, ennek növekedése pedig segíti a keveredést. Az is elmondható, hogy a felülről meglőtt darabok sokkal érzékenyebbek voltak az egyes paraméterek változásaira, melyek az átlagos inhomogenitásokban is megmutatkoztak. Így tehát ha csak a főhatásokat vesszük figyelembe, a kis inhomogenitás érdekében érdemes alacsony ömledék-hőmérséklet mellé nagy kerületi és befröccsöntési sebességet választani.



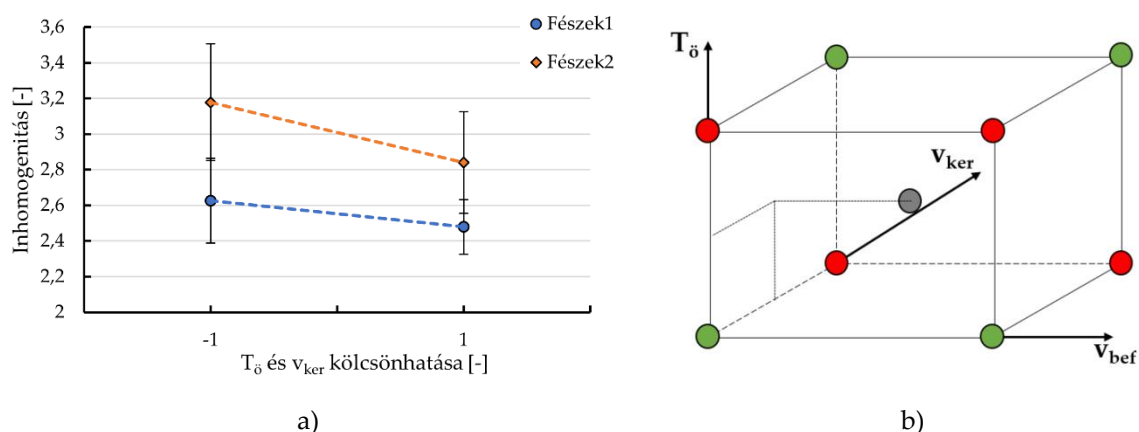
40. ábra Fröccsöntési paraméterek hatása (főhatások) a termékek színének átlagos inhomogenitására középen (a) és a felülről meglőtt (b) darabok esetén

4.2.2. Paraméterek kölcsönhatásai a színhomogenitásra

Miután vizsgáltam a paraméterek egyéni hatásait, vizsgálatokat folytattam arra vonatkozóan, hogy vajon az ömledék-hőmérséklet negatív hatását ki lehet-e a másik két paraméter változtatásával küszöbölni, illetve, hogy azon paraméterek, melyek

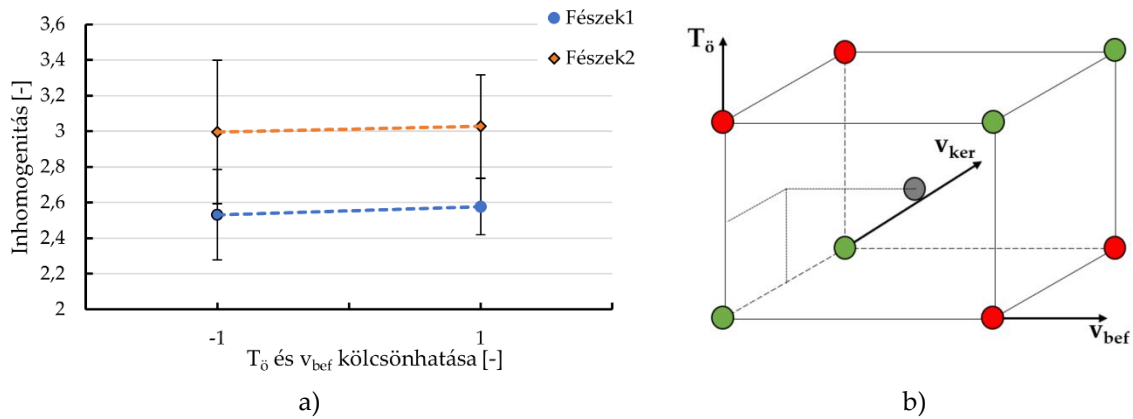
önmagukban javulást tudnak előidézni a színhomogenitásban, vajon együtt még jobb eredményt tudnak-e elérni. A kölcsönhatások vizsgálata során a zöld pontok az 1, míg a piros pontok a -1 kombináció értékeknek felelnek meg (lásd 5. táblázat).

