

Színezési technológiák szoftveres környezetvédelmi analízise

Nagy Henrietta Judit*, Őrsi Kálmán*, Orbán Istvánné*, Tóth Árpád**, Rusznák István*, Sallay Péter*, Víg András***

*BME Szerves Kémiai Technológia Tanszék, **Claret Bt.,
***MTA BME Szerves Kémiai Technológia Tanszéki Kutatócsoport

1. Bevezetés

A könnyűipari technológiák egyik legnehezebben kezelhető problémája a nagy mennyiségű vízfelhasználás és az ehhez kapcsolódó jelentős ipari szennyvízterhelés, figyelembe véve a szigorú környezetvédelmi hatósági előírásokat is [Al-Kdasi 2004].

A textilkészítő-iparban a vegyi anyagok (színezékek, mosószeresek, elektrolitok stb.) legkülönbözőbb képviselői kerülnek a szennyvízbe. Tehát a felhasznált vegyszerek mennyiségének, koncentrációjának csökkentése a különböző eljárásokban - különösen a színezési folyamatokban - kiemelten fontos feladat [Allègre 2006.]. Ezeket az igényeket veszik tekintetbe azok a technológiák, amelyekben a felhasznált elektrolitok mennyiségének a csökkentésére (*LS* = *Low Salt* technológiák), illetve a megkötött színezékhiányad növelésére (*HF* = *High Fixation* technológiák) törekkenek [Peters 1995]. Az új technológiai megoldások alkalmazhatóságát - a környezetvédelmi igényeken túlmenően - azok gazdaságossága is befolyásolja.

Vizsgálataink során különböző színezési paraméterek mellett szimuláltuk, majd értékeltük mono-, illetve bifunkciós színezékegyedek környezetterhelését és egy-egy választott reaktív színezési technológia gazdaságosságát.

A szennyvíz minőségének jellemzéséhez egy számítógépes program készült. A kidolgozott vizsgálati módszerek segítségével összehasonlítottunk két reaktív színezék családot, valamint két színezési technológiát. A két család összehasonlításakor kiderült, hogy a színezék megkötött színezék hiányad hogyan hat a színezés környezetterhelésére, illetve arra, hogy gazdaságilag melyik színezékcsaládot érdemes használni.

Vizsgáltuk a kihúzásos és a hideg-pihentetési technológia megvalósítási lehetőségeit, azok környezetterhelését, valamint a környezetvédelmi költségeket.

A kihúzásos színezési technológia esetén bemutatásra került a színezék megkötődésének függése az alkalmazott segédanyagok mennyiségétől. A növekvő adalék mennyiséget szembeállítottuk a csökkenő színezék veszteséggel, és ennek figyelembevételével kerültek megállapításra a megfelelő színezési paraméterek.

A hideg-pihentetési eljárás elemzése kiterjedt a kémhatás szerepének vizsgálatára, valamint a megfelelő pihentetési idő meghatározására.

2. A vizsgált színezékek

A CLARIANT cég által forgalmazott *DRIMAREN* reaktív színezékek „K”- és „HF-CL”- családjának egyes színezékegyedek vizsgáltuk. A „K” színezékcsalád mono-funkciós reaktív színezékeket tartalmaz, a „HF-CL” csoportban pedig a CLARIANT legújabb fejlesztésű bifunkciós színezékei vannak.

A dokumentációk szerint a „K” és a „HF” színezékek kovalensen kapcsolódnak a cellulóz-alapú szálanyagokhoz és alkalmazhatóak kihúzásos és teltetési eljárásokban is. Nagy reaktivitásúak, hidegen színező eljárásokban használhatók. Kihúzásos eljárásban az optimális megkötődési hőmérséklet 60 °C (színezőprogram: Standard 40/60°C).

A „K” színezékek leírása szerint a halvány és közepes színek esetén a Yellow K-2R jelű- Red K-4BL jelű- Blue K-2RL jelű színezékhármas használata ajánlott. A mély színekre pedig a Yellow K-2R - Red K-8B - Navy K-BNN kombináció a legjobb. A „HF-CL” család alkalmazásakor halvány és közepes színekhez a Yellow CL-2R - Red CL-5B - Blue HF-RL megoldás a gazdaságos, míg mély árnyalatokra a Yellow CL-2R - Red HF-3B, CL-5B - Navy HF-GN, HF-B variáció javasolt [CLARIANT 2010].

3. Elemzési módszerek

3.1. A CLARIANT színezés optimáló programja

A színezési kísérleteket a CLARIANT cég szoftverével szimuláltuk. A program a *DRIMAREN* színezékek minőségi jellemzői és a színezés technológiai paraméterei között létesít kapcsolatot. A program működésének alapját elvégzett színezési kísérletek képezik, amelyekben az egyes színezékegyedek megkötődését vizsgálták adott szálanyagon, adott technológiai paraméterek mellett.

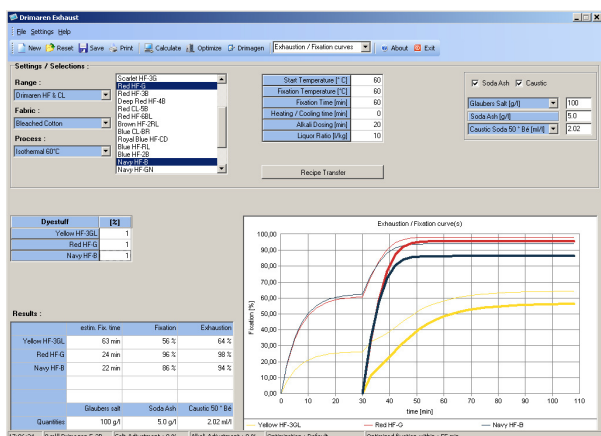
A felsorolt színezékegyedek alkalmazhatóságát kihúzásos és hideg-pihentetési technológiában vizsgáltuk, továbbá a technológiai paramétereket, valamint a megkötődő színezékhiányadot különböző színmélységek esetén optimáltuk (1. ábra).

