

láthatatlan mintázatokat a nagy méretű adathalmazokban. A mesterséges intelligencia napról napra forradalmasítja a membránok működését a vízkezelő telepeken és a vegyi finomítóknál is. A zöld alapelvek erősen támogatják a folyamatanalitikai technológia és az automatizálás integrációját. Amikor a digitális szenzorokat gépi tanulási algoritmusokkal párosítják, a feldolgozó-üzem autonóm, önkorrekciós entitássá válik. A mesterséges intelligencia azonnal képes elemezni a mikroszkopikus anomáliákat az áramlási sebességekben, és képes hetekkel a bekövetkezésük előtt előre jelezni a membrán meghibásodását vagy a súlyos eltömítést. Ahogy az anyagtudomány a mesterséges intelligencia és a zöld kémia széles körű alkalmazása felé tart, a múlt statikus szűrői dinamikus, okos technológiákká fejlődnek, amelyek több iparág kiaknázását is segíthetik (3. ábra).

Ezt az átállást az Európai Unió 2026-ra teljes mértékben elfogadásra kerülő Körforgásos Gazdasági Törvénye (Circular Economy Act) is gyorsítja, amely jelentősen növelni kívánja a másodlagos nyersanyagok használatát. Szigorú újrahasznosított-tartalomra vonatkozó előírásokat vezet be, és a kiterjesztett gyártói

felelősség keretrendszerén keresztül jogilag is a gyártókat teszi pénzügyileg felelőssé termékeikért életciklusuk végén. A hagyományos mechanikai újrahasznosítás mellett az olyan fejlett kémiai újrahasznosítási technológiák elterjedése várható, mint a depolimerizáció, katalitikus krakkolás és pirolízis, amelyek képesek a komplex membránmodulokat feldolgozni.

A membrántudomány gyors fejlődése bizonyítja, hogy a zöld környezetvédelmi szempontok nem a jótékonyági utógondolatok körébe tartoznak, hanem a jövő technológiai tervezésének szigorú alapkritériumai. A zöld kémia, a mesterséges intelligencia és a körforgásos gazdaságpolitika szinergiája révén a membrántechnológia ma jó példája annak, hogy az ipar hogyan képes sikeresen újrapozicionálni magát egy fenntartható jövő biztosítása érdekében.



IRODALOM

- [1] D.S. Sholl, R.P. Lively, *Nature*, 2016, 532, 435–437.
- [2] G. Székely, *RSC Sustainability*, 2024, 2, 871–880.
- [3] G. Székely et al., *Green Chemistry*, 2015, 17, 5196–5205.
- [4] G. Székely et al., *Nature Energy*, 2025, 10, 308–317.

Agárdi Tamás

■ AFV Kft.

A fény használata a biztonsági jelek esetében

Fényvisszavető, fluoreszcens, fotolumineszcens és megvilágított biztonsági jelzések

A biztonsági jelzés első feladata nem az, hogy szép legyen, hanem hogy a megfelelő pillanatban észrevegyék. A legszabályosabb piktogram is elveszíti életvédelmi értékét, ha sötétben, füstben, rossz megvilágításnál, nagy távolságból vagy vizuálisan zsúfolt környezetben nem ismerhető fel. Ezért a jelzések tervezésénél a tartalom, a piktogram és a méret mellett külön szakmai kérdés az is, hogyan hívjuk fel a figyelmet a jelre: visszaverje a fényt, erősebben kiemelkedjen nappal, áramszünetben is látszódjon, vagy saját fényforrással legyen megvilágítva.