Elsőként a két plasztikálási paraméter kölcsönhatását vizsgáltam (41. a) ábra). A középen meglőtt darabok esetén az inhomogenitás mértéke kisebb volt, mint a felülről meglőttekben. A felülről meglőtt darabok esetében a másik fészekhez viszonyítva jelentős javulás mutatkozott a paraméterek kölcsönhatásának következtében. A hiba és a szórás is kisebb volt, mintha csak külön a két paramétert vizsgálnánk. A javulás érthető, hiszen a plasztikálással jelentősen lehet befolyásolni az inhomogenitás mértékét, ami alátámasztja a 2.3.3 fejezetben taglaltakat. Összefoglalva tehát a két paraméter kölcsönhatása mindkét fészek esetén javulást idéz elő: mind az inhomogenitás nagysága, mind a szórás csökkenthető.



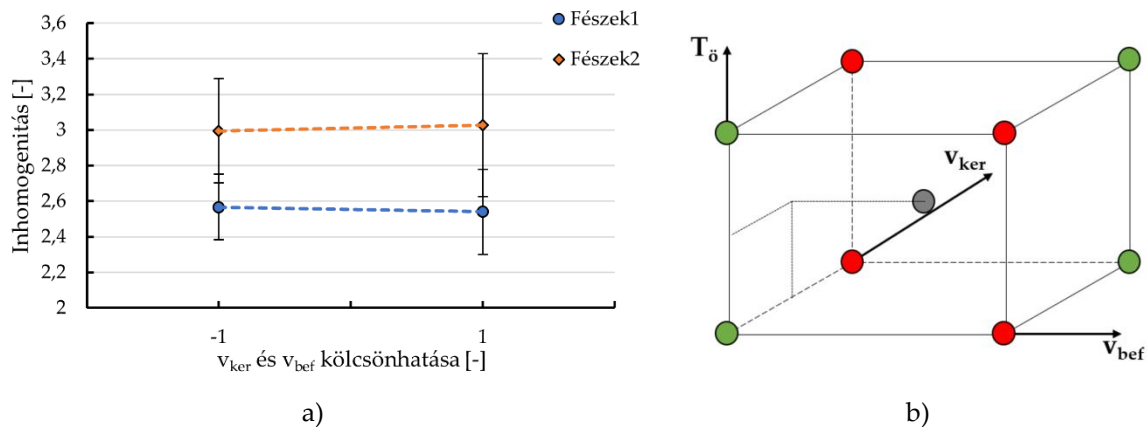
41. ábra Ömledékhőmérséklet és csiga kerületi sebességének együttes hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFDoe kiskockán (b)

A következőkben azt vizsgáltam, hogy az ömledék-hőmérséklet és a befröccsöntési sebesség kölcsönhatása hogyan hat a termék színének inhomogenitására (42. a) ábra). Az egyes számú fészek esetében a két paraméter látszólag az inhomogenitás nagyságát jelentősen nem növelte, viszont a szórást jelentősen csökkentette. Így az inhomogenitás nagysága sokkal megbízhatóbban előre jelezhető a szórás csökkenése miatt. A kettes számú fészek esetében a két paraméter kölcsönhatása kismértékű romlást okozott, itt nem csak az inhomogenitás nagysága, hanem a szórása is nőtt.