3.2. Szennyvíz-elemző program

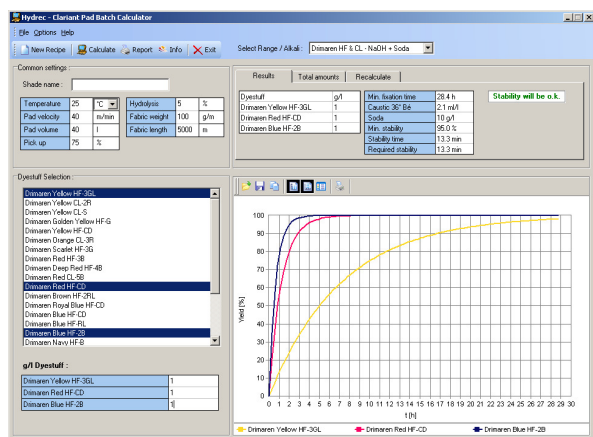
A CLARIANT Exhaust és Pad Batch programok (1. ábra) a színezés optimális körülményeinek meghatározásában segítettek. A környezetvédelmi elemzésekhez azonban fontos az egyes színezési technológiákhoz tartozó környezetterhelés ismerete is. Ezért szükség volt egy olyan programra is, amely a színezés technológiai paramétereiből kiszámíthatja a képződő szennyvíz jellemzőit. A programot Őrsi Kálmán környezetmérnök BSc szakos hallgató készítette.

A vizsgált szennyvíz-jellemzők:

- a keletkező szennyvíz mennyisége (öblítővízzel/nélkül) [m³],
- pH,
- színezék koncentráció [g/l],
- elektrolit koncentráció [g/l],
- alkália koncentráció [g/l],
- kémiai oxigénigény (KOI) [mg/l],



a) CLARIANT DRIMAREN Exhaust program



b) CLARIANT Pad Batch Calculator program

1. ábra

- biokémiai oxigénigény (BOI) [mg/l],
- összes sótartalom [mg/l],
- szulfáttartalom [mg/l].

A felsoroltak közül a legfontosabb a kémiai oxigénigény, valamint az összes sókoncentráció.

Az elkészített program a 2. ábrán látható. A beadandó paraméterek az alkalmazott technológia, a használt színezék(ek), az egyes színezékek megkötődés értékei (amelyeket a CLARIANT programokkal kapunk meg), az textilá tömege, adalékanyag mennyiségek, egyéb paraméterek (fürdőarány, kipréselés mértéke).

3.2.1. Szennyvíz-kibocsátási határértékek

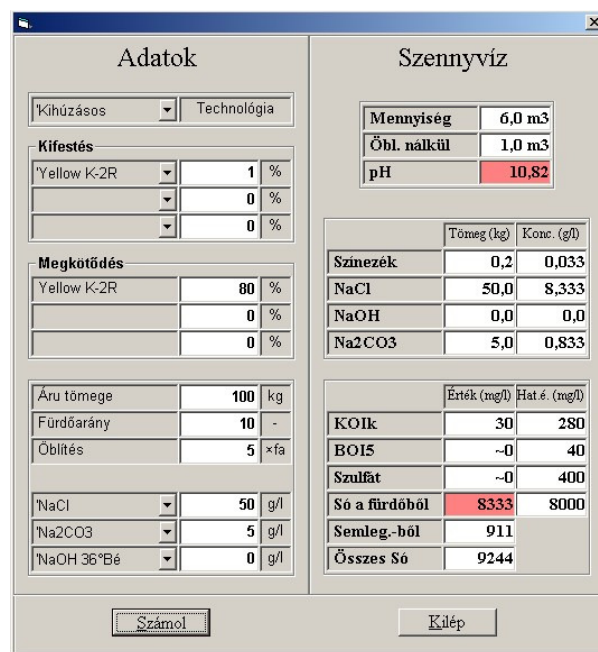
A kibocsátott szennyvíz minőségét határértékek határozzák meg. A szennyvíz minőségére vonatkozó előírásokat, illetve határértékeket a 28/2004-es KvVM rendelet tartalmazza, amely iparáganként határozza meg a megengedhető értékeket. A textiliparban használt határértékek közül azok, amelyek a színezés során várhatóan megközelíthetik a határértékeket a 1. táblázatban szerepelnek (28/2004 – 15. fejezet).

3.2.2. A szennyvízkezelés költségértékelése

A textilszínező üzemek számára az a legkedvezőbb, ha a kívánt minőség biztosítása mellett a színezés költsége a legkisebb.

A színezés paraméter-függő költségei a következők:

- anyagköltségek: színezékek, segédanyagok (elektrolitok, alkáliak, egalizálószer, nedvesítőszer)



2. ábra

ára, szennyvíz kezeléséhez szükséges vegyszerek (semlegesítés, kémiai oxidáció) ára,

- a berendezések üzemeltetési költségei (hőmérséklet program – felfűtés)
- környezetvédelmi költségek: szennyvíztisztítás (határérték), környezethasználati díjak, esetleges bírságok
- a céltermékkel kapcsolatos minőségi követelmények.

Az előzők figyelembevételével megvizsgáltuk, hogy egy adott színezékekkel végzett színezési eljárás milyen környezetterheléssel jár, valamint a különböző alternatívák közül melyik költsége a legalacsonyabb.

