

Időszerű megoldások betonutakhoz és közlekedési műtárgyakhoz
2016. novemberi szám

update 46

„TunnelHELL” („AlagútVILÁGOSAN”) Az alagutak betonanyagú útpályáinak hatása: növekvő biztonság és energia- takarékoság egyszerre

Betonútpályák alkalmazásával elérhető, hogy az alagutakban mind az útpálya felülete, mind az alagútfalak megvilágítása és kivilágítása javuljon. A beton jó világítástechnikai tulajdonságai révén – különösen, ha világosító hatású titándioxidot használnak cementkiegészítőként – elérhető, hogy az útpálya és alagútfalak megnövekedett világos színe miatt a szubjektív biztonságérzet fokozódjék és egyúttal a világítási energiaköltségek csökkenjenek.

TunnelHELL („AlagútVILÁGOSAN”)

Az alagutak betonanyagú útpályáinak hatása: növekvő biztonság és energiatakarékosság egyszerre

Maier, Gerald okl. mérnök, dr. Peyerl, Martin okl. mérnök, dr. Krispel, Stefan okl. mérnök (Smart Minerals GmbH, Bécs)

1. Bevezetés, a feladat és a cél

Az alagutak és föld vagy pályaszint alatti utak – különösen a hegyvidéken – az infrastruktúra nélkülözhetetlen elemei és így a közúti közlekedés jelentős építményei. Az előnyök mellett, mint az utazási idő és az útvonal rövidülése nagy biztonságtechnikai kihívást jelentenek az útfenntartók és az alagút üzemeltetők részére. A közlekedési tér megfelelő meg- és kivilágítása a leghatékonyabban járul hozzá a személyek biztonságához, de egyúttal az alagút üzemeltetési költségeinek is legfőbb oka. A világos színbenyomást és a fényeloszlást az alagútban nemcsak a megvilágítás fajtája és teljesítménye, hanem nagyrészt a pályalemez és az alagútfal felületi tulajdonságai (pl. a világos szín, a fényvisszaverő képesség, a szennyeződés mértéke) befolyásolja. Ezért az építőanyag megválasztása a felület világossága és a fényvisszaverés szempontjából nagyon is jelentős.

Az osztrák kutatástámogató társaság, az FFG által támogatott kutatási feladat, a „TunnelHELL” célja volt a különféle útpálya anyagok (aszfalt, beton, „világos beton”) és az alagútfal anyagok (festékbevonatok különböző szennyeződési állapotban, szürke, ill. fehér lőtt habarcs) hatásának vizsgálata a megvilágítás minőségére és az energiaigényre. Összehasonlítható eredmények érdekében a vizsgálatokat állandónak tartott keretfeltételek közt végezték, ezért egyetlen meglévő „kísérleti alagutat” (2. ábra) használtak. Az egyes alagutakra jellemző, eltérő paramétereknek, mint pl. a geometriai adatoknak, a kivilágítás elrendezésének hatását így kizárhatták. Kiegészítésként a legkedvezőbb felületek hatását optikailag is ellenőrizték. A jövőben épülő alagutak tervezői számára ezáltal lehetőségessé vált, hogy alagutakban és föld vagy pályaszint alatti utak kedvezőbb megvilágítási viszonyokat érjenek el és ezáltal javuljon a közlekedésben résztvevő személyek szubjektív biztonságérzete.

2. A feladat megvalósítása

A különböző szennyezettségi állapotok szimulálásához meglévő, forgalom alatti alagutak falzatán mért világossági számértékeket alkalmaztak. Ehhez három, eltérő korú, szennyezett alagutat választottak ki és a fénytechnikai adatokat a szennyezett, azután a mosás utáni állapotban megmérték. Az értékelést 5-5 jellegzetes helyen 10-10 egyedi eredmény alapján végezték. Az 1. ábrán példaként a világossági mérőszám megállapítása látható szennyezett alagútfalon, sprektrofotométerrel.

Az így megállapított világossági tulajdonságokat ezután a fénytechnikai mérőszámok alapján hozzárendelték különböző festékbevonatokhoz, amelyek azonos fénytechnikai tulajdonságúak voltak, - mindezt egy színtechnikai laborban. Ezáltal lehetővé vált, hogy eltérő szennyezettségű (átvételi állapot, enyhén szennyezett, erősen szennyezett, megtisztított/mosott) állapotokat szimuláljanak a kísérleti alagút belső héjazatán a megfelelő szín felhordásával. Kiegészítésként szürke és fehér lőtt habarccsal alternatív alagúthéj bevonatokat is beépítettek a kísérletekbe.



1. ábra: A világossági mérőszámok megállapítása 5 különböző helyen az alagútban mosás előtt és után
(Forrás: SMG)



2. ábra: Az eredeti kísérleti alagút
(Forrás: VÖZFI)

2.1 Kísérleti körülmények és mérés technikai megoldások

A kb. 6 m átmérőjű és kb. 20 m hosszú kísérleti alagút eredeti állapota a 2. ábrán látható. Az alagút használatbavétele után a belső felületére különféle bevonatrendszereket lehetett felhordani.

A 3. ábrán egy jellegzetes, eltérő szennyezettségű alagúthéj bevonatot láthatnak, továbbá egy felhordott fehér lőtt habarcs felületet.

Pályaburkolatként aszfaltot, szokásos pályabetont mosott beton kivitelben, továbbá egy egészen világos mosott betont választottak. A pályaburkolatok, az alagúthéj-bevonati rendszerek és a szennyezettségi mérték (tisztá/szennyezett) kombinációjából különböző mérlegelési, értékelési állapot keletkezett.