42. ábra Ömledékhőmérséklet és befröccsöntési sebesség együttes hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFDóE kiskockán (b)

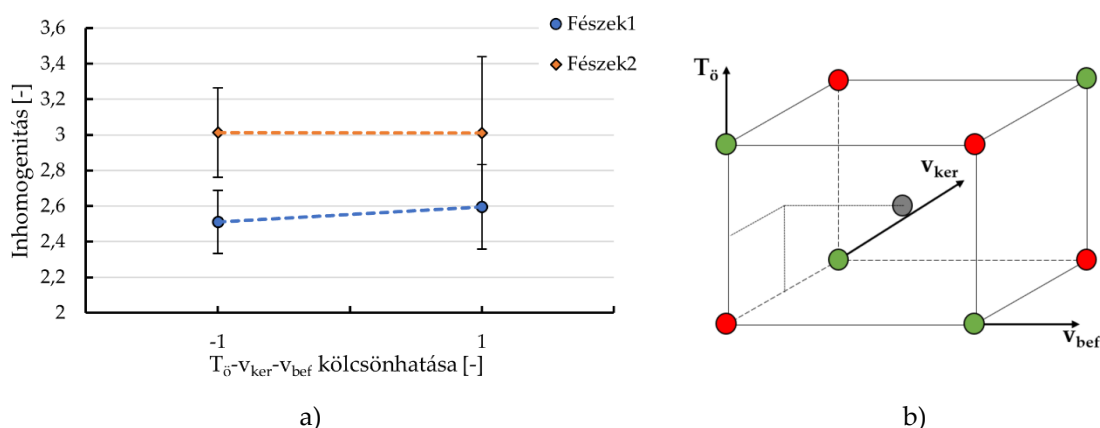
Végül pedig azt is megvizsgáltam, hogy a csiga kerületi sebessége és a befröccsöntési sebesség hogyan hatnak egymásra (**43. a) ábra**). Ahogy az ábrán is látszik, jelentősen egyik fészek esetén sem tud változást elérni a két paraméter kölcsönhatása, a változás mindkét esetben századokban volt mérhető átlagosan. A középen meglőtt darabok esetén az inhomogenitás kis mértékben csökkent, míg a felülről meglőtt esetén kis mértékben nőtt. Viszont kölcsönhatásuk során a szórás jelentősen megnőtt. Tehát a gyártással elérhető inhomogenitás is kevésbé lesz kiszámítható.



43. ábra Csiga kerületi sebességének és a befröccsöntési sebesség együttes hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFDóE kiskockán (b)

Két paraméter után vizsgáltam, hogy a három paraméter együttesen hogyan hat a termékek színének homogenitására. A kapott eredményeket a **44. a) ábra** szemlélteti. A kettes számú fészek esetében azt kaptam, hogy gyakorlatilag a paraméterek kölcsönhatása jelentősen nem fogja az inhomogenitást befolyásolni, ugyanis a nagysága bár nem nőtt, de a szórása jelentősen megemelkedett. A másik fészek esetén

az inhomogenitás nagysága kis mértékben, a szórás jelentősen nőtt, tehát a pozitív hatás itt sem jelenthető ki egyértelműen.



44. ábra A vizsgált paraméterek együttes hatása a termékek színének inhomogenitására (a), mérési pontok elhelyezése a FFDoe kiskockán (b)