1. táblázat: Kibocsátási határértékek

Megnevezés	Mértékegység	Minősített pont-minta vagy 2 órás átlag minta
Dikromátos oxigén fogyasztás (KOI _k)	mg/l	280
Ötnapos biokémiai oxigénigény (BOI ₅)	mg/l	40
Összes só	mg/l	8000
Szulfát	mg/l	400

4. Az eredmények és értékelésük

4.1. A kihúzatásos színező eljárásra vonatkozó értékelés

Az egyes színezékegyedre vonatkozóan három színmélység (Standard Depth(SD)=1/1, 1/3, 1/9) esetén vizsgáltuk az eljárások környezetterhelését kihúzatásos technológia alkalmazásakor. Az elemzés menetét a DRIMAREN Yellow K-2R, illetve a DRIMAREN Yellow CL-2R színezék példáján mutatjuk be.

4.1.1. Az elektrolit adagolás hatása a környezetterhelésre

Az SD 1/1-es színmélység eléréséhez a DRIMAREN Yellow K-2R színezék használatakor a CLARIANT kihúzáshoz 2,0 %-os színezést javasol, ekkor a várható megkötődés 79 %-os.

A színezék megkötődés – szennyvíz színezék koncentráció összefüggés egyenlete elméleti úton meghatározható a következő megfontolások szerint:

Az adott színmélységhez „X” g/kg textília színezék megkötődése szükséges.

Adott megkötődéshez tartozó színezési hányad:

$$K = \frac{X/10}{M/100} \quad (1.1)$$

ahol

K a színezési (%)

M a megkötött színezékhányad (%)

A szennyvízbe kerülő színezék összes tömege:

$$\begin{aligned} Sz_m &= \dot{A} \cdot K \cdot (1 - M/100) = \\ &= \dot{A} \cdot \frac{X/10}{M/100} \cdot (1 - M/100) = \\ &= \dot{A} \cdot X \cdot \frac{100 - M}{M} \end{aligned} \quad (1.2)$$

ahol

Sz_m a teljes színezék veszteség (kg),

\dot{A} a textília tömege (kg).

Koncentrációban kifejezve:

$$Sz_c = \frac{Sz_m}{V} = \frac{Sz_m}{\dot{A} \cdot F \cdot (1 + \ddot{O})} = \frac{X}{F \cdot (1 + \ddot{O})} \cdot \frac{100 - M}{M} \quad (1.3)$$

ahol

Sz_c a színezék koncentráció a szennyvízben (g/l),

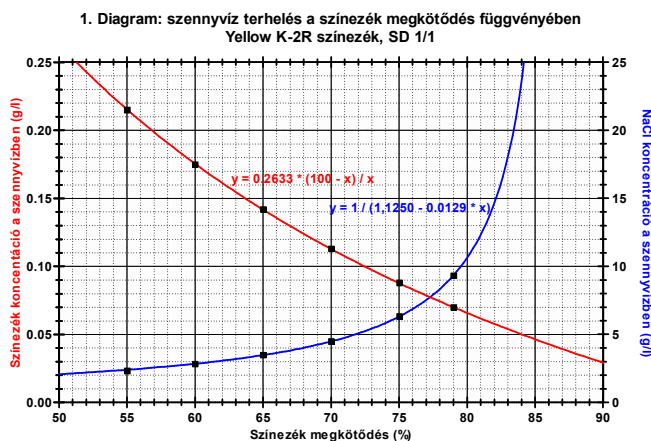
F a fürdőarány (%),

\ddot{O} az öblítővíz és színezőfürdő mennyiségeinek hányadosa (-).

Az 1.3 egyenlet alakja jelen esetben:

$$Sz_c = \frac{15,8}{10 \cdot (1 + 5)} \cdot \frac{100 - M}{M} = 0,2633 \cdot \frac{100 - M}{M} \quad (1.4)$$

A színezék megkötődés és a szennyvíz só tartalom



3. ábra. A DRIMAREN Yellow K-2R színezék szennyvízterhelése a megkötődés függvényében, SD 1/1

közi összefüggés színezékenként változik. A Yellow K-2R színezékekkel végzett SD 1/1 színezés esetén a következő egyenlet illeszthető a kísérleti eredményekre (3. ábra):

$$Só_c = \frac{1}{1,1250 - 0,0129 \cdot M} = \frac{75}{87 - M} \quad (1.5)$$

ahol $Só_c$ a sókoncentráció a szennyvízben.

A függvények segítségével kiszámítható az optimális színezék megkötődés, amiből a megkötődés – sókoncentráció összefüggés segítségével kiszámítható az optimális sóigény. Az optimalás jelentheti a költségek, vagy a káros anyag kibocsátás minimalizálását.

a) A költségek minimalizálása

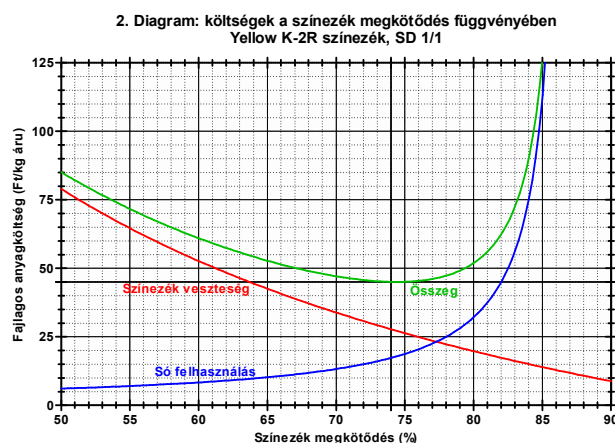
A 1.4 és 1.5 egyenleteket megszorozva a fajlagos anyagköltségekkel valamint az 1 kg textília színezésekor képződő szennyvíztérfogattal, megkapjuk a megkötődés – fajlagos anyagköltség függvényeket (só, színezék veszteség költsége 1 kg textiliára). Ezután azt a színezék megkötődést keressük meg, amelyhez a két anyagköltség függvény összegének minimum értéke tartozik. Azaz a következő függvény minimum helyét keressük (4. ábra):

$$\begin{aligned} Ktg_{\text{ÁRU}}(M) &= Ktg_{\text{SZ}} \cdot F \cdot (1 + \ddot{O}) \cdot 0,2633 \cdot \frac{100 - M}{M} + \\ &+ Ktg_{\text{SÓ}} \cdot F \cdot (1 + \ddot{O}) \cdot \frac{75}{87 - M} \end{aligned} \quad (1.6)$$