A magyar munkavédelmi jelzési alapot a munkahelyen alkalmazandó biztonsági és egészségvédelmi jelzésekről szóló 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet adja. A rendelet szerint a munkáltató köteles a biztonsági jelzéseket kihelyezni, karbantartani, elhasználódás vagy a munkakörülmények változása esetén cserélni, és a jelzés szükségességének meghatározásakor figyelembe kell venni a kockázatértékelés eredményét. Ez azt jelenti, hogy a láthatósági technológia kiválasztása sem esztétikai kérdés, hanem a használati környezetből, a veszély jellegéből és az észlelési távolságból következő munkavédelmi döntés. Összeszedtük a leggyakrabban használt technológiákat:

A **fényvisszavető jelzés** ott működik jól, ahol van külső fényforrás, amelynek fényét a felület a fényforrás irányába veri vissza. Tipikus példa a közlekedési tábla, a parkolóhely-jel, a kültéri irányjelzés, a kapubejáró melletti figyelmeztető tábla vagy a telephelyen belüli útvonaljelzés, amelyet járműfénycsóró, kézilámpa vagy reflektor világít meg. A fényvisszavető jel nagy előnye, hogy energiaellátás nélkül is látványosan kiemelkedik éjszaka, ködben vagy csökkent látási viszonyok között. Korlátja ugyanak-

kor, hogy saját fényt nem termel: ha nincs ráeső fény, nem lesz mit visszavernie. Ezért menekülési útvonalon, belső sötét terekben vagy áramszünetre méretezett biztonsági rendszerben önmagában nem elegendő.

A **fluoreszcens** jelzések más elven hívják fel magukra a figyelmet. Ezek a felületek a környezeti, különösen az UV-tartalmú fény hatására rendkívül élénkek, „világítónak” tűnnek. A fluoreszcens sárga, narancs vagy zöld jól használható olyan helyeken, ahol nappal, erős mesterséges fényben vagy változó háttér előtt kell gyors észlelhetőséget biztosítani. Építési területen, targoncaforgalommal terhelt raktárban, karbantartási zónában vagy ideiglenes figyelmeztetésnél a fluoreszcens felület jelentősen növelheti a jel feltűnőségét. Fontos azonban, hogy a fluoreszcens anyag nem azonos az utánvilágítóval: sötétben, megvilágítás nélkül nem ad tartós fényt, hanem a nappali vagy mesterséges fényben fokozza a feltűnést.

A **fotolumineszcens**, közkeletűen **utánvilágító** jelzés már valódi vészhelyzeti logikát képvisel. Az ilyen anyag a környezeti fényből energiát vesz fel, majd a fény megszűnése után fokozatosan visszasugározza azt. Ezért alkalmazzák menekülési útvonalaknál, lépcsőléleknél, ajtókeretekenél, alacsonyan vezetett útirányjelzéseknél, tűzvédelmi eszközök kiegészítő jelölésénél vagy olyan helyeken, ahol áramszünet esetén is szükség van vizuális vezetésre. A fotolumineszcens jel nagy előnye, hogy passzív: nem igényel vezetékeztést, akkumulátort vagy aktív fényforrást. A korlátja viszont éppen ebből fakad: csak akkor működik megfelelően, ha előtte elég fényt kapott, és ha a felület tiszta, sértetlen, megfelelő minőségű.

A **belülről megvilágított** feliratok és biztonsági jelek saját fényforrással rendelkeznek. Ilyen lehet például egy kijáratjelző lámpatest, egy belső LED-világítású információs tábla vagy egy folyamatosan működő irányjelző. Ezek előnye az egyenletes, megszűröl is jól érzékelhető fény, valamint az, hogy gyenge környezeti megvilágítás mellett is önállóan olvashatók. Különösen hasznosak olyan belső terekben, ahol a menekülési útirány jelzése folyamatos és üzembiztos észlelhetőséget igényel. Hátrányuk a villamos táplálás, a karbantartási igény, az akkumulátor vagy tartalék energiaellátás ellenőrzése, valamint az, hogy hibás működés esetén a jel elveszítheti láthatóságát előnyét.

A **kívülről megvilágított** jelzések esetében nem maga a tábla világít, hanem egy külső fényforrás világítja meg a felületet. Ilyen megoldás lehet kültéri üzemi felirat, homlokzati biztonsági információ, nagy méretű raktári jelölés, tűzvédelmi vagy irányító tábla, amelyre LED-reflektor, lámpatest vagy más fényforrás irányul. Előnye, hogy nagy felületek és meglévő táblák is láthatóvá tehetők, nem feltétlenül kell magát a jeltestet elektromosan kikalakítani. Hátránya, hogy az egész rendszer a fényforrás helyes beállításától, működésétől és karbantartásától függ.