3. ábra: Az alagútfal bevonati rendszer kiválasztása, különböző szennyezettségi állapot (felül és középen) és egy fehér lótt habarcs esetén (alul)
(Forrás: VÖZFI)

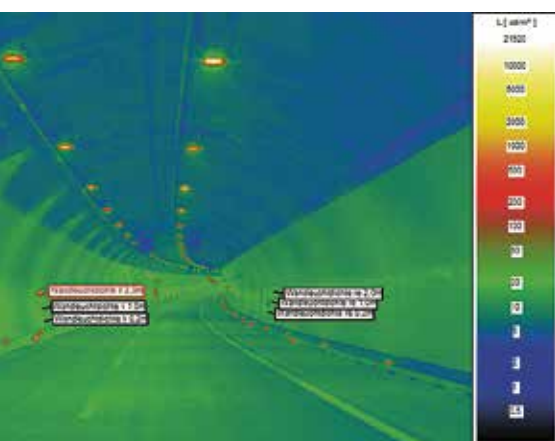
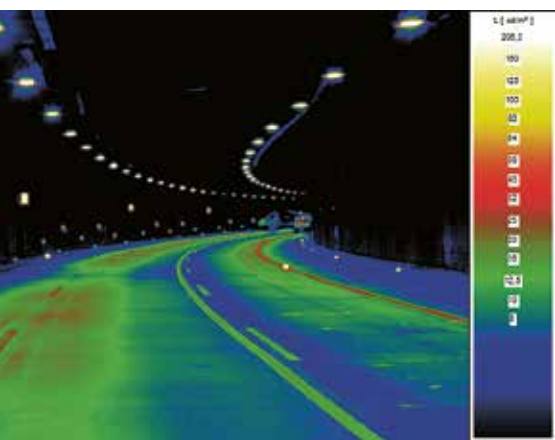
Az adott állapot megítéléséhez három, az utak kivilágításához használt lámpatípust alkalmaztak: fém halogénlámpát (HQI), nátriumgőzlámpát (NVA) és fénydiódás lámpát (LED). A különböző méretű lámpákat a kísérleti alagút középvezonájában úgy helyezték el, hogy pontosan ugyanabban a magassági és hosszanti helyzetben legyenek rögzíthetők. A pályaburkolat felületén mérhető fényssűrűség méréséhez a kamerát a kalibráláshoz a fényforrástól 60 m távolságban 1,5 m magasan állították be. Ezt az első kalibrációs mérést éjszaka végezték. A további méréseket az elsötétített alagút portálok között magában az alagútban végezték a fényforrásoktól kisebb távolságban is.

További fontos szempont volt az alagútfalak fényssűrűségének bevonása a mérésekbe. Néhány európai szabályozási iratban szerepel a „fényssűrűség a pályafelületen” és a „fényssűrűség a falon” számaránya. Ennek ismeretében pl. a megvilágítás mértéke csökkenhet, ha a fal fényssűrűsége nagy [1] [2]. Az osztrák előírásban ilyenféle tényleges ajánlás nincs [3].

A különböző lámpatípusok vezérlését egy különleges vezérlőszekrény révén lehetett megoldani és ezzel a lámpatestek fényét úgy lehetett tompítani, hogy a pályafelület egy adott pontján mindig ugyanaz a fényssűrűség keletkezzék. Ezen túlmenően a vezérlőszekrényel a tompított állapotú fény energiaigényét is mérni lehetett. Az alkalmazott fényssűrűséget mérő szenzorok (szállító: Electric Special) lehetővé teszik, hogy többféle fényssűrűséget összehasonlíthassanak (pl. alagútfal és útpálya) és statisztikailag is kiértékelhessenek. A 4. ábrán példaként különböző felületi kiképzésű és állapotú alagútfalakon mért fényssűrűségek megoszlása látható.

A kísérleti alagút teljesen pontosan azonos felületi geometriája révén lehetővé vált, hogy minden eredményt közvetlenül összehasonlíthassanak, és így megalapozott következtetéseket vonhassanak le a felületi tulajdonságokról és ezek hatásáról.





4. ábra: Különböző megvilágítási példák az alagútfalra igen kicsi (felül) és nagy fényssűrűség esetén (alul)
(Forrás: Broll világítási rendszerek)

1. táblázat: Különböző értékelési állapotok

A belső héj értékelési állapota	Oldalfalak	A felület állapota	Alagút főte (záradék)
1	Alagút bevonat	Átvételi	Szennyezett
2	Alagút bevonat	Átvételi	Tisztított
3	Alagút bevonat	Enyhén szennyezett	Szennyezett
4	Alagút bevonat	Enyhén szennyezett	Tisztított
5	Alagút bevonat	Tisztított	Szennyezett
6	Alagút bevonat	Tisztított	Tisztított
7	Szürke lőtt habarcs	Átvételi	Szennyezett
8	Szürke lőtt habarcs	Átvételi	Tisztított
9	Fehér lőtt habarcs	Átvételi	Szennyezett
10	Fehér lőtt habarcs	Átvételi	Tisztított
11	Alagút bevonat	Erősen szennyezett	Szennyezett
12	Alagút bevonat	Erősen szennyezett	Tisztított
A pályabeton értékelési állapota	A pálya	A felület állapota	Alagút főte (záradék)
1	Aszfalt	Átvételi ¹⁾	–
2	Közönséges mosott beton	Átvételi	–
3	Világos mosott beton	Átvételi	–

¹⁾ Az aszfaltot homokfúvással kezelték, hogy a felületi állapota mintegy 1 éves használat utánihoz hasonlítson (enyhe világosodás, mert a pályafelületen a forgalom a kőzetszemcsékről a bitumment lekoptatja).