Paraméterek kölcsönhatásainak összefoglalása

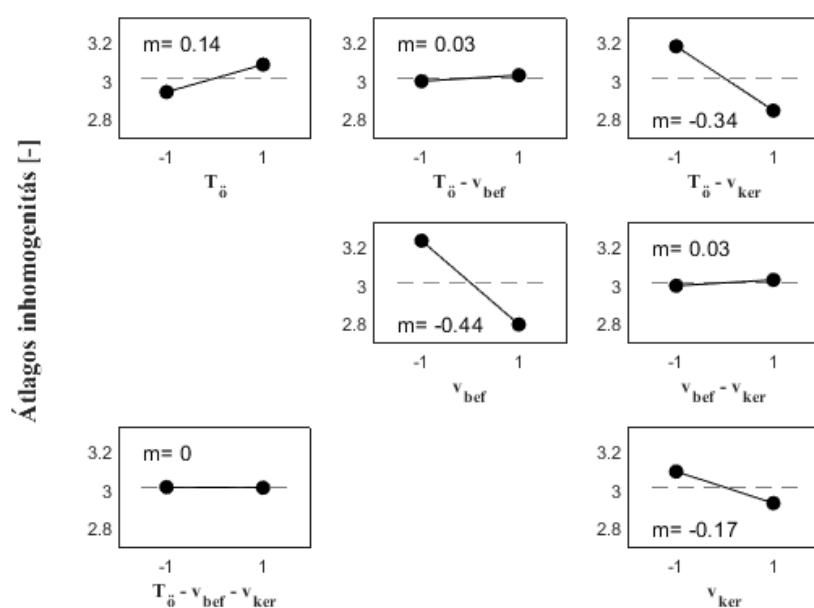
A főhatások, két paraméter kölcsönhatásának, illetve a három paraméter kölcsönhatásának átlagos színhomogenitásra gyakorolt hatását a kettes számú fészek esetén a 45. ábra foglalja össze. Ezek alapján elmondható, hogy az ömledék-hőmérsékletnek és a befroccsöntési sebességnek, valamint a csiga kerületi sebességének és a befroccsöntési sebességnek a kölcsönhatása jelentősen nem befolyásolja a termék inhomogenitását, amely az egyenesek meredekségén is megmutatkozik. Mindkét fészek esetén viszont az ömledék-hőmérséklet és a csiga kerületi sebességének a kölcsönhatása jelentős javulást tudott előidézni, kiváltképp a kettes fészek esetében. Ha a problémát gyakorlati szempontból szeretnék így megközelíteni, tehát hogy milyen paramétereket és milyen szinten érdemes alkalmazni a kis inhomogenitás elérésének érdekében, mondjuk a kettes fészek esetén, akkor a következőt lehet elmondani: mindenképp érdemes nagy befroccsöntési sebességet választanunk, hiszen a paraméterek között az tudja a legnagyobb javulást előidézni (ennek a legnagyobb a meredeksége). A másik két paraméter kapcsán érdemes vizsgálni a kölcsönhatás táblázatát: az ábra alapján a két paraméter kölcsönhatása kapcsán az 1-es értékekkel jelzett beállítás kombinációkat érdemes megvizsgálni. A 6. táblázat alapján azok a beállítások jöhetnek szóba, ahol a két kritérium (nagy befroccsöntési sebesség és 1-es érték T_0 és v_{ker} kölcsönhatása kapcsán) fedi egymást.

Vizsgált faktorok szintjei			Kölcsönhatás táblázat			
$T_{\bar{o}}$	V_{ker}	V_b	$T_{\bar{o}}$ és V_{ker}	$T_{\bar{o}}$ és V_b	V_{ker} és V_b	Hármas kölcsönhatás
-1	-1	-1	1	1	1	-1
-1	-1	1	1	-1	-1	1
-1	1	-1	-1	1	-1	1
-1	1	1	-1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1	-1	1	1
1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	1	1	1	1	1	1