A reaktív színezékek árának az átlagos 5000 Ft/kg, míg a só árának 50 Ft/kg értéket választva és beírva a fürdőarány és öblítés értékeit, a 4.5 egyenlet így alakul:

$$\begin{aligned} Ktg_{\text{ÁRU}}(M) &= \frac{5000}{1000} \cdot 10 \cdot (1 + 5) \cdot 0,2633 \cdot \frac{100 - M}{M} + \\ &+ \frac{50}{1000} \cdot 10 \cdot (1 + 5) \cdot \frac{75}{87 - M} \\ Ktg_{\text{ÁRU}}(M) &= 79 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{225}{87 - M} \end{aligned} \quad (1.7)$$

A textilanyagokra vonatkozó fajlagos anyagköltségek



4. ábra. A DRIMAREN Yellow K-2R színezék költségigénye a megkötődés függvényében. SD 1/1

függvényeit mutatja be a 4. Ábra, amelyből kitűnik, hogy a minimális költség 74 %-os megkötődéshez tartozik: 45 Ft/kg textília. Az ekkor szükséges só mennyisége:

$$Só_c \cdot (1 + \ddot{O}) = \frac{75}{87 - M} \cdot (1 + \ddot{O}) = \frac{75}{87 - 74} \cdot (1 + 5) = 34,6 \text{ g/l.}$$

A kapott költség nem tartalmazza a textilián megkötődött színezék árát, mivel azonban ez SD 1/1-es színmélység esetén mindig azonos, ezért nem játszik szerepet az optimalásban. 1 kg anyagon 15,8 g színezék kötődik meg, ami 79 Ft-tal növeli az anyagköltséget textil kilogrammonként. Így a teljes anyag költség minimális értéke: $45 + 79 = 124 \text{ Ft/kg}$ textília.

Összefoglalva a Yellow K-2R színezék használatakor SD 1/1-es színmélység esetén gazdaságossági vonatkozásban az a legjobb megoldás, ha a színező oldat 34,6 g/l koncentrációban tartalmaz nátrium-kloridot. Ekkor $158/74 = 2,14\%$ -os a kifestés és a teljes anyagköltség **124 Ft/kg**.

b) A környezetvédelmi optimalás

Környezetvédelmi szempontból az a legjobb megoldás, amikor mind a színezék, mind a só mennyisége minimális a szennyvízben. A minimalizáláshoz a kibocsátási határértékeket használtuk fel (A szennyvíz só- illetve színezék-tartalmát ez esetben a határértékek százalékában fejeztük ki.) A színezék esetén a koncentrációval egyenes arányban lévő kémiai oxigénigényt (KOI) használtuk. A határértékek a következők: Összes sóra 8000 mg/l, KOI-ra 280 mg/l. A százalékos terhelést kifejező függvények a következők (felhasználva a 1.4 és 1.5 egyenleteket):

$$S_{z\%} = 100 \cdot \frac{S_{z_c} \cdot KOI_{Fajl}}{280} = 26,33 \cdot \frac{(100 - M)}{M} \cdot \frac{929}{280} = 87,36 \cdot \frac{100 - M}{M} \quad (1.8)$$

$$Só_{\%} = 100 \cdot \frac{75}{87 - M} \cdot \frac{1000}{8000} = \frac{937,5}{87 - M} \quad (1.9)$$

ahol: $S_{z\%}$ a szennyvíz KOI terhelése a határérték százalékában, $Só_{\%}$ a szennyvíz só terhelése a határérték százalékában.

Az optimum keresése során arra törekedtünk, hogy az előbbi függvények átlaga minimális legyen, azaz a következő függvény minimum helyét kerestük:

$$T_A = 43,7 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{469}{87 - M} \quad (1.10)$$

ahol T_A az átlagos terhelés (%).

Az átlagos terhelés tehát a szennyvíz KOI és só terhelésének határérték százalékában kifejezett (%) átlaga (5. ábra).

A diagramról leolvasható optimális megkötődés 66 %. Ennél a megkötődésnél az átlagos szennyvízterhelés 45 %, míg a CLARIANT-programban javasolt technológia szerinti 79 %-os megkötődés esetén ez az érték 72 %. Az anyagköltség (színezék veszteség + só) 66 %-os megkötődésnél 52 Ft/kg textília, ami csak 2 Ft-tal több a 79 %-os megkötődés esetén felmerülő anyagköltség-nél. A diagramról az is látható, hogy 78 % feletti meg-

kötődés esetén az összes sóra vonatkozó határérték nem teljesíthető.

Összefoglalva a legkisebb „költségűhöz” képest a „leginkább környezetbarát” megoldás 7 forinttal kerül többbe (+5 %), azonban a környezetterhelés 27 %-kal kisebb az utóbbi megoldásnál!

Hasonló eredményekre jutottunk az SD=1/3-as és az SD=1/9-es színmélységű szimuláció esetén is.

4.1.2. A fürdőarány hatása a környezetterhelésre

Mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból kedvező, ha minél kisebb a folyadékarány.