a



b



c



d



e



f



5. ábra: A betonfelület készítése a kísérleti alagút számára

- a: Az előkészített 3,2 x 23,4 m-es kisegítő zsaluzat
- b: A közönséges mosott beton készítése (MV101-felső betonréteg, F52 $D_{max} = 8$ mm, CEM II/B-S 42,5N [DZ], titánoxid nélkül)
DZ = útburkolati cement (Deckenzement)
- c: A világos mosott beton készítése (MV102, felső betonréteg, F52, $D_{max} = 8$ mm CEM II/B-S 42,5N [DZ], titánoxiddal) és az utókezelő szer felhordása
- d: A betonlemez felvágása lemezelemekre (1,2x0,8 m)
- e: Az elemek tárolása
- f: A kész mosott beton felület
(Forrás: SMG)

2.2 A betonpályalemez készítése

A betonpályalemeznek a kísérleti alagút számára cserélhetőnek és szállíthatónak kellett lennie, hogy a kísérlet során a különböző vizsgálati beállításokhoz változtatni lehessen őket. A betonfelületek az RVS 08.07.02 [4] szerint felső betonréteggént készítették el, mosott beton kivételben. A szokásos betonpályán kívül (MV 101) készült egy titánoxid színezéssel fehérített változat is (MV 102). A pályalemezt kisegítő zsaluzatban, 2 cm vastag XPS lemezekben készítették, 8 cm vastagságban. A lemez kb. 45 m² területű volt. A cementpép kikéfézése után („mosott beton”) a lemezt 72 db 80x130 cm-es darabra vágták szét és az 5/e. ábra szerint egymásra rakva tárolták.

Az MV 101 és MV 102 beton receptúrák keverési arányai, ill. az ONR 23303:2010 [5] szerinti frissbeton vizsgálati eredmények a 2. táblázatban találhatók. [2]

2. táblázat: Az elkészített betonpálya frissbeton adatai		
	Szokásos mosott beton (MV 101)	Világos mosott beton (MV 102)
Cementtartalom Lafarge Mannersdorf, CEM II/B-S 42, 5 N, DZ	470 kg/m ³	470 kg/m ³
Légtartalom (frissbeton vizsgálat)	12,0%	8,0%
v/k (k=kötőanyag) tényező	0,39	0,39
Adalékanyag (gömbölyű) 0/1 Schönkirchen	500 kg/m ³	500 kg/m ³
Adalékanyag (zúzott) 4/8 Alas Solosnica	1200 kg/m ³	1200 kg/m ³
Akalékszer 1, Betontechnik Duriment LP 100	4,0 kg/m ³	2,1 kg/m ³
Adalékszer 2, Betontechnik Duriment LZF	4,2 kg/m ³	4,2 kg/m ³
Terület (konzisztencia)	58 cm	48 cm
A frissbeton testsűrűsége	2119 kg/m ³	2257 kg/m ³
Titánoxid hozzáadás	nem	igen, a cementtömeg 3%-a

2.3 A kísérleti alagút átalakítása

A Junger cégnél már meglévő kísérleti alagutat (alagút-szakaszt) alakították át azért, hogy a kísérleteket változatlan keretfeltételek mellett végezhesék el (6 a – 6 f ábra). Ehhez a talajt leaszfaltozták, az egyik portált elfalazták, a másikat fényt át nem eresztő, feketere mázolt faszaluzattal lezárták.

A mérésekhez az értékelési állapotnak megfelelően a kétféle betonpályalemez egyikét rakták fel, vagy szabadon hagyták az aszfaltburkolatot. A Broll cég által szállított világító testeket felszerelték és a kívánt vezérléssel ellátták. Az Electric Special két fénysűrűség mérőt szerelt fel a fénysűrűség mérésére mind az alagútfalon, mind a pályalemezen. A próbaüzem során a vezérlőszekrényt és a szabályozástechnikát mindhárom lámpatípusra (LED, NAV, HQI) bevizsgálták. Úgy állították be a mérést, hogy alapvetően mindhárom lámpatípus esetén, a pályalemez felszínén 10 cd/m^2 fénysűrűség keletkezzék.

A 7. ábrán a mérési előkészítő lépések láthatók az alagútzáradék (főte, boltozat) és az alagútfal színe, illetve a pályalemez felület kombinációjával.

6. ábra: A kísérleti alagút

- a: A Junger cégtől származó kísérleti alagút eredeti állapota
- b: A kutatáshoz átalakított kísérleti alagút kívülről, a zárt alagútbejáráttal és az előtte tárolt pályaburkolati elemekkel
- c: Az átalakított kísérleti alagút fekete kapuzattal és betonpályával
- d: A kísérleti alagút aszfaltpályával „átvételi állapotú” alagútfallal és „szennyezett” mázolású záradékkal (főtével)
- e/f: Az MA 39 megvilágítás mérései (Forrás: SMG)



a



c



e



b



d



f



a



b



c



d

7. ábra: A különböző értékelési állapotoknak megfelelő előkészítés a kísérleti alagútban
a: A betonpálya elemek felrakása
b: Az oldalelemek elhelyezése
c: A lámpák felszerelése
d: Az alagútbelső héjazat mázolója a bevonati rendszerrel
(Forrás: SMG)



a



b



c



d

2.4 A mérések lebonyolítása

A mérések folyamán a különböző értékelési állapotokat vizsgálták (lásd. 1. tábl.). Az első munkaütemben a mindenkori felületet készítették el az alagút falakon a kérdéses színek, ill. anyagok alkalmazásával. Ezután a pályafelületeket, ill. az alagút főtéjét a mérendő értékelési állapotnak megfelelően hozzá igazították. Ha az 1. táblázat szerinti egyik értékelési állapotot előkészítették, akkor a három közül az egyik alagútvilágítási lámpatípust szerelték fel.