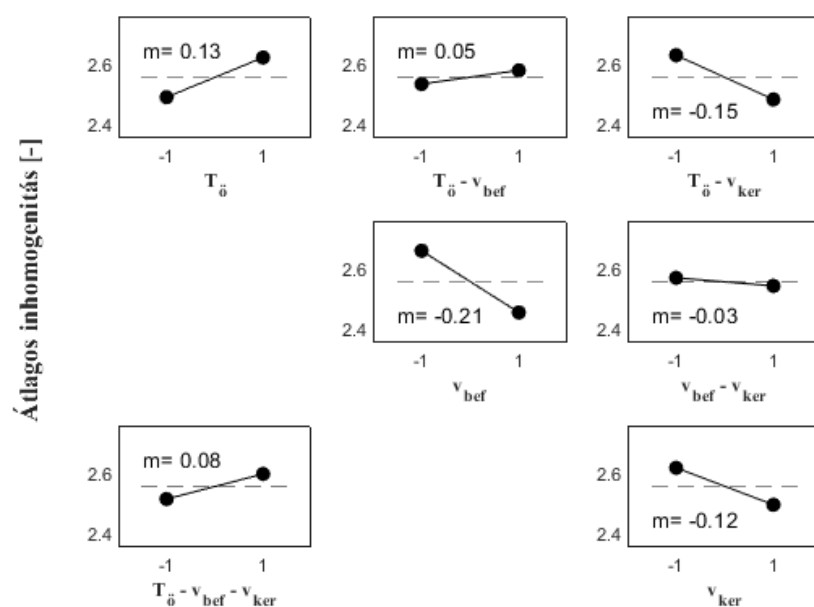
6. táblázat $T_{\bar{o}}$ és V_{ker} kiválasztásának alapja

Az átfedések alapján így a második és az utolsó sor beállításai jöhetnek szóba. A második sornál a nagy befroccsöntési sebesség mellé kis ömledék-hőmérséklet és kerületi sebesség társul, míg az utolsó sor kapcsán nagy befroccsöntési sebesség mellé nagy ömledék-hőmérséklet és kerületi sebesség. A döntés meghozatalához további szempontokat kell figyelembe vennünk. Azt szeretnénk, hogy az inhomogenitás minél kisebb legyen, vagy megbízhatóbb gyártást szeretnénk elérni? A második beállításkombináció esetén az inhomogenitás kisebb lesz a kettes számú fészkek esetén, mint az utolsó kapcsán, viszont a szórás is nagyobb lesz. Ha kisebb hibájú, de nagyobb szórású termékeket szeretnénk gyártani akkor a második, kicsivel nagyobb hibájú, de kisebb szórású gyártáshoz pedig az utolsó beállításkombinációt érdemes választani. Hasonló gondolatmenet segítségével vizsgálatokat lehet elvégezni a másik fészkekre is a 46. ábra alapján.

A felülről meglőtt darabok esetén az átlagos homogenitásban nem tudott a három paraméter kölcsönhatása változást előidézni, ugyanis a kapott egyenes meredeksége nulla lett. Itt nem az inhomogenitás nagyságára, hanem annak a szórására volt a három paraméter kölcsönhatása hatással. A középen meglőtt darabok esetén a kölcsönhatás következtében az inhomogenitás és a szórás is nőtt kis mértékben.



45. ábra Paraméterek, illetve kölcsönhatásaik hatásai a felülről meglőtt fröccsöntött termékek átlagos inhomogenitására



46. ábra Paraméterek, illetve kölcsönhatásaik hatásai a középem meglőtt fröccsöntött termékek átlagos inhomogenitására

5. ÖSSZEFOGLALÁS

5.1. Magyar nyelvű összefoglaló

A fröccsöntés napjaink iparában betöltött fontos szerepének bemutatását követően, az alkalmazott polimerek alapvető reológiai és feldolgozási jellemzőinek ismertetésére irodalomkutatót végeztem. Kutatót folytattam a fröccsöntött termékek színezési lehetőségeivel, kiemelt figyelmet szentelve az iparban leginkább alkalmazott mesterkeverékeknek.

Mivel a mesterkeverékeket alappolimerekhez keverve alkalmazzák, így a dolgozatomban külön bemutatásra kerültek a leginkább alkalmazott keverő berendezések, amik egyrészt a színezőanyag elkeveredését segítik elő a mesterkeverékek gyártásakor, másrészt a fröccsöntés során az alappolimer és a mesterkeverék minél egyenletesebb keveredését fogják előidézni.