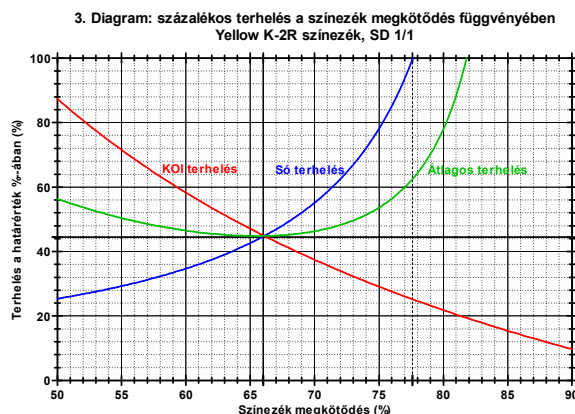
A folyadékarány csökkenésével egyrészt csökken a vízfelhasználás és ezáltal kevesebb szennyvíz is keletkezik, másrészt csökken a segédanyag felhasználás, mivel azoknak a koncentrációja adott egy-egy technológiában. A szükséges színezék azonban mennyiségében állandó, mivel azt a termék tömegére kell számolni. Így a fürdő töményebb lesz színezék oldalról, ami megnöveli a szennyvíz szerves anyag terhelését. Ezt kompenzálhatja, hogy a fürdőarány csökkentés növeli a színezék megkötődés mértékét. A fürdőarány csökkentésnek természetesen gátat szab a minimális folyadékarány, ami szükséges a minőség biztosításához. A töményebb színezőfürdő miatt a színezési paramétereket nehezebb állandó értéken tartani és a színezés egyenlőtlenebbé válhat. Ezek alapján a folyadékarány értékét, ha lehet, érdemes csökkenteni.

4.1.3. A DRIMAREN Yellow monofunkciós „K”, valamint a bifunkciós „HF-CL” színezékek összehasonlítása kihúzatásos színezés esetén

A két színezék család elektrolit igényének összehasonlításához a Yellow K-2R és a Yellow CL-2R színezékeket használtuk. A 4.1.1-es fejezetben leírt, a Yellow K-2R színezéken végzett elemzést a Yellow CL-2R színezéken is elvégeztük és a kapott adatok alapján a két színezéket összehasonlítottuk (6. ábra).

A 2. táblázat adataiból jól látható, hogy a bifunkciós „CL” színezékekkel mindhárom színmélység esetén nagyobb megkötődés érhető el, amely valószínűleg a bifunkcionalitásának köszönhető. Emellett a „HF-CL” színezékekkel a fajlagos anyagköltség – mindhárom színmélység esetén – kisebb, mint a „K” színezéknél, tehát érdemesebb a „HF-CL” típust használni, különösen

2. táblázat. A mono- és bifunkciós Yellow színezékek



5. ábra. A DRIMAREN Yellow K-2R színezék környezetterhelése a határértékek %-ában kifejezve a megkötődés függvényében, SD 1/1

2. Táblázat: A mono- és bifunkciós Yellow színezékek gazdasági optimumai kihúzatásos színezés esetén

Színmélység →	SD 1/1		SD 1/3		SD 1/9	
Színezék →	Yellow K-2R	Yellow CL-5B	Yellow K-2R	Yellow CL-5B	Yellow K-2R	Yellow CL-5B
Színezék megkötődés (%)	74	89	70	81	62	70
Átlagos terhelés (%)	51	51	25	22	14	11
Só terhelés (%)	72	93	37	39	23	20
KOI terhelés (%)	31	8	12	5	6	3
Fajlagos anyag költség (Ft/kg)	124	102	46	39	20	16

halványabb színek esetén.

Ha a színező üzem a költség-minimalizálásra törekszik, akkor az SD 1/1-es színmélységű sárga színt a „HF-CL” típusú színezékekkel 22 Ft-tal olcsóbban tudja előállítani, mint a „K” színezékekkel. Mindkét színezék felhasználása 51 %-os környezetterhelést okoz.

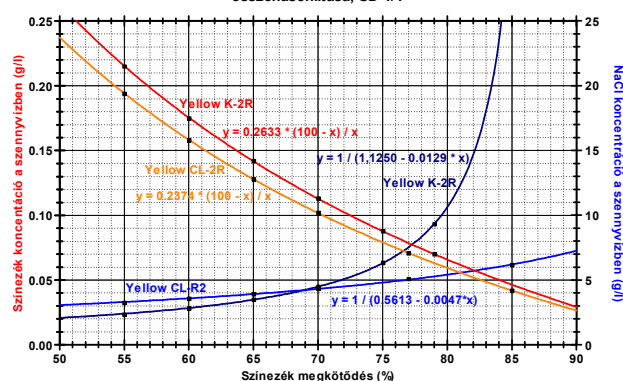
A közepes és kis színmélység esetén csökkennek a költségek és mindhárom színmélység esetében a „HF” színezékek fajlagos anyagköltségei kisebbek. Az SD 1/1-es színmélység esetén 18 %-kal, SD 1/3-as színmélység esetén 15 %-kal, SD 1/9 esetén pedig 20 %-kal olcsóbb a „HF-CL” színezékekkel történő színezés, miközben az átlagos környezetterhelések közötti különbség sosem nagyobb, mint 3 %.

A környezetvédelmi optimumokat összehasonlítva megállapítható, hogy nincs számottevő különbség (<5%) a két színezék átlagos terhelése között, viszont az anyagköltségek alapján ebben az esetben is a „HF-CL” színezéket érdemes alkalmazni (3. táblázat). Ha az átlagos környezetterhelést szétbontjuk KOI és só terhelésre, akkor már nagyobb eltérés mutatkozik a két színezék között. A „K” színezék használatakor egyenletesebben oszlik meg a szennyvízterhelés a színezék és a só komponensek között. A „HF-CL” színezékek esetén a százalékos só terhelés nagyobb, mint a KOI terhelés.