A méréseket ezután „fény-tömören”, teljesen fényzáróan elsötétített alagútban végezték. A lámpákat mindig úgy állították be, hogy a pályafelületre 10 cd/m^2 fényssűrűség jusson. Az alagútbélésfal fényssűrűségét egyidejűleg megmérték. Amikor az üzem állandó értékre beállt, akkor ez a mérés befejeződött és következhetett a lámpacsere.

8. ábra: Az Irdning-i kísérleti alagút munkarészletei

a: A méréshez előkészített alagút

b: A NAV lámpa

c: A megvilágítás vezérléséhez szükséges kapcsolószekrény

d: Méréstechnikai egység

(Forrás: SMG)



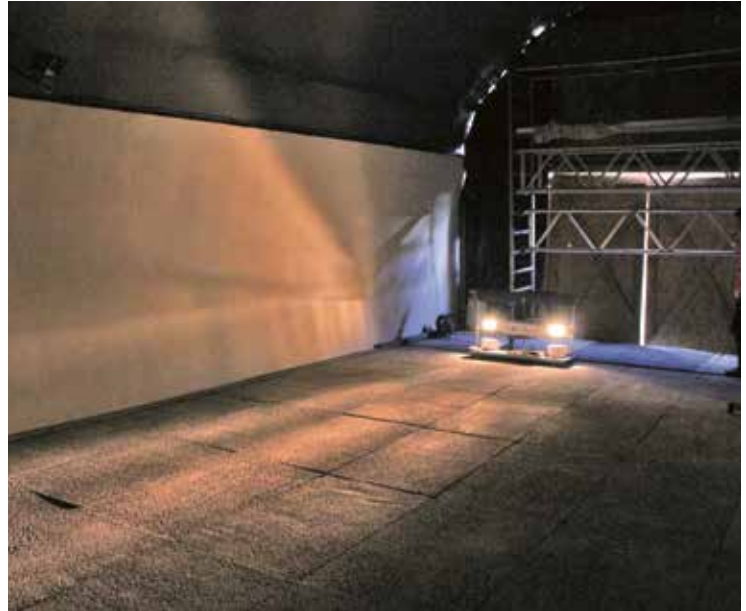
a

9. ábra: Az alagútban lévő tárgyak láthatóság-elemzésének mérése különböző felületek esetén

a: A lépcsős autótánczat

b: Az elsötétített alagút berendezése a fényképfelvételekhez

(Forrás: SMG)