Tűzvédelmi és menekülési jelzéseknél a megvilágítás kérdése különösen érzékeny. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatot tartalmazó 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet meghatározza a menekülési jel és a tűzvédelmi jel fogalmát; a biztonsági jel lehet kívülről vagy belülről megvilágított jel, illetve olyan utánvilágító jel, amely a vonatkozó műszaki követelmény szerinti mértékben alkalmas a céljának megfelelő fény kibocsátására.

A gyakorlatban ritkán egyetlen technológia adja a legjobb választ. Egy kültéri telephelyi útvonaljelzésnél a fényvisszavető felület lehet célszerű, míg ugyanazon üzem belső menekülési útvonalán belülről megvilágított vagy fotolumineszcens rendszer adhat nagyobb biztonságot. Egy targoncaforgalmi kereszteződésben fluoreszcens figyelmeztető jel hívhatja fel a figyelmet a nappali üzemben, de egy áramkiesés esetén leginkább használt menekülési útvonalnál már nem ez lesz a fő szempont. A jó megoldás mindig a látási helyzetből indul: ki látja a jelet, honnan látja, milyen fényviszonyok között látja, milyen gyorsan kell döntenie, és mi történik, ha a környezeti fény megszűnik.

A figyelemfelhívás a biztonsági jelzés egyik műszaki teljesítménye. A fényvisszavető felület a ráeső fényt hasznosítja, a fluoreszcens felület nappal emeli ki a jelet, a fotolumineszcens anyag áramszünetben is vizuális támpontot ad, a belső megvilágítás saját fényforrással biztosítja az olvashatóságot, a külső megvilágítás pedig nagyobb felületek láthatóságát teszi lehetővé. Egyik sem mindenható, de mindegyiknek megvan a helye egy jól megtervezett jelrendszerben.

A biztonsági jel csak akkor védi az embert, ha észreveszi. A piktogram, a szín, a méret és a szabványosság mellé ezért mindig oda kell tenni a láthatóság kérdését is. A jó jel nemcsak szabályos, hanem a valós környezetben is működik: nappal, éjjel, porban, párában, füstben, távolról, közről, normál üzemben és vészhelyzetben is. Ez az a pont, ahol a jelzés már nem csupán információhordozó, hanem valódi kockázatsökkentő eszköz.

Mikor melyik figyelemfelhívási technológia indokolt?

Technológia	Hogy néz ki?	Fényforrás szükség?	Működés sötétben	Fő előny	Tipikus felhasználás
Fényvisszavető		Igen, külső fény szükséges	Csak külső fény esetén	Magas fényvisszaverés, energiaellátás nélkül	Közlekedés, kültéri táblák, telephelyi útvonalak, oszlopok
Fluoreszcens		Igen, erős nappali vagy UV-tartalmú fény mellett hatásos	Nem, önmagában nem világít	Erősen feltűnő nappal, vizuálisan zsúfolt környezetben is kiemelkedik	Figyelemfelkeltés, ideiglenes jelzések, építési és karbantartási területek
Fotolumineszcens (utánvilágító)		Feltöltött fény szükséges, működéskor nem igényel áramot	Igen, a feltöltődés után fokozatosan utánvilágít	Áram nélkül is működik, vészhelyzetben vizuális támpontot ad	Menekülési útvonalak, lépcsőlécek, ajtókeretek, vészkijáratok, tűzvédelmi eszközök kiegészítő jelölése
Belülről megvilágított		Igen, villamos energia szükséges	Igen, saját fényforrással	Egyenletes fény, nagy távolságból is jól látható	Kijáratjelzők, belső információs táblák, irányjelzők
Kívülről megvilágított		Igen, külső lámpatest vagy reflektor szükséges	Igen, ha a külső világítás működik	Nagy felületek és meglévő táblák láthatóvá tehetők	Homlokzati feliratok, kültéri üzemi táblák, nagy méretű irányjelzések