

A folyadékkristályok felfedezése (1889) után hosszú évtizedekig még a tudósok sem hitték, hogy valaha is sor kerülhet ezen anyagok gyakorlati alkalmazására. Még a 60-as évek végén, az első folyadékkristály kijelzők megjelenésekor sem jósoltak sokan nekik nagy jövőt. Az élet azonban rácafoltt a kételkedőkre. A folyadékkristályokból készülő, kis feszültséggel működő, kis fogyasztású információ megjelenítőknak a hordozható elektronikus eszközökben ma már szinte nincs is versenytársa.

A folyadékkristályok sajátos fizikai tulajdonságaik [1–3] révén szinte kimeríthetetlenül gazdagok olyan fizikai jelenségekben, melyek alkalmazásra találhatnak az optoelektronikában. Ezekből szeretnénk ízelítőt nyújtani, bemutatva, hogyan működnek azok a folyadékkristály kijelzők, melyekkel nap mint nap találkozhatunk. A kijelzők a folyadékkristályok csak egyik (bár jelenleg kétségtelenül a legfontosabb és legelterjedtebb) felhasználási területének számítanak, az egyéb (elsősorban jövőbeli) optikai, optoelektronikai alkalmazásokra is mutatunk példákat.

A folyadékkristály kijelzők

A folyadékkristály kijelzők (LCD, Liquid Crystal Display) olyan eszközök, melyek a rájuk kapcsolt elektromos feszültség hatására megváltoztatják fényáteresztő (vagy fényvisszaverő) képességüket [4]. A bennük felhasznált folyadékkristályok megnyúlt, pálcika alakú molekulákból álló vegyületek. A folyadékkristály állapotban e molekulák hossz tengelyei egymással hozzávetőleg párhuzamosan állnak, e makroszkopikusan kitüntetett beállást (irányt) az n direktorral jellemezhetjük. Az irányrendezettség következtében a folyadékkristályok fizikai tulajdonságai is irányfüggőek lesznek, és tulajdonképpen ez teszi lehetővé a gyakorlati alkalmazásukat.

A folyadékkristály kijelzők tipikus felépítése az 1. ábrán látható. A 1,5–15 μm vastag folyadékkristály réteg az átlátszó elektróddal ellátott üveglapok között helyezkedik el. Az elektródokon található orientáló bevonatokkal a határoló felületen a direktort akár a felülettel párhuzamosan (*planáris orientáció*), akár arra merőlegesen (*homeotróp orientáció*) rögzíteni tudjuk, sőt a felülethez képest dőlt direktor helyzetet is megvalósíthatunk.

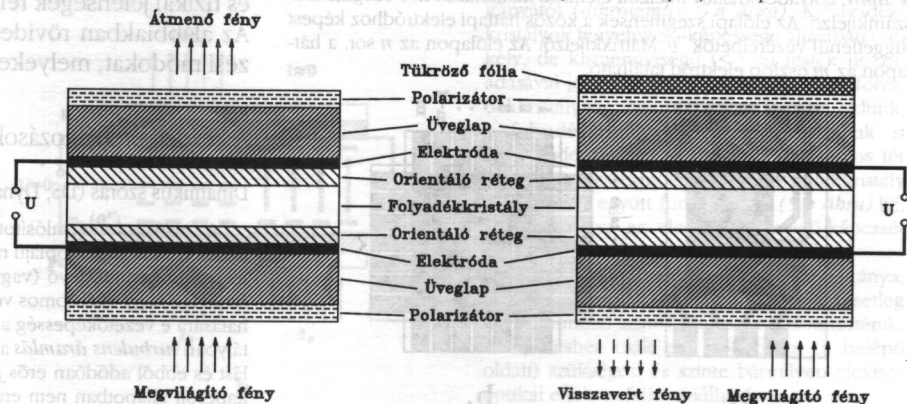
Az irányrendezettségből adódóan a folyadékkristályok szabadenergiája minimumának általában – például a *nematikus* (N) fázisban – térben állandó di-

rektor, egyes *királis* folyadékkristályokban – *koleszterikus* (Ch) és *csavart szmektikus C** (SmC*) fázisok – viszont csavarszerkezet felel meg [1–3]. A direktor e helyfüggésének megváltozása a szabadenergia növekedésével jár, a térben változó irányú direktorra ezért rugalmas forgatónyomaték hat, ami a deformáció (a direktor gradiens) mértékének csökkentésére törekszik. Következésképpen a felületi orientáció a feszültségmentes állapotban a kijelző belsejében kialakuló direktoreloszlást is meghatározza.

Az irányrendezettség további következménye, hogy a folyadékkristályok anizotróp anyagok, így permittivitásuk különböző a direktorral párhuzamos (ϵ_{\parallel}), illetve arra merőleges (ϵ_{\perp}) irányban. A folyadékkristályok viselkedését elektromos térben a *dielektromos anizotrópia* ($\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$) szabályozza. Az elektromos térerősség forgatónyomatéka pozitív $\Delta\epsilon$ esetében a tér irányába, negatív $\Delta\epsilon$ esetében a térre merőleges helyzetbe törekszik forgatni a direktort. A határoló felületek stabilizáló hatása miatt a minta belsejében a direktor iránya csak a folyadékkristály kijelzőre jellemző U_k küszöbértéket meghaladó feszültség hatására változik meg, ekkor a cella bekapcsol. A folyadékkristályban ténylegesen kialakuló direktoreloszlást a kitérítő elektromos és a visszatérítő rugalmas forgatónyomatékok egyensúlya határozza meg. Az elektromos feszültség megszűnésekor a rugalmas forgatónyomatékok hatására visszaáll a felületi orientációnak megfelelő (kikapcsolt) alapállapot.

Mint ahogy a direktor egyúttal a folyadékkristály *optikai tengelye* is, a direktor elfordulása a cella optikai tulajdonságainak megváltozásával jár. Ezt általában a cella elé és mögé helyezett, az üveglapokra felragasztott polarizátor fóliák teszik láthatóvá. A kijelző így elektromosan vezérelt fényszелеpként működik. Ha a kilépő oldali polarizátor mögé tükröző felületet (például alufóliát) teszünk (1. ábra), a kijelző reflexiós üzemben működik, ekkor a visszavert fény intenzitása függ a feszültségtől.

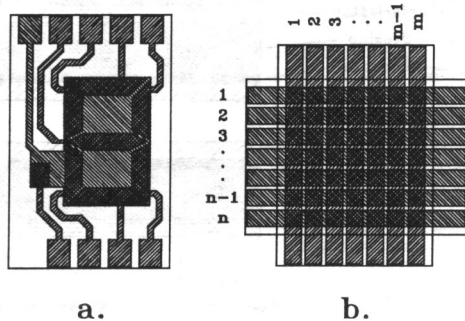
1. ábra. Transzmissziós (baloldalt) és reflexiós (jobbaldalt) folyadékkristály kijelző tipikus szerkezete.



táblázat										
Folyadékkristály kijelzők főbb típusai										
Folyadékkristály kijelző típusa	Év	Fázis	Optikai effektus	Orientáció	Vastagság	Optikai úthossz	Polarizátorok	$U = 0$ állapot	$U > U_k$ állapot	Dielektromos anizotrópia
Dinamikus szórás (DS) [5]	1968	N	fényszórás	planáris homeotróp	15–25 μm		nincs	átlátszó	fényszóró	$\Delta\epsilon < 0, \Delta\sigma > 0$
Ch–N fázisváltás (PC) [7]	1969	Ch	fényszórás	homeotróp			nincs	fényszóró	átlátszó	$\Delta\epsilon > 0$
Elektromosan vezérelt kettőtörés (ECB) [8]	1971	N	kettőtörés	homeotróp	~5 μm	1 μm	0°, 90°	sötét	világos	$\Delta\epsilon < 0$
Dikroikus (GH) [9]	1969	N	dikroizmus (elnyelés)	planáris	6–10 μm		1 db	színes	színtelen	$\Delta\epsilon > 0$
Csavar nematikus (TN) [10]	1971	N	polarizáció forgatás	planáris 90° csavar	6–10 μm	0,48 μm 1,09 μm	0°, 90° (0°, 0°)	fehér (fekete)	fekete (fehér)	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (SBE) [13]	1984	Ch	kettőtörés	kissé dőlt 270° csavar	~5 μm	0,9 μm	-30°, 60° (60°, 60°)	sárgás (kékés)	fekete (fehér)	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (STN) [14]	1986	Ch	kettőtörés	planáris 180° csavar	~5 μm	0,95 μm	45°, 45°	fekete	sárgás	$\Delta\epsilon > 0$
Supertwist (OMI) [15]	1987	Ch	kettőtörés	planáris 180° csavar	~5 μm	0,5 μm	0°, 90°	fehér	fekete	$\Delta\epsilon > 0$
Kétrétegű supertwist (DSTN) [16]	1987	Ch	kettőtörés	2 planáris $\pm 270^\circ$ csavar	2x~5 μm	0 μm	0°, 90°	fekete	fehér	$\Delta\epsilon > 0$
Ferroelektromos (SSFLC) [18]	1980	SmC*	kettőtörés	planáris	1,3–2,6 μm	0,26 μm	0°, 90°	$U < 0$ sötét	$U > 0$ világos	P_s
Antiferroelektromos (AFLC) [19]	1990	SmC _A *	kettőtörés	planáris			0°, 90°	sötét	világos	P_s
Polimer diszperziós (PDLC) [20]	1986	N	fényszórás	cseppek polimerben	~20 μm		nincs	fényszóró	átlátszó	$\Delta\epsilon > 0$
Királis szmektikus A* (EC) [21]	1987	SmA*	kettőtörés	planáris			-22,5°, 77,5°	fénymodulátor		„electroclinic”
Deformált csavar (DH) [22]	1989	SmC*	kettőtörés	planáris			0°, 90°	fénymodulátor		P_s

A kijelzőn megjeleníthető szám, szöveg vagy ábra az elektródok kiképzésétől, alakjától függ. A legegyszerűbb esetben az egyik felületen az elektródokat egymástól függetlenül egyidejűleg vezérelhető szegmensekre osztják (2.a ábra), így számok (esetleg betűk is) megjeleníthetők. Tetszőleges alakzatok, ábrák megjelenítéséhez úgynevezett mátrixkijelzőt kell használnunk, melyben n sorban és m oszlopban összesen $n \cdot m$ képelem található.