3. Táblázat: A mono- és bifunkciós Yellow színezékek környezetterhelési optimumai kihúzatásos színezés esetén

Színmélység →	SD 1/1		SD 1/3		SD 1/9	
Színezék →	Yellow K-2R	Yellow CL-5B	Yellow K-2R	Yellow CL-5B	Yellow K-2R	Yellow CL-5B
Színezék megkötődés (%)	66	71	60	63	50	52
Átlagos terhelés (%)	45	40	21	18	12	9
Só terhelés (%)	45	55	23	23	15	12
KOI terhelés (%)	45	26	19	12	10	6
Fajlagos anyag költség (Ft/kg)	130	113	49	44	21	18

11. Diagram: Yellow K-2R és Yellow CL-2R színezékek összehasonlítása, SD 1/1



6. ábra. A DRIMAREN Yellow színezékek összehasonlítása

Mélyebb színekkel történő színezéskor a „HF-CL” színezékek használata nagyobb só terhelést jelenthet, mint a „K” színezékeké. Persze ez nem azt jelenti, hogy a „HF-CL” színezékekhez több só kell, csak azt, hogy érdemesebb növelni a só koncentrációt, illetve a kémhatást mert ezzel jól növelhető a színezék megkötődése.

Összefoglalva: A „HF-CL” színezékek használatát elsősorban gazdaságossági szempontok indokolják. A színezékek átlagos környezetterhelése kis eltérést mutat.

4.2. Hideg-pihentetési eljárás

Az egyes színezékegyedeknél három színmélység (Standard Depth(SD)=1/1, 1/3, 1/9) esetén vizsgáltuk az eljárások környezetterhelését hideg-pihentetési technológia alkalmazásakor is.

Az elemzés menetét a DRIMAREN Blue K-2RL, illetve DRIMAREN Blue HF-RL színezék példáján mutatjuk be.

A hideg-pihentetési eljárásban, ellentétben a kihúzásos technológiával, nincs mód a megkötődés szabályozásra az elektrolit mennyiségének változtatásával. Itt ugyanis a színezék megkötődését elsősorban a tárolás időtartama határozza meg. Minden színezés esetén létezik egy minimális pihentetési idő, amely mindenképpen szükséges a színtartósság biztosításához. Hideg-pihentetési eljárásnál nincs szükség elektrolitra, az alkália mennyisége azonban jelentős befolyással van a szükséges pihentetési időtartamra. A lúgosság növelése lerövidíti a szükséges pihentetési időtartamot, mivel azonban ez az időtartam nem lehet rövidebb a minimálisnál, így egy maximális alkália mennyiség határozható meg, amely felett romlik a színtartósság. Létezik egy minimális alkália mennyiség is, amely mindenképpen szükséges.

Itt tehát nincs mód a 4.1 fejezetben leírtakhoz hasonló optimalizálásra, ebben az esetben az alkália minőségére és mennyiségére lehet javaslatokat tenni.

4.2.1. Az alkália minőség hatása a színezésre

A CLARIANT Pad Batch program kétféle alkália kombinációval számol. Az egyikben nátrium-hidroxid és nátrium-karbonát, a másikban nátrium-hidroxid és nátrium-szilikát szerepel.

A következő paraméterek az összehasonlíthatóság érdekében minden hideg-pihentetési eljárásban azonosak:

- a textília folyómétersúlya: 100 g/m,
- a textília hossza: 1000 m,
- oldat felvétel: 100 %,
- kád térfogat: 40 l,
- hőmérséklet: 25 °C.

Azaz 100 kg textíliát színezünk, amihez összesen 140 l színező oldat kell. A DRIMAREN Blue K-2RL színezék leírásában megtalálható ajánlott színezék koncentrációk és a várható megkötődések értékei a 4. táblázatban láthatók.

4. táblázat: Javasolt színezék mennyiségek

Színmélység	SD 1/1	SD 1/3	SD 1/9
Színezék koncentráció (g/l)	75	18	5
Várható megkötődés (%)	80	85	90

Mindhárom színmélységhez két eljárás tartozik, az elsőt a nátrium-karbonát, a másodikban pedig nátrium-hidroxid és nátrium-szilikát biztosítja a lúgos közeget. Az összehasonlítás érdekében mindegyik eljárásnál 24 órás pihentetéshez határoztunk meg a szükséges alkália mennyiséget. A színezék megkötődés időfüggése mind a hat esetben ugyanazzal a görbével jellemezhető (7. ábra).

Annak eldöntésére, hogy környezetvédelmi szempontból melyik alkália kombináció alkalmazása a kedvezőbb, a szennyvíz semlegesítéséből képződő só mennyiség szolgáltat információt. A semlegesítéshez sósavat feltételezve, a képződő só mennyiségeket a 7. ábrán szemléltettük. Az ábrán látható, hogy az SD 1/1-es színmélységhez a nátrium-hidroxid / nátrium-szilikát kombináció választása az előnyösebb környezetvédelmi szempontból, az SD 1/3-as és SD 1/9-es színmélységekhez viszont a nátrium-karbonát használata jóval kisebb terhelést jelent, mint a szilikátos megoldás.

Összefoglalva elmondható, hogy a hideg-pihentetési eljárásban képződő szennyvíz sótartalma elsősorban a lúgtartalom semlegesítéséből származik. Ez a só mennyiség mind a határértékhez, mind a kihűzéses technológiára jellemző sótartalomhoz képest kicsi érték, mindkét lúgosítás esetén.

Összehasonlítva a két lúgosítási módot, megállapítható, hogy létezik egy olyan színmélység, amelynél

mélyebb színek esetén a nátrium-karbonát, halványabb színek esetén pedig a nátrium-hidroxid / szilikát használata a jobb.