A következőkben azt vizsgáltam, hogy maguk az emberek milyen módon képesek az adott színeket érzékelni, ugyanis a színérzékelésen alapszik a legtöbb digitális képfeldolgozási módszer is. Ezután átfogó kutatót folytattam a leggyakrabban alkalmazott színterekre, kiváltképp az RGB, szürkeárnyaltos és CIE-Lab rendszerekre vonatkozóan. Ezt követően a digitális képfeldolgozási technológiák során leggyakrabban alkalmazott színhomogenitásbeli mérőszámokat mutattam be.

Az irodalmi áttekintés után a kísérleti részben 400 darab fröccsöntött próbatestet gyártottam le. A gyártás során adott darabszámban készültek adott ömledék-hőmérséklet, csiga kerületi sebesség és befröccsöntési sebesség mellett. Az alkalmazott alappolimer Terluran GP-35 volt, a mesterkeverék pedig Renol-pink ABS143479Q volt, ami rózsaszínt kölcsönöz a terméknek. A választás azért erre a színre esett, ugyanis az elemzésnél jól kivehető hibákat eredményez.

A leggyártott termékeket ezután bescanneltem, majd elvégeztem azok digitális kiértékelését MATLAB-ban írt algoritmus használatával. Ennek során Gauss-szűrőket alkalmaztam. Az így kapott inhomogenitásbeli mérőszámok segítségével az ömledék-hőmérséklet, a csiga kerületi sebességének és a befröccsöntési sebességnek az inhomogenitásra gyakorolt hatásait vizsgáltam. Első lépésként ezek egyenkénti, majd pedig kettő tetszőleges, végül pedig a három együttes hatását vizsgáltam.

A paraméterek színhomogenitásra gyakorolt hatását először egyenként vizsgáltam. Az ömledék-hőmérséklet növekedésével nőtt az inhomogenitás is, ekkora ugyanis a viszkozitás csökkenése miatt a csiga forgó mozgásából és a befröccsöntésből adódó anyagra ható nyírás lecsökkent. A befröccsöntési és a csiga kerületi sebességének kapcsán is azt az eredményt kaptam, hogy minél inkább növeljük értékeiket, annál kisebb lesz az inhomogenitás. Ez érthető, hiszen az anyagot terhelő nyírás növekedésével intenzívebb lesz a keverés is.

A következőkben azt vizsgáltam, hogy két paraméter kölcsönhatása hogyan hat a termék színének inhomogenitására. Itt azt tapasztaltam, hogy a legjelentősebb hatást

csak az ömledék-hőmérséklet és a kerületi sebesség kölcsönhatása között lehet felfedezni. Gyártás során így a beállított értékeket az szabja meg, hogy mely főhatásoknak és kölcsönhatásoknak van jelentősebb hatása az inhomogenitásra, illetve, hogy a gyártás során a megbízhatóságra törekszünk, vagy pedig a minél kisebb inhomogenitásra, ami viszont kevésbé lesz megbízható.

Végül pedig vizsgáltam, hogy a három paraméter együttes kölcsönhatása tud-e javulást előidézni az inhomogenitásban. Itt arra az eredményre jutottam, hogy a felülről meglőtt darabok esetén gyakorlatilag nem fedezhető fel ilyen kapcsolat, hiszen az inhomogenitás nagysága nem változott. Ezzel szemben a középen meglőtt darab inhomogenitása kis mértékben romlott.

A technológiai paraméterek mellett vizsgáltam a meglövési pozíció hatását a termék színének inhomogenitására. Minden vizsgálat során arra jutottam, hogy a kisebb inhomogenitás érdekében érdemes középső meglövést választani. A felülről meglőtt darabok minden esetben nagyobb inhomogenitással bírtak, és bár a technológiai paraméterekkel ezek korrigálhatók, de a minőség így is jóval alulmarad a középen meglőtt darabokkal szemben.