2. ábra. Folyadékkristály kijelzők elektród kialakítása. a. 7-segmenses számkijelző. Az előlapi szegmensek a közös hátlapi elektródhoz képest függetlenül vezérelhetők. b. Mátrixkijelző. Az előlapon az n sor, a hátlapon az m oszlop elektród található.



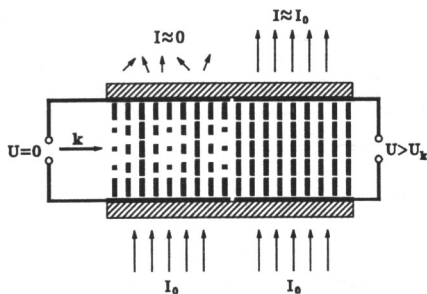
tó. E kijelzőkben az elektródok az egyik határoló lapon vízszintesen (sorok), a másikon függőlegesen (oszlopok) húzódó csíkok (2.b ábra). Egy képelem be- illetve kikapcsolása a hozzá tartozó sor és oszlop kivezetésekre egyidejűleg adott alkalmas feszültséggel történhet. Ily módon viszont a teljes kijelző vezérlése csak időosztásos (multiplex) alapon, soronkénti letapogatással történhet meg [4].

A fenti általános működési elvet különböző felépítésű cellákkal, eltérő tulajdonságú folyadékkristály anyagok és fizikai jelenségek felhasználásával lehet megvalósítani. Az alábbiakban röviden áttekintjük a legfontosabb kijelzési módokat, melyeket a táblázatban is összefoglaltuk.

A kezdeti próbálkozások

Dinamikus szórás (DS, Dynamic Scattering)

Az elsőként megvalósított kijelzők homeotróp orientációjú, negatív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristályt tartalmaztak [5], melyek a bennük levő (vagy hozzáadott) ionos szennyezők révén viszonylag nagy elektromos vezetőképességgel rendelkeztek. Feszültség hatására e vezetőképesség anizotrópiája következtében a folyadékkristályban turbulens áramlás alakult ki [6], ami inhomogén direktoreloszlást és ebből adódóan erős fényszórást eredményezett. A cella így bekapcsolt állapotban nem engedte át, kikapcsolt állapotban viszont át-



3. ábra. Koleszterikus–nematikus „fázisváltó” kijelző direktoreloszlása. Feszültségmentes ($U = 0$) állapotban (baloldalt) szórja a fényt ($I \approx 0$, átlátszatlan), bekapcsolt ($U > U_k$) állapotban (jobbaldalt) átlátszó. k a koleszterikus csavartengelye, I_0 a beeső, I a kilépő fény intenzitása.

eresztette a fényt. Bár e kijelzési módhoz nincs szükség polarizátorokra, magasabb ($U_k > 10$ V) küszöbfeszültségük, nagyobb áramfelvételük és rövidebb élettartamuk miatt e kijelzők mára már eltűntek a piacról.

Koleszterikus–nematikus „fázisváltás” (PC, Phase Change)

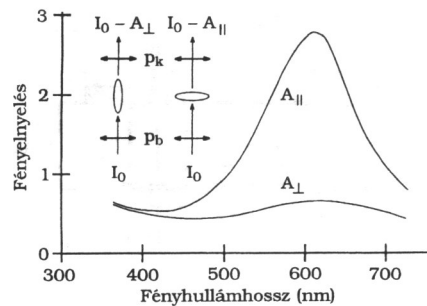
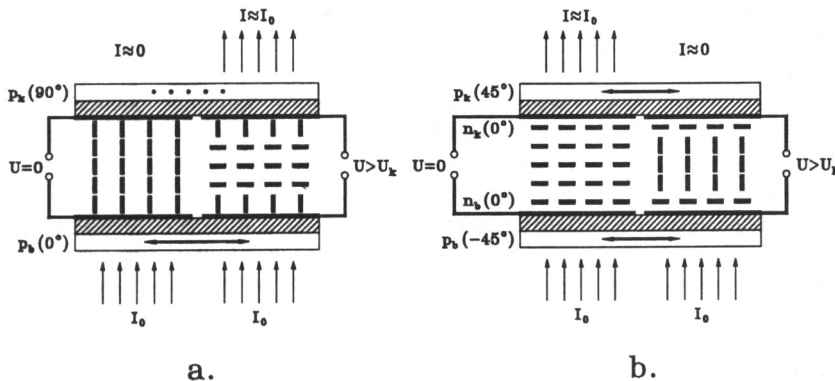
Ez a kijelzőtípus a koleszterikus folyadékkristályok csavarszerkezetére épül. A homeotróp felületi orientáció biztosítja, hogy a feszültségmentes állapotban a koleszterikus csavartengelye a felülettel párhuzamos legyen (3. ábra). Ekkor a direktor a mintában a csavarállandónak megfelelő néhány μm periodicitással változik, ami fényszórást eredményez, a kikapcsolt állapot tehát átlátszatlan. Elég nagy elektromos térben a direktor befordul mindenhol a tér irányába ($\Delta\epsilon > 0$), így a csavarszerkezet és vele a fényszórás eltűnik, a cella átlátszóvá válik [7]. Ekkor a cellában olyan a direktoreloszlás, mintha tükrörszimmetrikus, nematikus folyadékkristályt tartalmazna. Polarizátorokra itt sincs szükség, de a nagy küszöbfeszültség ($U_k > 20$ V) miatt e kijelzőtípus nem terjedt el.

Elektromosan vezérelt kettőtörés (ECB, Electrically Controlled Birefringence)

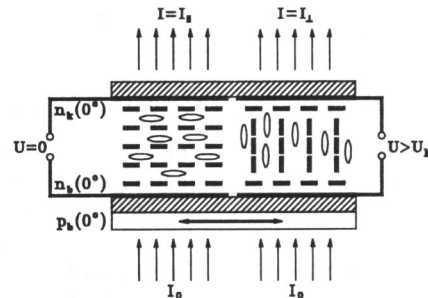
A homeotróp orientációjú nematikus folyadékkristályban a fény a direktor (az optikai tengely) irányában halad, így keresztezett (egymásra merőleges irányú, $p_b \perp p_k$) polarizátorok esetén kioltást kapunk ($I \approx 0$, 4.a. ábra). Ha a feszültség hatására a direktor a térre merőleges irányba hajlik ki ($\Delta\epsilon < 0$), a folyadékkristály kettőtörése miatt az áthaladó fény lineárisból elliptikusan polarizálttá válik. A keresztezett polarizátorokon ekkor átjutó

$$I = I_0 \sin^2(2\psi) \sin^2\left(\pi \frac{\Delta s}{\lambda}\right) \quad (1)$$

4. ábra. Elektromosan vezérelt kettőtörésű kijelző direktoreloszlása. a. Homeotróp orientáció. A feszültségmentes ($U = 0$) állapot (baloldalt) sötét, a bekapcsolt ($U > U_k$) állapot (jobbaldalt) világos. b. Planáris orientáció. A feszültségmentes ($U = 0$) állapot (baloldalt) világos, a bekapcsolt ($U > U_k$) állapot (jobbaldalt) sötét. I_0 a beeső, I a kilépő fény intenzitása. p_b és n_b a belépő oldali polarizátor és direktor, p_k és n_k a kilépő oldali polarizátor és direktor iránya, zárójelben az azimutuszöveget adjuk meg.



5.a ábra. Dikroikus festék fényelnyelése (önkéntes egységben). Ha a p_b fénypolarizáció a festékmolekula hossztengelére merőleges, a fényelnyelés közel hullámhosszfüggetlen (A_{\perp}), az átengedett fény fehér. A festékmolekula tengelyével párhuzamos fénypolarizációnál a fényelnyelés erősen hullámhosszfüggő (A_{\parallel}), az átengedett fény színes. I_0 a beeső fehér fény intenzitása.



5.b ábra. Dikroikus kijelző direktoreloszlása. Az ellipszisek a festékmolekulákat jelképezik. A feszültségmentes ($U = 0$) állapotban (baloldalt) a cella színes ($I = I_0$) a bekapcsolt ($U > U_k$) állapotban (jobbaldalt) a cella színtelen ($I = I_1$).