4.2.2. Az alkália mennyiség hatása a színezésre

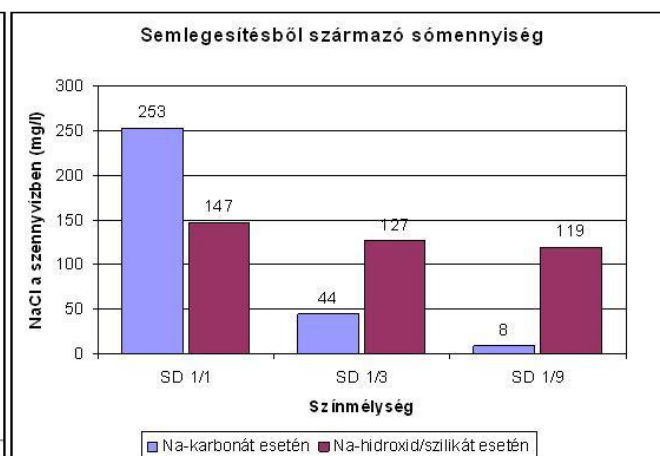
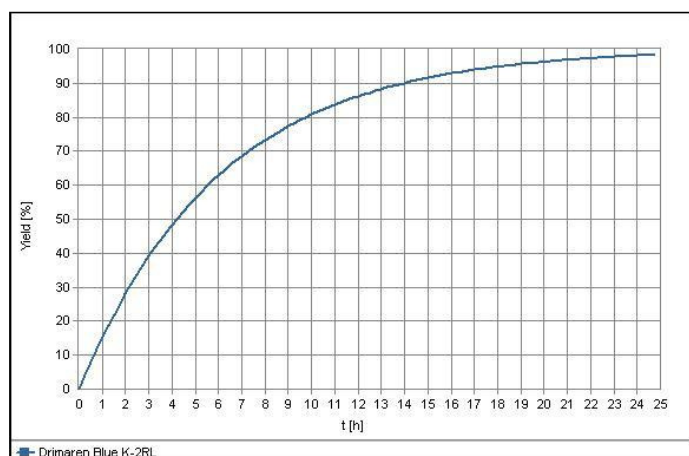
Környezetvédelmi szempontból természetesen az lenne a legjobb, ha a színezőfürdő kémhatása minél közelebb állna a semlegeshez. Így azonban a szükséges tárolási idő nagyon hosszúra nyúlik. Mivel az alkália mennyiségét tekintve nem található optimum pont, a kívánt pihentetési időből kell meghatározni azt. Azaz pontosan annyi alkália szükséges, amellyel a színezék-megkötődés a tárolási idő végére éri el a maximumát, nem pedig jóval hamarabb. A pihentetési idő meghatározásakor célszerű időegységeket használni, például 3 h, 6 h, 12 h, 24 h stb. A „K” színezékek használatakor célszerű a 24 órás pihentetési idő választása.

4.2.3. A DRIMAREN Blue monofunkciós „K”, valamint a bifunkciós „HF” színezékek összehasonlítása hideg-pihentetési eljárás esetén

A Blue HF-RL színezék alkália igénye nagyobb, mint a Blue K-2RL színezéké. Ebben az esetben, a kezdetben választott 24 órás pihentetési idő hosszabb, mint a minimális alkália mennyiség esetén szükséges tárolási idő. Itt 9 órás pihentetés tűnik megfelelőnek. A számított eredményeink alapján elmondható, hogy a nátrium-hidroxid / szilikát használata mindig kevesebb só-terheléssel jár.

A Blue K-2RL és a Blue HF-RL környezetvédelmi összehasonlításához a só- és KOI terhelések használhatók fel. A 5. táblázatban együtt láthatók a két színezék só- és KOI terhelései. Az eredmények összevetéséből megállapítható, hogy nincs nagy eltérés a két színezék KOI terhelése közt. A só terhelések között az SD 1/3-as és SD 1/9-es színmélységek esetén jelentős különbségek vannak. A „K” színezék terhelése mindkét esetben jóval kisebb. Ennek oka, hogy a „HF” színezékek esetén, magasabb pH szükséges. A határértékekhez viszonyítva azonban a szennyvíz só-tartalma mindkét színezék esetén csak töredéke a megengedett maximális értéknek.

Összefoglalva tehát mind a „K”, mind a „HF” a színezékek használata környezetvédelmi szempontból megfelelő, azonban a „HF” színezékek rövidebb pihente-



7. ábra. A DRIMAREN Blue K-2RL színezék megkötődése és a semlegesített szennyvíz sótartalma hideg-pihentetési színezés esetén

tési időt igényelnek, így gazdaságosabban alkalmazhatók.

5. táblázat. A DRIMAREN Blue színezékek összehasonlítása

Pihentetés időtartama	Blue K-2RL 24 óra		Blue HF-RL 9 óra	
	Só (mg/l)	KOI (mg/l)	Só (mg/l)	KOI (mg/l)
SD 1/1-es színmélység	147	1400	129	1171
SD 1/3-es színmélység	44	350	117	331
SD 1/9-es színmélység	8	101	114	94

4.3. A kihúzásos és a hideg-pihentetéses eljárások összehasonlítása

Az előzőek alapján látható, hogy a kihúzásos és a hideg-pihentetéses technológiák által termelt szennyvíz a szennyező komponensek mennyiségében jelentősen eltér egymástól. A kihúzásos eljárás nagy mennyiségű só szennyezést eredményez, miközben a szerves anyag terhelése nem haladja meg a határértéket. A hideg-pihentetéses eljárás só szempontjából igen kedvező megoldás (szinte nulla só-terheléssel), azonban a szennyvíz nagy mennyiségű színezéket tartalmaz. A KOI értékek a mély és közepes színek esetén szinte mindig meghaladják a határértéket. Gazdasági szempontjából a hideg-pihentetéses eljárás előnye a nagy termelékenység, kevesebb színező oldat- és adalékanyag-igény, azonban színezékből jóval több kell, mint a kihúzásos eljárásnál, ezáltal jóval több a színezék veszteség is. A kihúzásos eljárás hátránya a nagyméretű színező berendezés.