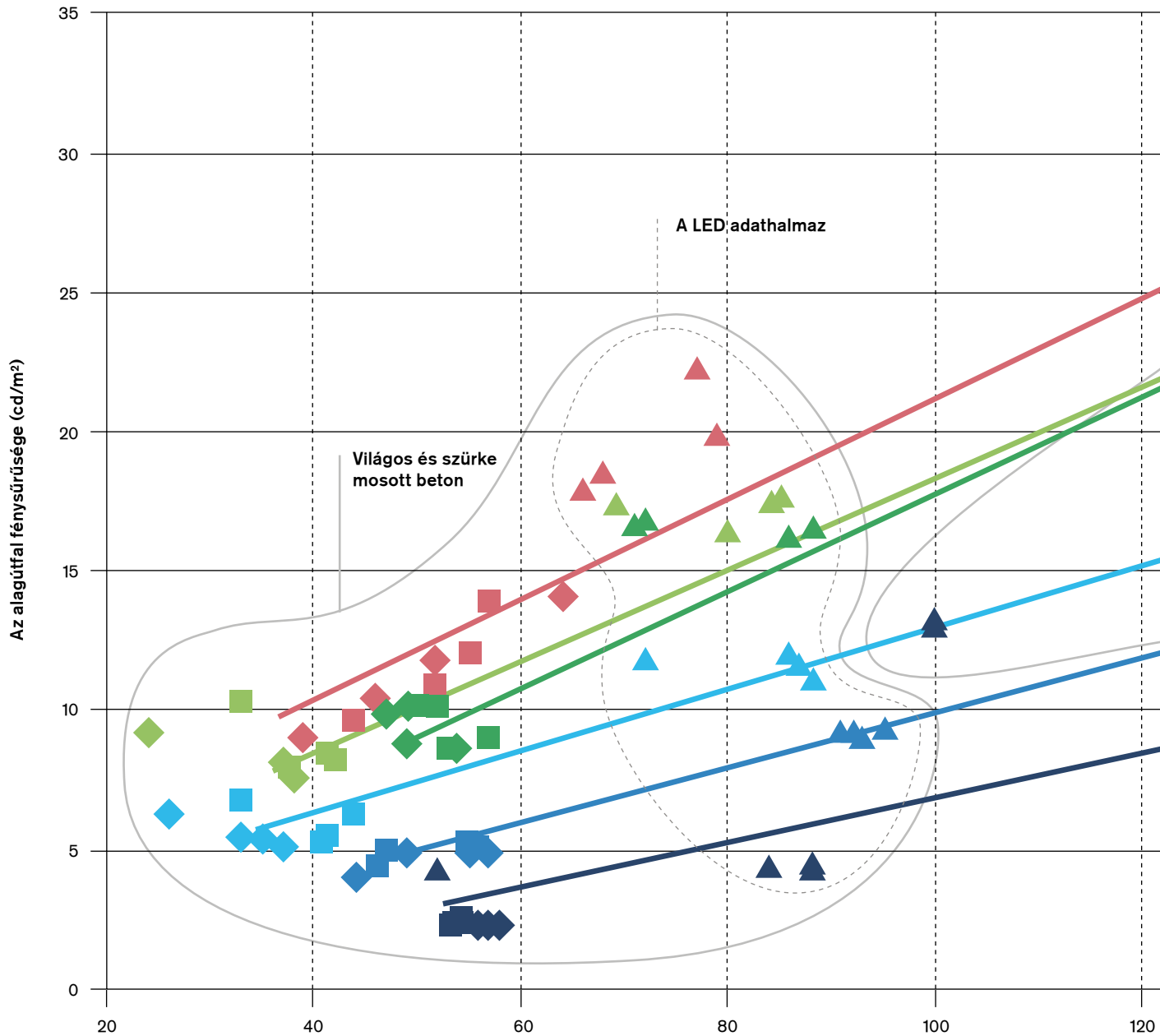
b

A világossági állapot mérés technikai számszerűsítésén kívül az alagútfal-bevonat, a pálya és a lámpafajták kombinációinak kiválasztott eseteire fényképezési úton is rögzítették a meg- és kivilágítási állapotokat. A képszerű (vizuális) megértés érdekében egy autótánczaton helyezték el az alagútnak mindig ugyanazon pontján. A méreteket (fényoszórók távolsága) az autó utánczaton a kisebb alagútméretekhez igazították. Az összehasonlíthatóság szavatolhatósága érdekében a fényképeket mindig azonos blendével (4,5) és azonos 18 m-es gumiobjektívvel (zoom), illetve ISO szerinti 3200-as beállítással vették fel. A fényképeket mind pályán álló személyekkel, mind személyek nélkül készítették el, különböző fénybeállításokkal. A 9. ábrán a kérdéses autótánczaton (autóhelyettesítő lépcsős pad) és az elsötétített alagútban készített fénykép látható.

3. Eredmények

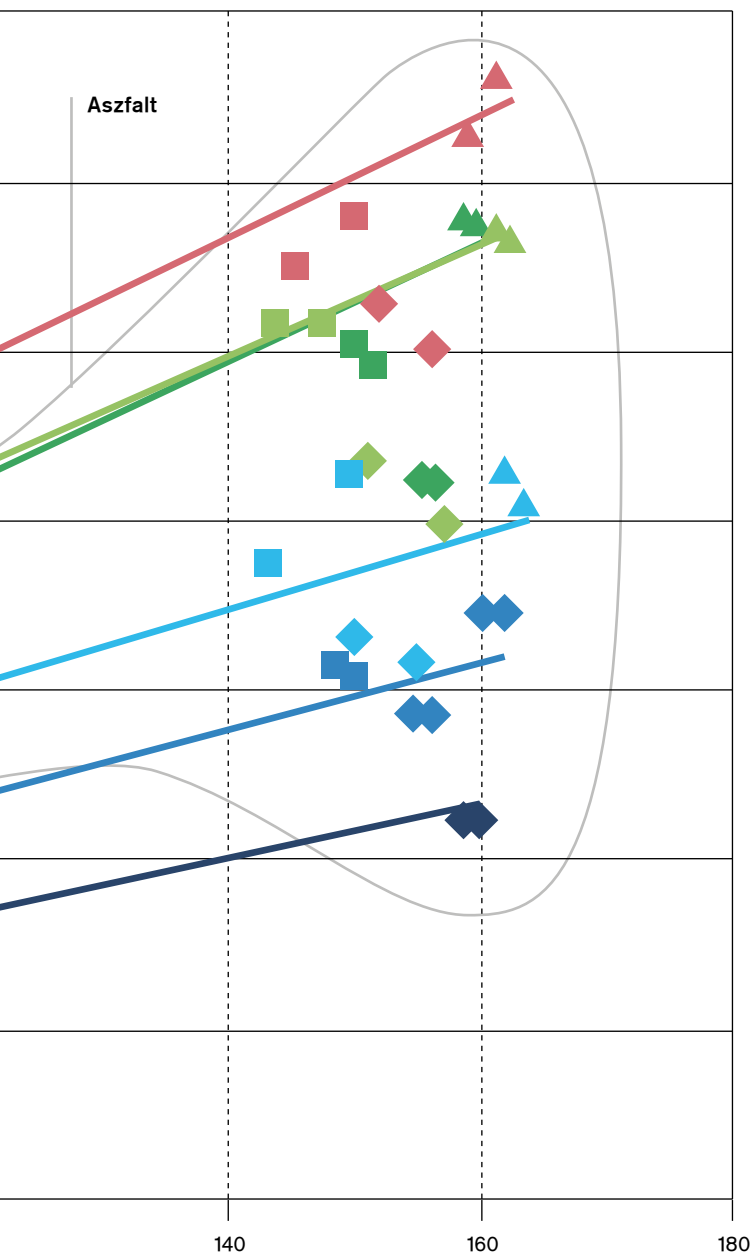
A kutatási feladat folyamán az alagútban 36 értékelési állapotot rendeztek be és elemezték ezeket. A mérési eredményeket és a hozzájuk tartozó értékelést diagramok formájában találhatjuk meg. A három lámpatípus HQI, NAV és LED teljesítménye 100, 100 és 105 W értékkel összehasonlítható. A lámpák teljesítményadatait az aszfaltburkolat esetén extrapolálni kellett, mert egyik lámpa sem tudott 100%-os teljesítményük ellenére sem a pályafelületen 10 cd/m^2 fényűrűséget elérni.

A 10. ábrán az alagútfal fényűrűsége látható a lámpák teljesítményének függvényében, 10 cd/m^2 pályafelületi fényűrűség esetén. Az eredménypontokat lineáris függvényekkel közelítették. Ezáltal a különböző alagútbevonat rendszerek a pályafelülettől és a lámpatípustól függetlenül fényűrűségük szerint sorba rendezhetők.