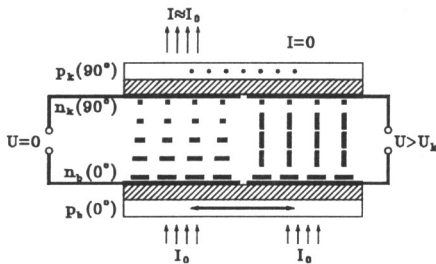
intenzitás a kijelző $\Delta s = \Delta n \cdot d$ optikai úthosszkülönbségétől, a fény λ hullámhosszától, valamint az optikai tengelynek a belépő oldali polarizátorral (p_b) bezárt ψ szögétől függ (d a folyadékkristály réteg vastagsága, Δn a törésmutató anizotrópiája). A cellaparaméterek alkalmas megválasztása esetén a bekapcsolt állapot fényáteresztő [8].

Hasonló jelenséget találunk planárisan orientált, pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus esetében (4.b ábra), csak ezúttal a bekapcsolt állapotban (a tér a direktort a felületre merőleges irányba forgatja be) kapunk kioltást és a kikapcsolt állapot lehet Δs értékétől függően fényáteresztő. Mindkét esetben a kijelző kontrasztja nagyon érzékeny a cella esetleges vastagságváltozásaira, ezért e kijelzőtípus sem terjedt el.

Dikroikus kijelző (GH, Guest-Host)

A festékek színüket annak köszönhetik, hogy a fény bizonyos hullámhossztartományát elnyelik. Egyes hosszúságú festékmolekulák esetében e fényelnyelés függ a fény polarizációjának és a festékmolekula tengelyének kölcsönös irányától (dikroizmus, 5.a ábra). A folyadékkristályok fényelnyelő-képessége általában csekély, de kismennyiségű (< 5%) festék hozzáadásával jelentősen megnövelhető. Ha a folyadékkristályban ilyen dikroikus festéket oldunk, a folyadékkristály irányrendezettséget kölcsönöz. Elektromos tér hatására a festékmolekulák a folyadékkristály direktorával együtt fordulnak el (5.b ábra) [9], megváltoztatva az elegy fényelnyelő-képességét, illetve annak hullámhosszfüggését.

E kijelzési mód előnye és egyúttal hátránya, hogy a kapcsolás színes és színtelen (esetleg két különböző színű) állapotok között történik. A kijelzéshez csak egy polarizátor (a belépő oldali) szükséges, és szinte bármilyen elektrooptikai effektus felhasználható.



6. ábra. Csavart nematikus kijelző direktoreloszlása. A direktor 90° -ot csavarodik. A feszültségmentes ($U = 0$) állapot (baloldalt) világos, a bekapcsolt ($U > U_k$) állapot (jobbaldalt) sötét. I_0 a beeső, I a kilépő fény intenzitása. p_b és n_b a belépő oldali polarizátor és direktor, p_k és n_k a kilépő oldali polarizátor és direktor iránya, zárójelben az azimutshögeket adjuk meg.

A jelenleg használt kijelzőtípusok

Csavart nematikus kijelző (TN, Twisted Nematic)

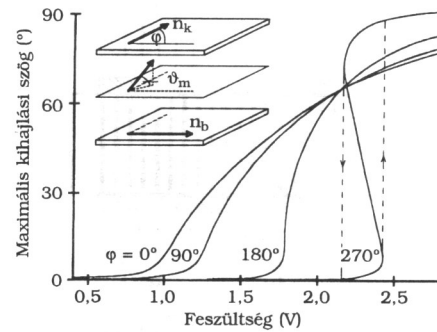
A csavart nematikus kijelző felépítését a 6. ábrán mutatjuk be [10]. Az orientáló rétegek planáris orientációt biztosítanak, de a direktor iránya a két határfelületen (n_b illetve n_k) egymással 90° szöget zár be. A polarizátor fóliák (p_b illetve p_k) mindkét felületen csak a direktorral párhuzamos polarizációjú fényt engedik át.

Kikapcsolt állapotban a felületi orientáció hatására a folyadékkristály rétegben a direktor 90 fokkal elcsavarodik és eközben az anyagba belépő lineárisan polarizált fény polarizációsíkját magával forgatja. Így a kilépő oldali polarizátoron (p_k) a teljes fényintenzitás átmehet. Bekapcsolt állapotban az elektromos tér a pozitív dielektromos anizotrópiájú ($\Delta\epsilon > 0$) nematikus folyadékkristály direktorát a felületekre merőleges irányba forgatja. Ezáltal a fény polarizációsíkjának elfordulása megszűnik, így a cellán fény már nem juthat át.

A csavart nematikus kijelző alacsony küszöbfeszültséggel ($U_k \approx 1-2$ V) rendelkezik, jó a kontrasztja és paraméterei érzéketlenek a cellavastagság változásával szemben. Egyszerűen, nagy sorozatban (évi sok milliós darabszámban) gyárthatók, így vitathatatlanul e kijelzési mód a legelterjedtebb, a kis felbontású 7-szegmenses számkijelzők (órák, kalkulátorok, műszerek, ...) piacán gyakorlatilag egyeduralgok.

Aktív mátrix kijelzők

Már az első folyadékkristály kijelzők megjelenésekor felcsillant a lapos televízió képernyő megvalósíthatóságának reménye. Élvezhető tv-kép megjelenítéséhez azonban legalább 400×300 (de inkább több) képelemből álló mátrixkijelzőt kell készíteni. A multiplex vezérlés lényegéből adódik, hogy egy képelem mind a kikapcsolt, mind a bekapcsolt állapotban feszültség alatt van [4], e feszültségek különbsége pedig, akárcsak a bekapcsolást előidéző feszültségimpulzus hossza, fordítottan arányos a multiplexelt sorok számával. A kijelző csak akkor használható, ha a képelem e rövid impulzus alatt is megbízhatóan bekapcsolható, továbbá ha a ki- és a bekapcsolt állapotok között elég nagy a kontraszt. A fentebb bemu-



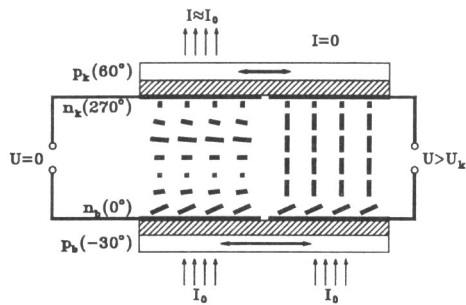
7. ábra. A direktor ϑ_m maximális kihajlási szögének számított feszültségfüggése planáris cellán különböző φ csavarodási szögek esetében. $\varphi = 270^\circ$ esetében a kihajlási szög a szaggatott vonalak mentén ugrászerűen változik. n_b illetve n_k a direktor iránya a két határfelületen.

tatott első generációs kijelzési módoknál e feltételek nem teljesültek, mert a küszöbfeszültség felett a cella fényát eresztő-képessége a feszültséggel csak lassan változik és a kapcsolási idők is meglehetősen hosszúak.

A megoldást a félvezető és a folyadékkristály technológiák összeházasítása hozta. Az egyik üveglapra felvitt félvezető rétegbe integrálhatunk minden képelemhez egy diódát [11] vagy tranzisztort [12], melynek kimenete lesz a cella egyik elektródja. A multiplex vezérlés (címezés) során e félvezető kapcsolóelem ad vagy nem ad feszültséget a folyadékkristályra. A folyadékkristály tehát minden egyes képelemnél közvetlen vezérlést érez, így alkalmazható a jól bevált csavart nematikus kijelzési mód is. A manapság kapható folyadékkristályos zsebtelvíziók (10–15 cm alatti képátló) szinte kivétel nélkül ezen aktív mátrix vezérlést használják. Sajnos e technológia elég bonyolult és drága, különösen, ha a képernyő méretét növelni szeretnénk.

Supertwist kijelzők

A folyadékkristály kijelzők multiplexelhetősége nagymértékben javulhat (és ezáltal a képelemek száma növelhető), ha meredekebb fényáteresztés-feszültség karakterisztikájú elektrooptikai effektust használunk. E *transzfer karakterisztika* meredekségét elsősorban az U feszültség hatására bekövetkező deformáció mértéke, azaz a direktor ϑ_m maximális kihajlási szögének feszültségfüggése határozza meg ($U < U_k$ esetén $\vartheta_m = 0^\circ$, $U \gg U_k$ esetén $\vartheta_m = 90^\circ$). A számítások megmutatták (7. ábra), hogy a planáris nematikus geometriában a direktornak a felületek közötti φ csavarodási szögét 90° -ról 180° -ra növelve e karakterisztika meredeksége lényegesen megnő, sőt $\varphi = 270^\circ$ esetén a cella bistabillá válik, kapcsolási hiszterézis jelenik meg. Pusztán a felületi orientáció segítségével azonban ilyen nagy csavarodási szögeket nematikus folyadékkristályokban nem lehet létrehozni, például párhuzamosan orientált felületek esetén $\varphi = 180^\circ$ csavar helyett csavarmentes ($\varphi = 0^\circ$) direktoreloszlást kapnánk. E *supertwist* kijelzőkben ezért olyan kolesterikus folyadékkristályokat kell alkalmazni, melyek csavarállandója illeszkedik a mintavastagsághoz és a megkívánt φ csavarodási szöghöz. Ezeket nematikus folyadékkristályokból királis adalékok segítségével állítják elő.



8. ábra. Supertwist (SBE) kijelző direktoreloszlása. A direktor 270° -ot csavarodik, a felületéknél a direktor dőlésszöge $\approx 20^\circ$. A feszültségmentes ($U = 0$) állapot (baloldalt) világos, a bekapcsolt ($U > U_p$) állapot (jobbaldalt) sötét. I_0 a beeső, I_a kilépő fény intenzitása. p_k és n_k a belépő oldali polarizátor és direktor, p_k és n_k a kilépő oldali polarizátor és direktor iránya, zárójelben az azimutuszöveget adjuk meg.