Környezetvédelmi szempontból a szennyvíz-terhelések összevetése segít meghatározni a legkedvezőbb megoldást. Az optimalizált kihúzásos és hideg-pihentetéses eljárások költségigényét, valamint környezetterheléseit összehasonlítottuk, az eredményeinket a Blue K-2RL, illetve Blue HF-RL színezékek példáján keresztül mutatjuk be SD 1/1-es és 1/9-es színmélység mellett.

a) SD 1/1-es színmélység

Az átlagos terhelés és fajlagos anyagköltség függvények alakjai a következők:

Blue K-2RL esetén:

$$T_A = 85 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{244}{84 - M} + 1,5;$$

$$Ktg_{\text{ÁRU}}(M) = 178 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{117}{84 - M} + 182. \quad (1.11)$$

Az optimum pont: 72 %-os megkötődés, 55 %-os terhelés, 261 Ft/kg.

Blue HF-RL esetén:

$$T_A = 66 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{775}{102 - M} + 1,8$$

$$Ktg_{\text{ÁRU}}(M) = 114 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{372}{102 - M} + 120. \quad (1.12)$$

Az optimum pont: 76 %-os megkötődés, 52 %-os terhelés, 170 Ft/kg.

6. táblázat: Technológiák összehasonlítása, SD 1/1

Technológia →	Blue K-2RL színezék		Blue HF-RL színezék	
	Kihúzásos	Hideg-pihentetéses	Kihúzásos	Hideg-pihentetéses
Átlagos terhelés (%)	55	250	52	210
KOI terhelés (mg/l)	185	1400	117	1171
Só terhelés (mg/l)	3253	253	4770	129
Anyagköltség (Ft/kg)	261	375	170	245

A 6. táblázatban összefoglalva láthatók a két technológia jellemző paraméterei.

Az adatok alapján megállapítható, hogy a hideg-pihentetéses technológia sokkal nagyobb terheléssel jár, mint a kihúzásos technológia. Ennek oka a nagy KOI terhelés. A határértéket meghaladó szerves anyag mennyiség miatt a szennyvíz nagymértékű tisztításra szorul, ami jelentősen növeli a költségeket. Azonban a hideg-pihentetéses eljárásból származó só emisszió kiváló, így a szennyvíztisztítás után a szennyvíz jobb minőségű lesz, mint a kihúzásos technológiából származó szennyvíz. A költségek tekintetében, megállapítható, hogy a kihúzásos technológia fajlagos anyagköltségei jóval alacsonyabbak, mint a hideg-pihentetéses eljárásé, és a keletkező szennyvíz nem szorul kezelésre.

b) SD 1/9-es színmélység

Az átlagos terhelés és a fajlagos költség függvények egyenletei:

Blue K-2RL esetén:

$$T_A = 9,4 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{81}{84 - M};$$

$$Ktg_{\text{ÁRU}}(M) = 19,7 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{39}{84 - M} + 20. \quad (1.13)$$

Az optimum pont: 57 %-os megkötődés, 10 %-os terhelés, 36 Ft/kg.

Blue HF-RL esetén:

$$T_A = 7,3 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{244}{102 - M};$$

$$Ktg_{\text{ÁRU}}(M) = 12,6 \cdot \frac{100 - M}{M} + \frac{117}{102 - M} + 13. \quad (1.14)$$

Az optimum pont: 65 %-os megkötődés, 10 %-os terhelés, 23 Ft/kg.

A 7. táblázatban összefoglalva láthatóak a két technológia jellemző paraméterei. A táblázat alapján a hideg-pihentetéses technológiák környezetvédelmi szempontból is megfelelőek, nem szükséges a szennyvíz tisztítása. Az anyagköltségek közel azonosak, így mivel a hideg-pihentetéses technológia nagyobb termelékenységű, mint a kihúzásos, ezért halvány színek esetén a hideg-pihentetéses megoldást célszerű választani.

7. táblázat. Technológiák összehasonlítása, SD 1/9

Technológia →	Blue K-2RL színezék		Blue HF-RL színezék	
	Kihúzásos	Hideg-pihentetés	Kihúzásos	Hideg-pihentetés
Átlagos terhelés (%)	10	19	10	17
KOI terhelés (mg/l)	40	101	22	94
Só terhelés (mg/l)	480	119	1050	114
Anyagköltség (Ft/kg)	36	25	23	20

5. Összefoglalás

A textilszínezés környezetvédelmi vonatkozásban végzett vizsgálata során olyan módszerek kerültek bemutatásra, melyek segítségével, gazdasági megfontolásokat is figyelembe véve mérlegelni lehet, milyen reak-

tív színezési technológiát célszerű választani. A vizsgálat két színező eljárás elemzésére terjedt ki, és az eljárások optimális paramétereinek meghatározásával összehasonlítottuk két reaktív színezékcsalád környezet-terhelését és költségtényezőit különböző színmélységek alkalmazása esetén.

6. Irodalomjegyzék

- [Al-Kdasi 2004] Al-Kdasi A., Idris A., Saed K., Guan C.T.: Treatment Of Textile Waste Water By Advanced Oxidation Processes – A Review, **The GLOBAL NEST: the International Journal** (2004) **6**. 222-230.
- [Allègre 2006] Allègre C., Moulin P., Maisseu M., Charbit F.: Treatment and reuse of reactive dyeing effluents, **Journal of Membrane Science**, (2006) **269**. 15-34.
- [CLARIANT 2010] Clariant színezékek - belső anyag
- [Peters 1995] Peters A.T., Klaus A.J., Griffiths J., Czajkowsky W.S., Carr K., Chorlton A.P., Bradbury R., Barni E., Savarino P., Viscardi G., Naef R.: **Modern Colorants, Synthesis and Structure**, Chapman & Hall, (1995) 239-253.