6. FELHASZNÁLT FORRÁSOK

1. Kovács J. G.: Fröccsöntés előadás, 2020-21 II. Szemeszter
2. Cvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest (2003)
3. MMSZ: Megalakul a műanyagipari klaszter, Polimerek műanyagipari szaklap, 6/09, 1022-1023 (2020)
4. Búzás L.: A fröccsöntés helyzete Magyarországon 2018-ban, Polimerek műanyagipari szaklap, 6/02, 809-814 (2020)
5. Dunai A., Dr. Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexika Kft., Budapest (2003)
6. Bodor G., Vas L. M.: Polimer anyagszerkezetan, Műegyetemi Kiadó, 2001
7. Albrecht M.: Coloring of Plastics, Hanser, Munich (2003)
8. Dietrich O. H.: Atlas of Plastics Additives – Analysis by Spectrometric Methods, Springer, Berlin (2002)
9. Zsíros L., Török D., Kovács J. G.: Evaluation of the homogenization properties of masterbatches, Coloration Technology, 133(5), 431-438 (2017)
10. Vaclav J., Michal S., Vojtech S., Petr F., Lenka H.: Effect of the Pigment Concentration on the Dimensional Stability and the Melt Flow Index of Polycarbonate, Manufacturing Technology, 19(3), 404-408 (2019)
11. Macskási L.: A műanyag-feldolgozás technológiája, Bessenyei Könyvkiadó, Nyíregyháza (2013)
12. <https://docplayer.hu/4948957-Polimertechnika-polimer-feldolgozas-alpartibor-1.html> (2021.09.04)
13. Zsíros L., Török D., Kovács J. G.: Színegyenetlenség mérésére alkalmas mérőrendszer fejlesztése és alkalmazása statikus keverők minősítésére, OGÉT, Csíksomlyó, 415-418 (2015)
14. Török D., Kovács J. G.: Effects of Dynamic Mixers on the Color Homogeneity and the Process in Injection Molding, Polymer Engineering & Science, 59, 189-195 (2019)
15. James L. W., Aubert Y. C., Abdelsamie M.: Polymer Mixing – Technology and Engineering, Hanser, Munich (2001)
16. Ábrahám Gy., Dr. Kovács Á., Antal Á., Németh Z., Veres Á. L.: Jármű optika kézirata, BME MOGI, Budapest (2014)
17. Sabine S., Robert B., Steve S.: Standard RGB Color Spaces in Color and Imaging Conference, 7th Color and Imaging Conference Final program and Proceedings, pp. 127-134(8) (1999)
18. Török D.: Fröccsöntő csigacsúcsok hatása a színkeveredésre és a technológiai paraméterekre. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki kar, Polimertechnika tanszék (2019)

19. Christopher K., Garrison W. C.: Color-to-Grayscale: Does the Method matter in Image Recognition? in Second International Conference on Computer Engineering and Applications, Bali, Indonesia, 11242676 (2010)
20. sappi etc Printer Technical Service: Defining and Communicating Color: The CIELAB System, Sappi Fine Paper North America (2013)
21. Zheng Y., Rao J., Wu L.: Edge Detection Methods in Digital Image Processing, The 5th International Conference on Computer Science & Education, Hefei, China, 471-473 (2010)
22. Saban Ö., Bayram A.: Comparison of Edge Detection Algorithms for Texture Analysis on Glass Production. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2675 – 2682 (2015)
23. Haralick R. M., Shanmugam K., Dinstein I. H.: Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3, 610-621 (1973).
24. Fardin M., Hassan G.: Using GLCM and Gabor Filters for Classification of PAN images. *IEEE, 21st Iranian Conference on Electrical Engineering* (2013)
25. Nitish Z., Vrushsen P.: GLCM Textural Features for Brain Tumor Classification, *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, Issue 3, No. 3 (2012)
26. Kausalyah V., Nik M., Shasthri S: Experimental analysis on the effects of pigmentation in the defect's formation of the polypropylene plastic injection moulding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 834, 012038 (2019)
27. Hargitai H., Török D.: Mixing Efficiency Study of Nano and Micro Filled PP Systems, *Acta Technica Jaurinensis*, 344-355 (2014)
28. Török D., Kovács J. G.: Effects of Injection Molding Screw Tips on Polymer Mixing, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 62(3), 241-246 (2018)