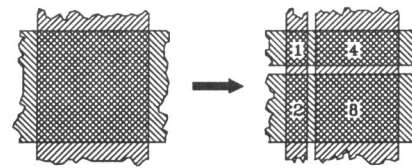
Mivel a nagyobb csavarodási szög következtében a direktor-deformáció karakterisztikus távolsága lecsökkent a csavart nematikus kijelzőkéhez képest (a direktorgradiens megnőtt), a supertwist cellában a fényterjedési viszonyok sokkal bonyolultabbá válnak, a polarizációs elfordulása mellett a kettőtörés is fontos szerepet játszik. Ez is magyarázza, hogy a supertwist kijelzőknek a 8. ábrán bemutatott típusa (SBE, Super Birefringence Effect [13]) mellett egyéb változatai (STN, Supertwisted Nematic [14], OMI, Optical Mode Interference [15]) is léteznek, melyek elsősorban a ϕ szög nagyságában és a polarizátor fóliák optikailis irányában különböznek egymástól.

Egyes supertwist kijelzőknél (SBE, STN) problémát jelent, hogy a kettőtörés miatt a cella fényáteresztő-képessége hullámhosszfüggő, így az egyik állapot általában kissé színes. A polarizátorok beállításától függően a cella fekete és világossárga, vagy fehér és sötétkék állapotok között kapcsol. Ezt kiküszöbölendő az úgynevezett *kétrétegű supertwist kijelzőkben* (DSTN, Double Supertwisted Nematic) a kijelzőcella és a polarizátor közé egy kompenzáló kettőtörő réteg kerül [16], ami lehet alkalmas polimér fólia, vagy egy második supertwist cella, melyet nem vezérelnek és melyben a direktor az elsőhöz képest ellenkező irányba csavarodik. Így lehetővé válik a ténylegesen fehér (színtelen) és fekete állapotok közötti kapcsolás, ami a színes grafikus képernyők készítéséhez elengedhetetlen. Ugyanezt a hatást lehetett elérni a kijelző Δs optikai úthosszkülönbségének csökkentésével (OMI változat), amit a kisebb törésmutató anizotrópiával rendelkező folyadékkristályok előállításával tett lehetővé.

Bár a supertwist kijelzők technológiája a csavart nematikuséhoz képest bonyolult (megköveteli a mintavastagság igen pontos értéken tartását), közvetlen multiplexelhetőségük miatt még mindig egyszerűbben és olcsóbban gyárthatók, mint az aktív mátrix képernyők. Így a supertwist kijelzők a *hordozható (lap-top) számítógépek nagyméretű és nagyfelbontású (VGA) képernyőjeként* egyre jobban terjednek.

Szürke árnyalatok megjelenítése

Bár a kijelzési módok bemutatásánál mindeddig azt hangsúlyoztuk, hogyan lehet nagy kontraszttal elkülönülő ki- illetve bekapcsolt állapotokat létrehozni, ilyen kétállapotú rendszerek csak a legegyszerűbb kijelzési feladatokra lennének alkalmasak. Számítógép vagy tv képernyőjén a fehér és a fekete közötti közbülső *szürke árnyalatokat* is meg kell jeleníteni. Ezt annál könnyebben tehetjük meg, minél laposabb a kijelző transzfer karakterisztikája. Ekkor az egyes szürke szintekhez ugyanis hozzárendelhető a megfelelő feszültség, csak a karakterisztika hőmérsékletfüggésének kompenzálására kell gondot fordítani. A lapos transzfer karakterisztika ugyanakkor,



9. ábra. Szürke szintek előállítása a képelem több részre osztásával. A rendre 1, 2, 4 és 8 egységnyi területű részek vezérlésével a bekapcsolt terület 0 és 15 között 1 egységnyi lépésekkel változtatható, így az eredeti 2 (fehér és fekete) helyett összesen 16 szint valósítható meg.

mint korábban láttuk, a kijelző multiplexelhetőségét gátolja, ez az út tehát csak aktív mátrix kijelzőkben járható.

A hiszterézissel rendelkező bistabil kijelzőknél a fenti analóg módszerrel szürke szintek nem állíthatók elő, mert a közbülső állapotok teljesen hiányoznak. Ilyen esetekben az *emberi szem időbeli és térbeli átlagoló képességét* kihasználó trükkök segíthetnek. Ha az egymás utáni képekben egy adott képelem felváltva kikapcsolt illetve bekapcsolt állapotban van, elegendően gyors képváltás esetén szürkének látjuk. Nyilvánvaló, hogy $n+1$ különböző szürke szint eléréséhez a képváltási frekvenciát n -szeresére kellene növelni, ami a ki- és bekapcsolási időkre tekintettel legfeljebb a később bemutatandó gyors ferroelektromos kijelzők esetén tűnik járható útnak.

Jobb eredményt érhetünk el az elektródok mintázatának megváltoztatásával. A sorok és oszlopok számának megduplázásával minden képelemet négy, nem egyforma (például 1, 2, 4 és 8 egység) területű részre oszthatunk (9. ábra). Ezek független vezérlésével a térbeli átlagolás miatt máris 16 szürke szintet kaphatunk. Ezáltal ugyan finomabb elektródrajzolatra, több kivezetésre és nagyobb multiplexelhetőségre van szükség, de a technológia korlátai ezt még lehetővé teszik.

Színes kijelzés folyadékkristályokkal

A fent bemutatott folyadékkristály kijelzési módok többségükben közvetlenül csak *fehér-fehér megjelenítésre* alkalmasak. A supertwist kijelzők esetleges színe csak a konstrukcióból adódó parazita hatás, mely nem változtatható és a dikroikus kijelzők is csak egy szín bekapcsolását, vagy legfeljebb két különböző színű állapot átkapcsolását teszik lehetővé.

A spontán csavarszerkezettel rendelkező koleszterikus folyadékkristályok önmagukban színesek, ha csavarállandójuk a látható fény hullámhossztartományába esik. Elektromos tér hatására e csavarállandó megnövekszik, miáltal a folyadékkristály színe a kéktől a vörös felé tolódik el. Alkalmas anyagválasztás esetén így a színek és a feszültség között teremthetünk kapcsolatot. A csavarállandó erős hőmérsékletfüggése miatt azonban ezen jelenség elektrooptikai kijelző készítésére nem vált be, míg hőmérsékleteloszlások feltérképezésére sikeresen használható. A színes folyadékkristály zsebtélevízió megvalósítását így csak a színkeverési technikák tették lehetővé.

Különbőségi színkeverés esetén három, különböző festéket tartalmazó, dikroikus kijelzőt helyezünk egymás mögé a megvilágító fehér fény útjába (10.a ábra). E cellák átkapcsolhatók a színtelen (fényáteresztő) és a rendre cian, bíbor és sárga színű állapotok között, így a fényt vagy átén-

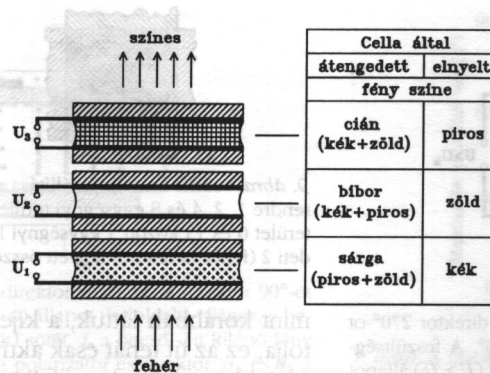
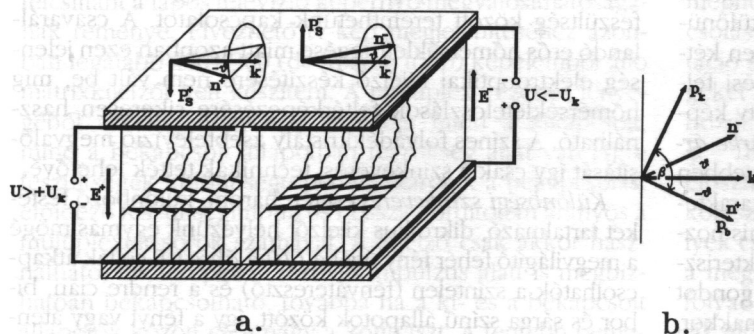
gedik, vagy belőle elnyelik rendre a piros, zöld illetve kék színtartományt. E megoldással ugyan tetszőleges színek megjeleníthetők, de mivel a fény három cellán is áthalad, az intenzitás lecsökken, a kijelző fényszegény lesz. Emellett a cellák pontos pozicionálása is gondokat okozhat.

A hagyományos tévéképcsövekben *additív színkeverést* alkalmaznak, a színárnyalatok három, egymás mellett elhelyezkedő, alapszínű (kék, zöld és piros) pont által kibocsátott fény összegzéséből származnak. A folyadékkristály kijelzők saját fényt ugyan nem bocsátanak ki, de *színszűrők* alkalmazásával e színkeverési technika is adaptálható. A három alapszínnek megfelelő színszűrőket fotolitográfiai úton viszik fel (például csíkokban) a kijelző elektródjára (10.b ábra). E módszerrel bármilyen fekete-fehér folyadékkristály kijelzési mód (például a csavart nematikus vagy a supertwist) színessé tehető. Hátránya, hogy a fekete-fehér kijelzőhöz képest háromszorosára nő a szükséges képelemek száma, mert az egyes alapszínekhez tartozó képelemeket egymástól függetlenül kell címezni. Mindez azonban nem okoz komoly technikai nehézséget, amit a már néhány éve forgalomban lévő *színes zsebtelevíziók és lap-top számítógép képernyők* bizonyítanak.