Áramfogyasztás a max. teljesítmény, %

- | | |
|---|---|
| — Fehér lőtt habarcs | ◆ HQI „Átvételi” alagút fal bevonat |
| — Tisztított falbevonat | ◆ HQI Enyhén szennyezett alagút bevonat |
| — „Átvételi” falbevonat | ◆ HQI Erősen szennyezett alagút bevonat |
| — Szürke lőtt habarcs | ◆ HQI Tisztított fal bevonat |
| — Enyhén szennyezett alagút bevonat | ◆ HQI Szürke lőtt habarcs |
| — Erősen szennyezett alagút bevonat | ◆ HQI Fehér lőtt habarcs |



10. ábra: A mérési adatok teljes áttekintése, - a színek az alagút fal bevonatok szerint változnak. A fehér lőtt habarccsal érhető el a legnagyobb alagútfali fényssűrűség

3.1 A pályaburkolat hatása

A mérési eredmények két csoportra oszthatók. Az „aszfaltburkolat” eredmények csoportja (felhője) a legnagyobb, csak extrapolációval kiszámítható áramfogyasztást jeleznek a max. teljesítmény 140 és 165%-a között. Ezek a nagy lámpateljesítmények szükségszerűen igen nagy fényssűrűséget eredményeznek az alagútfalakon.

A második adatfelhő a „szokásos mosott beton” és a „világos (fehérített) mosott beton” adatait tartalmazza. Ez esetben az eredménypontok egyértelmű besorolásával sem kapható alapvető különbség a kétféle pályafelület között. Például a „Led-alagútfal enyhén szennyezett” 4 db (kék gúla) adatpontja kb. egy függőlegesen fekszik és így az áramfogyasztásukban alig van különbség. Általában a LED lámpák (gúlákat) ebben az adatfelhőben külön lehatárolhatók (10. ábrán, balra, a szaggatott határvonal). Ezek átlagosan közepes áramfogyasztással a legnagyobb fényssűrűséget eredményezik az alagútfalon.

- | | |
|---|---|
| ■ NAV „Átvételi” alagút fal bevonat | ▲ LED „Átvételi” alagút fal bevonat |
| ■ NAV Enyhén szennyezett alagút bevonat | ▲ LED Enyhén szennyezett alagút bevonat |
| ■ NAV Erősen szennyezett alagút bevonat | ▲ LED Erősen szennyezett alagút bevonat |
| ■ NAV Tisztított fal bevonat | ▲ LED Tisztított fal bevonat |
| ■ NAV Szürke lőtt habarcs | ▲ LED Szürke lőtt habarcs |
| ■ NAV Fehér lőtt habarcs | ▲ LED Fehér lőtt habarcs |

3.2 Az alagútfal-hatás

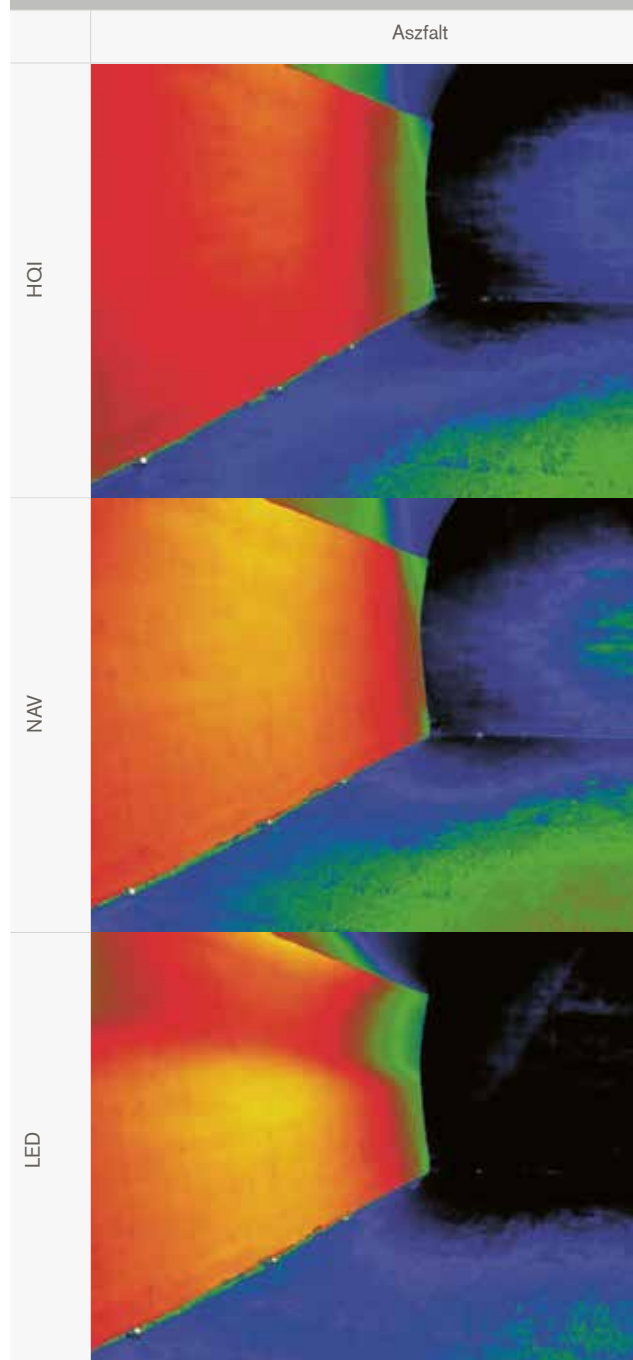
A várakozásnak megfelelően a fehér lőtt (torkrét) habarcs hozza a legjobb eredményeket. A pálya- és lámpatípustól függetlenül ez adja az alagútfalon mérhető legnagyobb fény-sűrűségeket. Ha összehasonlítjuk az egyébként legjobb fehér lőtt habarcsot a NAV és a HQI világítás esetére másféle alagútfal felület kiképzésekkel, akkor a legjobb fehérhabarcsos fény-sűrűséggel mindenképpen összehasonlítható az „átadási”, ill. a „tisztított” állapotú alagútfallal. A különbségek itt nagyon kicsik.