Video kivetítők

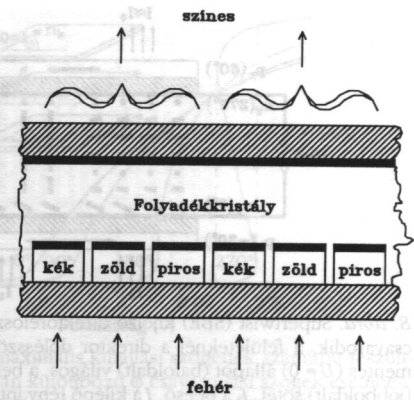
Előadótermekben gyakran merül fel az igény, hogy a televízió vagy számítógép képét nagyméretű ernyőre kivetítsék. A folyadékkristály kijelzők felépítésükből adódóan ideálisak ilyen video kivetítők készítéséhez, hiszen az

11. ábra. Felületstabilizált ferroelektromos folyadékkristály kijelző. a. A direktorelosztás pozitív ($U > +U_b$, baloldalt) és negatív ($U < -U_b$, jobboldalt) cellafeszültség esetén. A szmektikus rétegek a felületre merőlegesek, a direktor a felülettel párhuzamos. b. A polarizátorok optimális beállítása (felülnézet). Az egyik polarizátor (\mathbf{p}_a) az \mathbf{n}^+ direktorral párhuzamos, a másik (\mathbf{p}_k) rá merőleges ($\beta = 90^\circ$). Pozitív feszültségnél a cella sötét, negatív feszültségnél pedig világos. \mathbf{k} a szmektikus rétegnormális; ϑ a direktor és a rétegnormális közötti dőlésszög; \mathbf{n}^+ , \mathbf{E}^+ és \mathbf{P}_s^+ , illetve \mathbf{n}^- , \mathbf{E}^- és \mathbf{P}_s^- a direktor, az elektromos tér és a spontán polarizáció iránya pozitív illetve negatív feszültségnél.



a.

10. ábra. Színes kijelzés folyadékkristályokkal. a. Különbőségi színkeverés 3 dikroikus cellával. Az egymástól függetlenül vezérelhető cellák bekapcsolt állapotban színtelenek, a fényt átengedik, kikapcsolt állapotban viszont az egyes alapszíneket elnyelik. b. Additív színkeverés mátrixkijelzőben az üveghordozóra litografált alapszínű színszűrők segítségével. Az elektród mintázata a színszűrőkével egybeesik, így az alapszínek egymástól függetlenül kapcsolhatók.



b.

elektromos tér a cellán átmenő fény intenzitását változtatja meg. Így elegendő egy kicsi méretű folyadékkristály mátrixkijelzőt intenzív fényforrással megvilágítani és alkalmas optikával az ernyőre leképezni. Három (fekete-fehér) kijelző és alkalmas színszűrők felhasználásával a színes kivetítés is egyszerűen megoldható. A felbontást a kijelző, a képméretet a használt optika és fényforrás határozza meg.

A jövő kijelzői

Felületstabilizált ferroelektromos kijelző (SSFLC, Surface Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal)

A fent ismertetett, nematikus és koleszterikus folyadékkristályokra épülő kijelzők egyik nagy hátránya, hogy viszonylag lassúak, a bekapcsolási idejük az anyagtól és a használt feszültségtől függően 3–100 ms, kikapcsolási idejük pedig általában még hosszabb, 20–300 ms. Ez az egyik oka annak, hogy a folyadékkristály zsebtelevíziók felbontása (a képelemek száma) még nem éri el a hagyományos tv képernyőkéét.

A gyors kijelzés területén lényeges előrelépést a *ferroelektromos csavart szmektikus C** folyadékkristályok [17] alkalmazása hozott. E folyadékkristályok elektromos térbeni viselkedését a dielektromos anizotropia helyett a direktorra merőleges, a szmektikus rétegekkel párhuzamos *spontán polarizáció* és a tér kölcsönhatása határozza meg. A ferroelektromos folyadékkristály kijelzőkben a szmektikus rétegek a felületre merőlegesen állnak, míg a felületkezelés a direktor felülettel párhuzamos beállítását részesíti előnyben [18].

Ha a mintavastagság a folyadékkristály csavarállandójánál lényegesen kisebb, a felületi kölcsönhatások következtében a csavarszerkezet eltűnik és a direktornak a felületen a \mathbf{k} rétegnormálisra szimmetrikus, azzal $\pm\theta$ szöget bezáró két ekvivalens beállása (\mathbf{n}^- és \mathbf{n}^+) lehet, melyekben a spontán polarizáció ellentétes, a felületekre erőleges irányba (\mathbf{P}_s^- illetve \mathbf{P}_s^+) mutat (11. ábra). Kü-

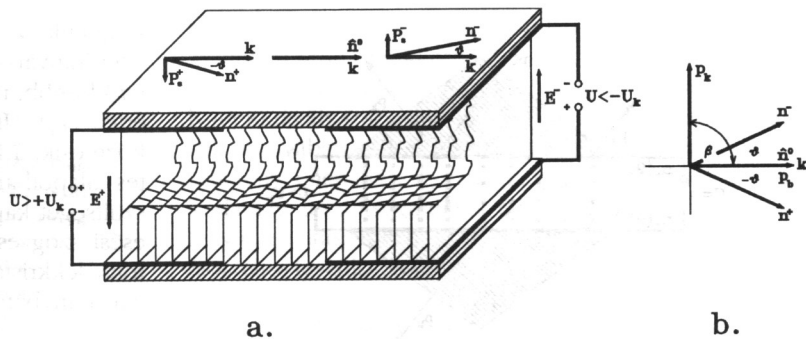
szöbértéket meghaladó elektromos térrel (E^- illetve E^+) e két direktoriány egyikét, a térrel megegyező irányú polarizációját választhatjuk ki. Ha a cellát keresztetett polarizátorok közé tesszük úgy, hogy az egyik polarizátor (P_b) az egyik lehetséges direktoriánnyal (n^+) párhuzamos legyen, ezen állapotban a cella a fényt nem ereszt át ($\psi = 0$ az (1) formulában). A tér előjelváltásával a direktor átfordul a másik irányba, azaz az optikai tengely és a fény polarizációjának iránya közötti szög $\psi = 0$ -ról $\psi = 2\vartheta$ -ra változik, a cella a Δs optikai úthosszkülönbség értékétől függő mértékben fényáteresztővé válik.

A speciális felületkezelésnek köszönhetően e kijelzőtípus *bistabil*, azaz a tér megszűnése után is megtartja ki- vagy bekapcsolt állapotát, melyet csak ellenkező polaritású elektromos térrel lehet átkapcsolni. Ez a multiplexelhetőség szempontjából előnyös. Másrészt az átkapcsolást mindig az elektromos térerősség váltja ki, így a ki- és bekapcsolási idők között nincs különbség (ellentétben a nematikus kijelzőkkel). Mivel az alkalmazott feszültségeknél a ferroelektromos kölcsönhatás a dielektromosnál sokkal erősebb, a kapcsolási idők a nematikusokéhoz képest több nagyságrenddel lecsökkennek a mikroszekundumos tartományba. A sebességnövekedés ára, hogy e szmektikus folyadékkristályok nehezebben kezelhetők és rendezhetőek, továbbá a szükséges kontraszt biztosításához a mintavastagságot a törésmutató Δn anizotrópiájával összehangoltan $d \approx 1-2 \mu\text{m}$ értéken kell pontosan ($< 1\%$ eltéréssel) tartani. E technológiai nehézségek ellenére *VGA felbontású színes, illetve annál nagyobb (körülbelül 2000x2000 képelem) felbontású fekete-fehér ferroelektromos folyadékkristály számítógép képernyők* már kaphatók a piacon, és ferroelektromos sorkijelző cellák előfordulnak lézernyomtatókban is. A jelenlegi fejlesztések a jövőbeli nagyfelbontású televízió lapos képernyőjének megvalósítását célozzák.

Antiferroelektromos kijelzők (AFLC, Antiferroelectric Liquid Crystal)

Az *antiferroelektromos folyadékkristályok* (SmC_A^*) felfedezése az utolsó tíz év eredménye. Szerkezetük a csavart szmektikus C^* folyadékkristályokéhoz hasonló, de a szomszédos szmektikus rétegekben a direktor a rétegnormálishoz képest ellenkező irányba dől és így a spontán polarizáció is ellentétes irányba mutat, azaz kiátlagolódik [17].

Az antiferroelektromos állapotban az optikai tengely (n^0) a k rétegnormális irányába mutat. Kellően nagy elektromos térben ezen antiferroelektromos szerkezet átalakul ferroelektromossá, melyben az optikai tengely már direktor irányú (n^+ illetve n^-). Az antiferroelektromos folyadékkristályokból a fent leírt ferroelektromoshoz hasonló planáris cellát készítve (12. ábra), és a polarizátor (P_b) irányát a rétegnormállissal párhuzamosra beállítva a tér nélküli (antiferroelektromos) állapot sötét, míg a tér hatására kialakuló ferroelektromos állapot fényáteresztő lehet [19]. Noha az ellentétes polaritású (E^- és E^+) terekhez tartozó direktorhelyzet (n^+ illetve n^-) nem azonos, e két irány a rétegnormálisra szimmetrikus ($\psi = \pm\vartheta$), ezért fényáteresztő-képességük az (1) formula szerint azonos. E kijelző így a nematikus folyadékkristályokhoz hasonlóan (van tér – nincs tér alapon) vezérelhető, de az orientációtól függetlenül, jellegéből adódóan *bistabil*, mert az antiferroelektromos-ferroelektromos fázisátalakulás hiszterézissel rendelkezik. A kijelzési mód jelentőségét mutatja, hogy egy évvel a fázis felfedezése után már elkészült az antiferroelektromos folyadékkristályra épülő tv képernyő prototípusa.



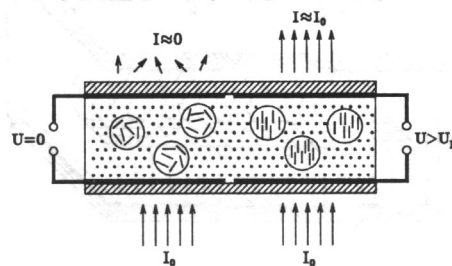
12. ábra. Antiferroelektromos folyadékkristály kijelző. a. A direktoreloszlás feszültségmentes állapotban ($U = 0$, közepén), pozitív ($U > +U_b$, baloldalt) és negatív ($U < -U_b$, jobboldalt) cellafeszültség esetén. A szmektikus rétegek a felületre merőlegesek, a direktor a felülettel párhuzamos. A feszültségmentes ($U = 0$) antiferroelektromos állapotban a direktor rétegenként ellentétes irányba dől, így a kiátlagolt optikai tengely (n^0) egybeesik a k rétegnormállissal. $|U| > U_b$ feszültség hatására a cella ferroelektromos állapotba kerül, az optikai tengely direktor irányú (n^+ illetve n^-) lesz. b. A polarizátorok optimális beállítása (felül nézve). Az egyik polarizátor (P_b) a rétegnormállissal párhuzamos, a másik (P_a) rá merőleges ($\beta = 90^\circ$). Feszültségmentes ($U = 0$) állapotban a cella sötét, feszültség hatására ($|U| > U_b$) pedig világos. ϑ a direktor és a rétegnormális közötti dőlésszög, n^+ , E^+ és P_a^+ , illetve n^- , E^- és P_a^- a direktor, az elektromos tér és a spontán polarizáció iránya pozitív illetve negatív feszültségnél.

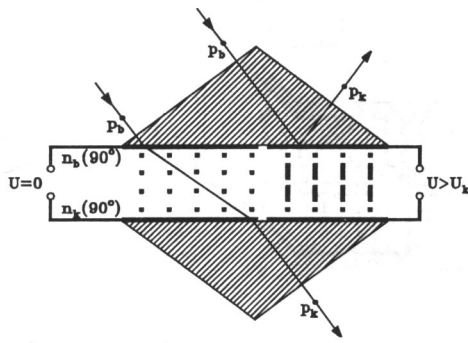
Folyadékkristályok egyéb elektrooptikai alkalmazásai

Folyadékkristály-polimér kompozit rendszerek (PDLC, Polymer Dispersed Liquid Crystal)

A folyadékkristály kijelzők fejlesztésének teljesen más irányát képezik a *folyadékkristály-polimér kompozit* rendszerek. Előállításukhoz egy átlátszó polimér monomerjét alkalmas (általában nematikus) folyadékkristállal elegyítik. A polimerizáció során fáziszeperáció következhet be [20], a folyadékkristály a polimér belsejében apró (néhány μm átmérőjű) cseppecskékben kiválik (13. ábra). Feszültségmentes állapotban a folyadékkristály a cseppekben rendezetlen, így a törésmutató helyről helyre változik, az erős fényszórás miatt a cella átlátszatlan. Elektromos térrel a folyadékkristály rendezhető, a direktor a tér irányába mutat. Ha az izotróp polimér törésmutatója megegyezik a folyadékkristály ezen rendezett állapotában mérhető törésmutatójával, a közeg a fény számára optikailag homogén és így átlátszó lesz. E kijelzési mód előnye, hogy nincs szükség a felületi orientációs eljárások használatára, sem polarizátorokra. Másrészt a polimér révén e kompozit rendszerből nagyméretű, önhor-

13. ábra. Polimér diszperziós kijelző szerkezete és direktoreloszlása. A pontozott tartomány a folyadékkristály cseppeket körülvevő izotróp polimér. A feszültségmentes ($U = 0$) rendezetlen állapotban a cella szórja a fényt (átlátszatlan), a bekapcsolt ($U > U_b$) rendezett állapotban pedig átlátszó. I_0 a beeső, I a kilépő fény intenzitása.





14. ábra. Elektromosan vezérelt optikai kapcsolóelem (iránycsatoló) felépítése és direktoreloszlása. A beeső fény polarizációja a terjedési irány és a direktor síkjára merőleges. Feszültségmentes ($U = 0$) állapotban a fény áthalad a cellán (baloldalt); bekapcsolt állapotban ($U > U_p$) a fény visszaverődik (jobbaldalt).

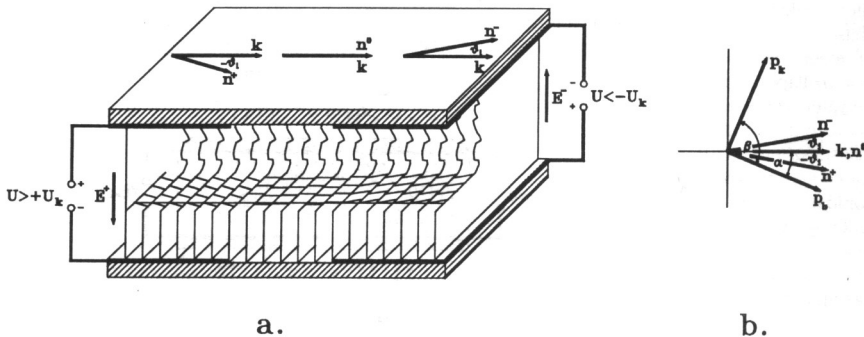
dó, hajlékony fólia készíthető, melynek felületére az átlátszó elektród is felvihető. Ha ilyen fóliát ablakra felragasztunk, elektromos térrel az ablak fényáteresztő-képességét tudjuk vezérelni.

Elektromosan vezérelt optikai elemek

A folyadékkristály kijelzők kapcsán megismert elektrooptikai effektusok az optikában esetenként közvetlenül is felhasználhatók. Egy megfelelően választott kijelzőtípus polarizátorait elhagyva vezérelhető kettőtörésű (például ECB) vagy a fénypolarizáció irányának megváltoztatására alkalmas (például TN) eszköz máris rendelkezésünkre áll.

A folyadékkristály kijelzőkben a cellán átmenő (vagy a visszavert) fény intenzitása változik a térerősség hatására. Ugyanezen elektrooptikai jelenségek azonban lehetőséget adnak a fény terjedési irányát megváltoztató eszközök készítésére is. Az ilyen *iránycsatoló* felépítése a kijelzőkéhez nagyon hasonló, csak a planárisan orientált, pozitív dielektromos anizotrópiájú nematikus folyadékkristály réteget üveglapok helyett üvegprizmák határolják (14. ábra). A folyadékkristályt a prizmán keresztül a direktorral párhuzamos polarizációjú, ferdén beeső fényvel

15. ábra. Királis szmeztikus A^* fénymodulátor. a. A direktoreloszlás feszültségmentes állapotban ($U = 0$, középen), pozitív ($U > +U_p$, baloldalt) és negatív ($U < -U_p$, jobboldalt) cellafeszültség esetén. A szmeztikus rétegek a felületre merőlegesek, a direktor a felülettel párhuzamos. A feszültségmentes ($U = 0$) állapotban a direktor (\mathbf{n}^0) egybeesik a k rétegnormálissal. A direktor és a rétegnormális közötti ϑ_i indukált dőlésszög arányos az elektromos térrel ($\vartheta_i \sim E$). b. A polarizátorok optimális beállítása (felülnézet). Az egyik polarizátor (\mathbf{p}_b) a rétegnormálissal $\alpha = 22,5^\circ$ szöveget zár be, a másik (\mathbf{p}_k) rá merőleges ($\beta = 90^\circ$). Feszültségmentes ($U = 0$) állapotban a cellán a bemenő intenzitás fele jut át, egyébként az intenzitás változása a feszültséggel egyenesen arányos. \mathbf{n}^+ , \mathbf{E}^+ és \mathbf{P}_s^+ , illetve \mathbf{n}^- , \mathbf{E}^- és \mathbf{P}_s^- a direktor, az elektromos tér és a spontán polarizáció iránya pozitív illetve negatív feszültségnél.



világítjuk meg. A rétegre feszültséget kapcsolva a direktor a tér irányába fordul, így a folyadékkristály törésmutatója (n_0) kisebb, mint a feszültségmentes állapotban mérhető érték (n_e). Ha az üvegprizma törésmutatója e két érték közé esik, a fénytörés törvénye szerint a feszültségmentes állapotban a fény a cellán áthalad, míg a cellára feszültséget kapcsolva a fény – megfelelően választott beesési szög esetén – a prizmánál kisebb törésmutatójú folyadékkristályba lépve *teljes visszaverődést* szenved és más irányban halad tovább.