Az „átadási” és a „tisztított” állapotú alagútfal-kiképzések pontjai a 10. ábra szerint nagyon közel futnak egymáshoz. A szürke lőtt habarcs eredményei jobbak, mint az „enyhén” vagy „erősen” szennyezett alagútfal bevonatok. Az „erősen”, ill. „enyhén” szennyezett bevonat adja a legkisebb eredményeket: 2,5-10 cd/m², ill. 5-15 cd/m².

Általában véve az új („átadási”), ill. a „tisztított” alagútfal-festék hatása a 10 cd/m² pályafelszín megvilágításhoz szükséges áramfogyasztásra kicsi. Ezt egyértelműen szemléltetik a 10. ábra bal alsó sarkában lévő HQI és NAV lámpák pontjai. Itt az összes értékelési állapothoz tartozó NAV- és HQI megvilágítás áramfogyasztása hasonló, kb. a maximális teljesítmény 40-60%-a.

Az alagút mosása lényeges előnyt jelent a közlekedésbiztonságban. Az alagútfal világossága például 2,5 cd/m²-ről 8-10 cd/m²-re nő meg, ha az „erősen szennyezettből” a „tisztított” állapotba kerül, azaz a javulás háromszoros a fal fény-sűrűségében.

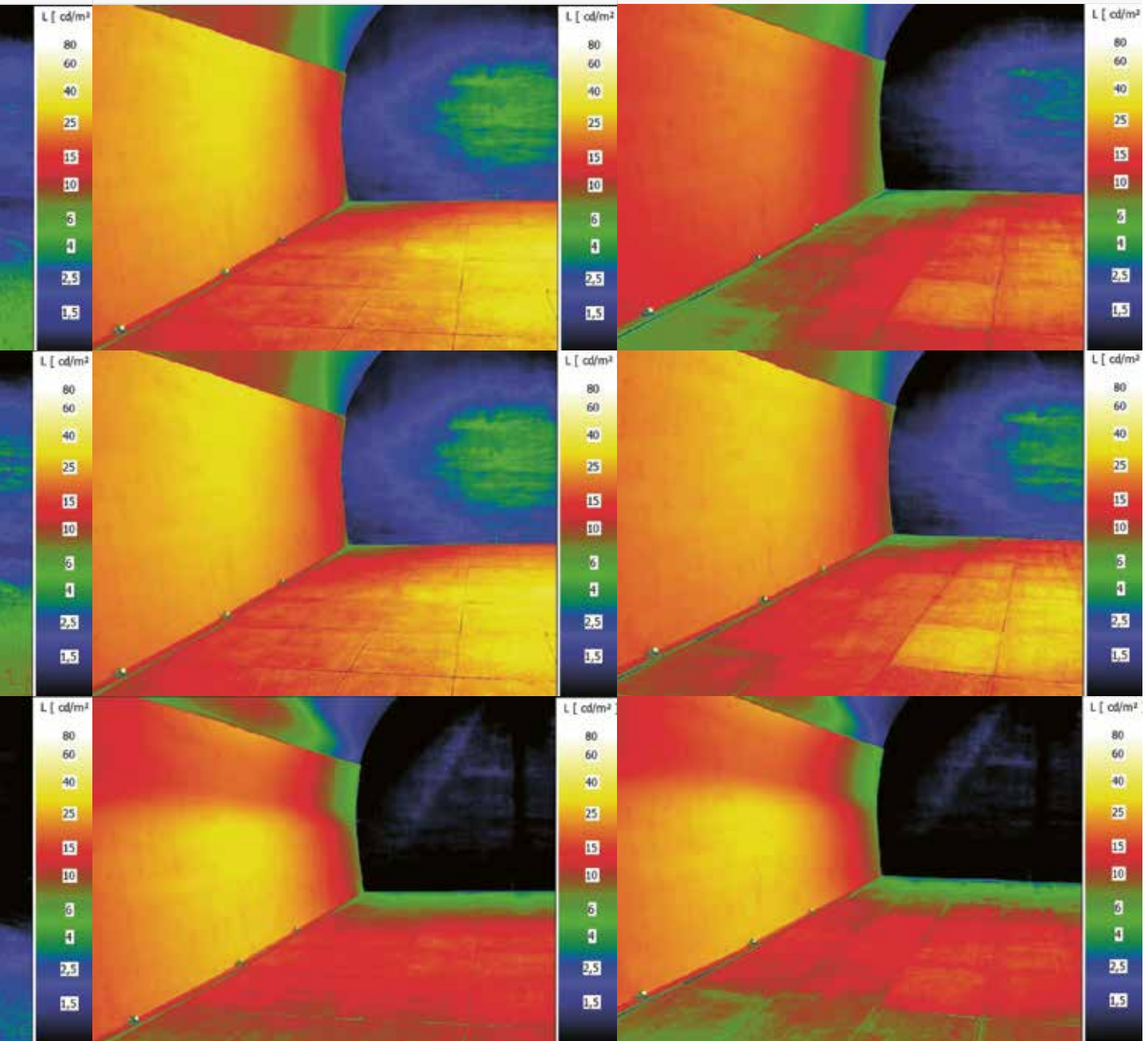
"Átadási" alagútfal bevonat - "Tisztított" főté