Királis szmeztikus A^* fénymodulátor (EC, Electroclinic effect)

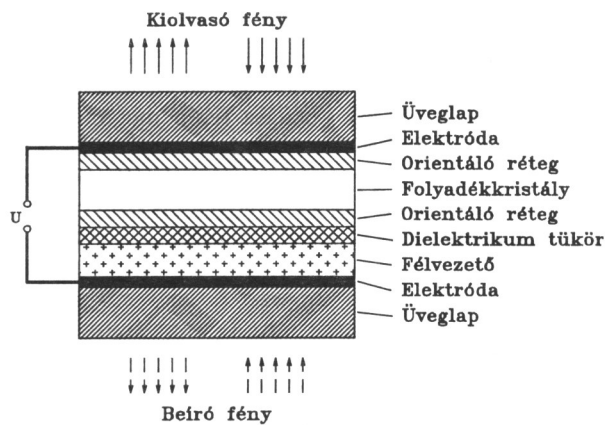
Az utóbbi évek bebizonyították, hogy a fény igen előnyösen használható információk (például hang) továbbítására. A fénytávközlő rendszerek egyik fontos eleme, az elektromos és optikai rendszerek közötti csatolást biztosító *lineáris fénymodulátor*, szintén készülhet folyadékkristályokból.

Az eddig bemutatott kijelzési módok mindegyikére jellemző, hogy a két (sötét és világos) állapot közötti átkapcsolás valamilyen küszöb feletti feszültségnél következik be, azaz a fényáteresztés–feszültség karakterisztika erősen nemlineáris. Ez ugyan előnyös a megszokott kijelzők esetében, de a cellát lineáris fénymodulálásra gyakorlatilag alkalmatlanná teszi. A királis *szmeztikus A^** (SmA^*) folyadékkristályokban azonban létezik egy lineáris elektrooptikai jelenség (az „*electroclinic*” effektus), amely éppen fénymodulátor készítésére a legalkalmasabb [21]. A planáris SmA^* cellában a szmeztikus rétegek a felületre merőlegesek, az \mathbf{n}^0 direktor (az optikai tengely) a felülettel párhuzamos (15. ábra). Elektromos tér hatására a direktor a \mathbf{k} rétegnormális-hoz képest kihajlik (\mathbf{n}^- illetve \mathbf{n}^+), a kihajlás ϑ_i szöge egyenesen arányos az elektromos tér nagyságával ($\vartheta_i \sim E$), iránya a térre merőleges és polaritásfüggő. E jelenség a tükörszimmetria hiányának a következménye, és független a dielektromos anizotrópia hatásától, mely a direktort és a rétegnormális mindíg csak együtt tudná elforgatni.

Ha a keresztezett polarizátorokat úgy állítjuk be, hogy az egyik polarizátor (\mathbf{p}_b) iránya a rétegnormálissal $\alpha = 22,5^\circ$ szöveget zárjon be, az (1) formula alapján $\psi = \alpha + \vartheta_i$ helyettesítéssel azonnal látható, hogy a cella fényáteresztő-képességének megváltozása a szokásos kis ϑ_i dőlésszögek esetén egyenesen arányos a dőlésszöggel, és így az elektromos térrel is. Ezen jelenség a folyadékkristályok körében eddig megfigyelt leggyorsabb elektrooptikai effektus, körülbelül 2 MHz felső határfrekvenciával rendelkezik. Segítségével kiválthatók a *fényszaggatásra* használt, csak nagyfeszültséggel (> 1 kV) működő, elektrooptikai kristályt tartalmazó Kerr-cellák.

Torzított csavarszerkezetű ferroelektromos fénymodulátor (DHF, Deformed Helix Ferroelectric)

Lineáris fénymodulátor készítésére a csavarszerkezetű ferroelektromos folyadékkristályok is nyújtanak lehetőséget. A már korábban bemutatott felületstabilizált (SSFLC) gyors kijelzőkben olyan ferroelektromos folyadékkristályt használunk, amelynek a cellavastagsághoz képest nagy a csavarállandója. Létezik azonban olyan SmC^* folyadékkristályok is, melyeknek *csavarállandója a látható fény hullámhosszánál is rövidebb* ($< 0,4 \mu\text{m}$). A



16. ábra. Optikai számítógépelem (fényrel vezérelt fény szelep) tipikus felépítése.

csavartengelyre merőlegesen a folyadékkristályon áthaladó fény a direktor térbeli elfordulását ez esetben nem tudja felbontani, következésképpen az optikai tulajdonságok kiátlagolódnak. Torzítatlan csavar esetén (feszültségmentes vastag minta) e kiátlagolódás eredményeképpen az optikai tengely a csavartengellyel, azaz a szmektikus rétegnormálissal esik egybe.

A csavartengelyre merőleges elektromos térerősség hatására a csavarszerkezet torzul, mert a tér forgatónyomatéka a rugalmas forgatónyomatékok ellenében a spontán polarizációt a tér felé törekszik elfordítani, miközben a polarizációra merőleges direktor is szükségszerűen elfordul. A kiátlagolódás így a térre merőleges, a csavartengellyel $0 < \vartheta_i < \vartheta$ szöget bezáró optikai tengelyt eredményez, ahol a ϑ_i indukált dőlésszög kis tereknél a térrel arányos [22]. Küszöbértéket meghaladó nagy térerősségeknél viszont a csavarszerkezet teljesen eltűnik, mert a spontán polarizáció mindenhol befordul a tér irányába. Ekkor az optikai tengely a direktorral esik egybe, vagyis a csavartengellyel az anyagra jellemző ϑ dőlésszöget zárja be. Látható tehát, hogy e cella kis tereknél ugyanúgy viselkedik, mint a királis szmektikus A^* fénymodulátor, míg nagy tereknél úgy kapcsolható, mint a felületstabilizált ferroelektromos gyors kijelző.

Fénnyel vezérelt folyadékkristály eszközök

Optikai számítógépelemek (SLM, Spatial Light Modulator)

Napjainkban intenzív kutatások folynak az optikai számítógépek megalkotására, mert az adatok fény segítségével történő egyidejű, párhuzamos feldolgozása a jelenlegi elektronikus számítógépekénél nagyobb sebességet ígér. Az információk bináris kódolására a fény két lehetőséget is kínál; az intenzitást (van fény – nincs fény) és a polarizációt (két egymásra merőleges polarizációirány). A folyadékkristály mátrixkijelzőket felhasználhatjuk ilyen optikai számítógépek bemeneti fokozataként, mivel segítségével az elektronikus információkat térbeli fényintenzitás (vagy polarizációirány) modulációvá alakíthatjuk át.

A tulajdonképpen *optikai számítógép-elemekből* kilépő fény jellemzőit a beeső fény paraméterei határozzák

meg. Ilyen elemek például *folyadékkristály-fotovezető kompozit* rendszerekkel [23] is megvalósíthatók (16. ábra). A cellában az elektródok között a fotovezető és a folyadékkristály sorba van kapcsolva, így rajtuk az ellenállásuk arányában esik a feszültség. Ha a fotovezetőre nem esik fény, ellenállása igen nagy, így a folyadékkristály gyakorlatilag feszültségmentes állapotban van. Ha a beíró fény intenzitása megnő, a fotovezető ellenállása lecsökken és a teljes feszültség lényegében a folyadékkristályon esik, megváltoztatva annak optikai tulajdonságait. A fotovezető és a folyadékkristály között található dielektrikum tükör a bemeneti és kimeneti oldalak szétválasztását biztosítja, így a beeső fény a cellán nem jut át, a kiolvasó fény pedig a fotovezetőre nincs hatással. A folyadékkristály és az elektrooptikai effektus alkalmas megválasztásával akár intenzitás-, akár polarizációkódolt eszköz készíthető. Hasonló, bár bonyolultabb felépítésű cellákkal egy vagy több bemenő fényt feldolgozó *optikai logikai kapuáramkör* is megvalósítható. Mivel a beíró és a kiolvasó fény hullámhossza nem szükségszerűen azonos, az eszköz felhasználható képátalakításra is (például infravörösből láthatóvá).

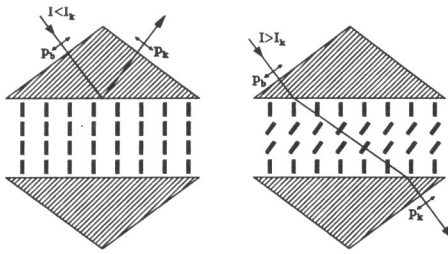
Fénnyel írható kijelző (optikai tároló)

Az optikai számítógépekhez kapuáramkörökön kívül fénnyel beírható tárolóelemre is szükség van. Ilyet például szmektikus A folyadékkristály felhasználásával készíthetünk [24]. Ha pozitív dielektromos anizotrópiájú folyadékkristályt a nematikus fázisból elektromos tér jelenlétében hűtjük le a szmektikus A fázisba, rendezett mintát kapunk, mely a fényt nem szórja, és így átlátszó. Ha e cellát kikapcsolt elektromos tér esetén erős lézertérennyel megvilágítjuk, a folyadékkristály (vagy a benne oldott festék) a fényt elnyeli és a megvilágított folt helyén felmelegszik, átmegy izotróp folyadék állapotba. A megvilágítás megszűntekor ismét lehűl, de ezúttal már tér nélkül, így a szmektikus A fázis nem lesz rendezett, a megvilágított folt helyén szórja a fényt. Az így beírt információ (alakzat) tartósan megmarad, törléséhez a kijelzőt újból fel kell izotróp állapotba melegíteni, majd elektromos térben visszahűteni a szmektikus A fázisba.

Átorientálás fénnyel

A fentiekben számos példát mutattunk arra, hogy az elektromos tér átorientálhatja a folyadékkristályt, azaz megváltoztathatja a cellában a direktoreloszlást. A nematikus és koleszterikus fázisokban ezen elektrooptikai effektusok a folyadékkristály és az elektromos tér közötti kvadratis ($\sim E^2$) kölcsönhatásnak köszönhetőek, így egyen- és váltófeszültséggel egyaránt előidézhetőek. Mivel egyenfeszültség hatására a folyadékkristály elektrokémiai bomlása következhet be, a gyakorlatban általában kisfrekvenciás (10–10000 Hz) váltófeszültséget használnak. A frekvenciának a jelenség lényege szempontjából általában nincs jelentősége, csak az egyes anyagi paraméterek (például $\Delta\epsilon$) frekvenciafüggése révén befolyásolja a kijelző jellemzőit (például az U_c küszöbfeszültség nő a frekvenciával).

A fény – lévén elektromágneses hullám – maga is rendelkezik saját, a fénypolarizáció irányával megegyező,



17. ábra. Fénnyel vezérelt optikai kapcsolóelem felépítése és direktor-eloszlása. A beeső fény polarizációja a terjedési irány és a direktor síkjába esik. Kis ($I < I_0$) fényintenzitásnál a fény visszaverődik (baloldalt), nagy ($I > I_0$) fényintenzitásnál a fény áthalad a cellán (jobbaldalt).

elektromos térrel. Bár ennek frekvenciatartománya sok nagyságrenddel van a kijelzőkben megszokott felett, a fenti megfontolás alapján várható, hogy a fény is képes lehet a folyadékkristály átorientálására. Az optikai frekvenciákon a dielektromos permittivitás a törésmutató négyzetének felel meg, így $\Delta \epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} = n_e^2 - n_o^2$, ami minden eddig tárgyalt folyadékkristály esetén pozitív, a fény E_f elektromos tere pedig a fény intenzitásától függ ($I \sim E_f^2$). A várt átorientálási jelenség fókuszált lézeryfény segítségével ténylegesen kimutatható, sőt, felhasználható optikai kapcsoló készítésére is [25]. A 17. ábrán bemutatott geometriában kis fényintenzitásoknál a homeotróp orientációjú folyadékkristály törésmutatója kisebb, mint a határoló prizmaé, így a fény teljes visszaverődést szenved. Az I_0 küszöbértéket meghaladó fényintenzitás esetében azonban a fény átorientáló hatása a rugalmas visszatérítő forgatónyomatékokat meghaladja, a direktor befordul a fény polarizáció irányába. Ezáltal a folyadékkristály törésmutatója megnő és így a fény már áthaladhat a cellán. A fény továbbhaladási irányát tehát a fény intenzitásával vezérelhetjük. Itt szeretnénk hangsúlyozni, hogy a mechanizmus kizárólag a fény terjedési iránya és a direktor (optikai tengely) által kijelölt síkba eső (extraordinárius) fény polarizációval működik. Az erre merőleges (ordinárius) fény polarizáció a fényterjedés sajátos törvényei miatt nem eredményezhet átorientálást.

Záró megjegyzések

A közleményünkben bemutatott jelenségek és eszközök sokféleségük ellenére sem merítik ki teljesen a folyadékkristályok nyújtotta lehetőségeket, mint ahogy a fenti elveken alapuló kijelzők készítésénél is számos olyan gy-

akorlati, fizikai probléma merülhet fel, melyekre ezúttal nem térhettünk ki. További részletek iránt érdeklődőknek egy közelmúltban megjelent monográfiát ajánlhatunk [26–28]. A folyadékkristályok kutatása terén megmutatózó nagy nemzetközi érdeklődés mindenesetre előre vetíti, hogy a jövőben e különleges tulajdonságokkal rendelkező szerves anyagok várhatóan a jelenleginél is nagyobb szerephez juthatnak mindennapi életünkben.

Irodalom

1. BATA L.: *Folyadékkristályok* – Új anyagok a tudományos kutatás és a gyakorlati alkalmazás számára. A szilárdtestkutatás újabb eredményei 7 – Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980.
2. BATA L.: *Folyadékkristályok* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
3. P.G. DE GENNES: *The Physics of Liquid Crystals* – Clarendon Press, Oxford, 1974.
4. VÉGHÉLY T., SEYFRIED É., FARAGÓ I.: *Folyadékkristályos kijelzők a gyakorlatban* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984.
5. G.H. HEILMEIER, L.A. ZANONI, L.A. BARTON – Appl. Phys. Lett. 13 (1968) 46
6. BUKA Á., BÖRZSÖNYI T., TÓTH P., TÓTH KATONA TIBOR – Fiz. Szle. 1996, megjelenés alatt
7. G.H. HEILMEIER, J.E. GOLDNACHER – Proc. IEEE 56 (1969) 1162
8. M.F. SHIEKEL, K. FAHRENHON – Appl. Phys. Lett. 19 (1971) 393
9. G.H. HEILMEIER, J.A. CASTELLANO, L.A. ZANONI – Mol. Cryst. Liq. Cryst. 8 (1969) 293
10. M. SCHADT, W. HELFRICH – Appl. Phys. Lett. 18 (1971) 127
11. J.A. VAN RAALTE – Proc. IEEE 56 (1968) 2146
12. B.J. LECHNER – Proc. IEEE 59 (1971) 1566
13. T.J. SCHEFFER, J. NEHRING – Appl. Phys. Lett. 45 (1984) 1021
14. K. KINUGAWA, Y. KANDO, M. KANASAKI, H. KAWAKAMI, E. KANEKO – SID 86 Digest, 122 (1986)
15. M. SCHADT, F. LEENHOUTS – Appl. Phys. Lett. 50 (1987) 236
16. K. KATOHI, Y. ENDO, M. AKATSUKA, M. OHGAWARA, K. SAWADA – Jpn. J. Appl. Phys. 26 (1987) L1784
17. BATA L., ÉBER N., JÁKLI A. – Fiz. Szle. 46 (1996) 59
18. N.A. CLARK, S.T. LAGERWALL – Appl. Phys. Lett. 36 (1980) 899
19. Y. YAMADA, N. YAMAMOTO, K. MORI, K. NAKAMURA, T. HAIWARA, Y. SUZUKI, I. KAWAMURA, H. ORIHARA, Y. ISHIBASHI – Jpn. J. Appl. Phys. 29 (1990) 1757
20. P.S. DRZAIĆ – J. Appl. Phys. 60 (1986) 2142
21. C. BAHAR, G. HEPPKE – Liquid Crystals 2 (1987) 825
22. L.A. BERESNEV, V.G. CHIGRINOV, D.I. DERGACHEV, E.P. POSHIDAIEV, J. FÜNFSHILLING, M. SCHADT – Liquid Crystals 5 (1989) 1171
23. T.D. BEARD, W.P. BLEHA, S.-Y. WONG – Appl. Phys. Lett. 22 (1973) 90
24. M. HARENG, S. LE BERRE – Electronics Lett. 11 (1975) 73
25. I.C. KHOO – Appl. Phys. Lett. 40 (1982) 645
26. B. BAHADUR (szerk): *Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 1* – World Scientific, Singapore, 1990.
27. B. BAHADUR (szerk): *Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 2* – World Scientific, Singapore, 1991.
28. B. BAHADUR (szerk): *Liquid Crystals Applications and Uses, Vol. 3* – World Scientific, Singapore, 1992.

Kedves Kollégák!

Az ELFT 1995. október 5-i közgyűlése az alábbi Jelölő Bizottságot választotta meg, az 1996 évi tisztújító közgyűlésen történő személyi javaslatok előterjesztésére: Elnök: *Csikai Gyula*, KLTE Kísérleti Fizikai Tanszék, 4001 Debrecen, Bem tér 18/a., Tel.: (52)-415-222. Tagok: *Plósz Katalin*, Patróna Hungariae Gimnázium, 1092 Budapest, Knézych u. 3–13. Tel.: (06-1)-2170-337; *Beleznay Ferenc*, MTA Anyagtudományi Kutatóintézet, 1525 Budapest Pf. 49., Tel.: (06-1)-1699-499/1544.

A Jelölő Bizottság átérezve a feladat jelentőségét a Társulat további sikeres működése szempontjából, a tagság aktív részvételére számít a különböző tisztségek betöltésére alkalmas személyek jelölésénél. A Társulat állami támogatást nem kap, fennmaradását azok a tagok garantálhatják, akik tevőlegesen részt kívánnak venni az Alapszabályban rögzített célok és feladatok megvalósításában:

- a magyarországi fizikai kutatás,
- a fizika minden szintű oktatása,
- a kutatási eredmények gyakorlati alkalmazása és hasznosítása terén, a színvonal emelésében, a nagymúltú hagyományok megőrzésében, a magyar fizika nemzetközi tekintélyének megőrzésében.

A Jelölő Bizottság, eme nemes célokat követve kéri a Szakcsoportokat, Területi Csoportokat és minden tagtársat, hogy személyi javaslataikkal segítsék elő a Társulat méltóságához illő új vezetőség megválasztását.

A Közgyűlésre várhatóan június 3-án kerül sor. Ezért köszönettel vennénk, ha a javaslatok május elejéig beérkeznek a szükséges egyeztetések miatt. Nagyban segítené munkánkat, ha a javaslatokkal együtt az egyes tisztségekhez kapcsolódó elvárások is megfogalmazást nyernének. Előre is megköszönjük a szíves együttműködést.

Jelölő Bizottság