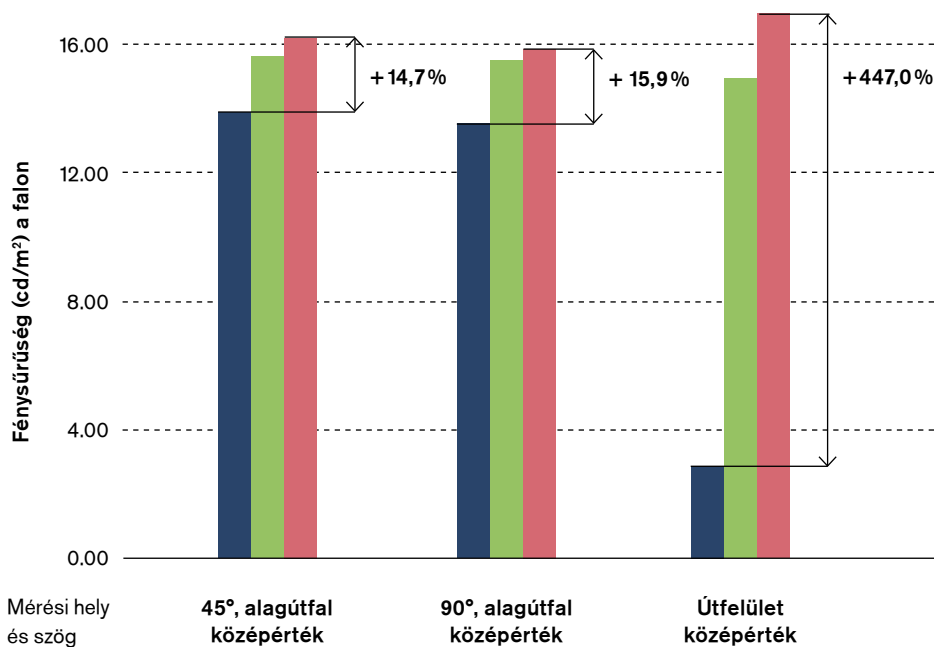


11. ábra: Fény-sűrűség képek a kísérleti alagútban aszfalt, világos, ill. közönséges mosott beton esetén, tisztított főtével (záradékkal). Alagútfal bevonat: átvételi állapotban (Az MA 39 Hatósági Osztály felvétele)

Világos mosott beton

Közönséges mosott beton





12. ábra: Az alagútfal fényssűrűsége különböző útpályák és mérési szögek (45°, 90°) esetén. Mindig átlagértéket tüntettünk fel az alábbi értékelési állapotokra együttesen. Értékelési állapotok: „főte szennyezett”, „főte tisztított”; továbbá NAV, HQI és LED lámpák.

- Aszfalt
- Közönséges mosott beton
- Világos mosott beton

3.3 Az MA 39 (Bécs városának építésfelügyeleti osztálya) fényssűrűségi mérés eredményei

Bécs városának Vizsgáló-, Felügyeleti- és Hitelesítő Hatóságát (MA 39-es Polgármesteri Osztály) megbízták azzal, hogy különböző értékelési állapotokban, 100% lámpateljesítmények esetén méréstechnikailag állapítsa meg az alagútfelületek fényssűrűségét és a színekre vonatkozó adatait. A fényssűrűségi és a színekre vonatkozó méréseket az ÖNORM EN 13201-4:2005 „Utak megvilágítása – az utak megvilágítására szolgáló berendezések minőségi jellemzőinek mérési módszerei” előírás [6] szerint egy, a helyszínre alkalmazott fényssűrűségmérő, 1,5 m magasan elhelyezett kamerával végezték. A mérőeszköz egy fényssűrűséget rögzítő mérőfejjel ellátott fotométer volt.

A 11. ábrán az MA 39 által készített fényssűrűségi képek láthatók az alagútfal bevonatok „átadási” állapotáról.

Ezek a fényssűrűségi képek egyértelműen igazolják az aszfalt- és a betonpálya közti különbséget. (A függőleges skála $L = \text{cd/m}^2$ fényssűrűség mértékegységű).

A 12. ábrán a fényssűrűségi középértékek láthatók (a HQI, NAV és LED lámpatípusokra) az összes vizsgált felületre, különböző pályafelszínek esetére. A betonpályák fényssűrűsége több, mint ötszöröse – azonos megvilágítási energia esetén – az aszfalténak (világos mosott beton: $16,9 \text{ cd/m}^2$; közönséges mosott beton: $15,0 \text{ cd/m}^2$; aszfalt: $2,9 \text{ cd/m}^2$).

A 13. ábrán az MA 39 fényssűrűségi mérési eredményei oszlopdigramok formájában láthatók az alagútfal „átadási” állapotában. A jobb összehasonlíthatóság végett itt az értékelési állapotok közül csak az alagútfal-záradék (főte) tisztított állapota szerepel.



13. ábra: Fénysűrűség az alagútfalon (rátekintési szög 45° és 90°) és a pályafelületen (0°), „átvételi állapotú” alagútfal bevonat esetén a különböző pályakiképzésekre és lámpafajtákra

3. táblázat: Fénysűrűségek (lámpa- és pályaféleségek) szerint

Pályafelület	HQI	NAV	LED
Aszfalt (cd/m²)	2,6 (HQI)	3,6 (NAV)	1,5 (LED)
Világos mosott beton (cd/m²)	17,7 (HQI)	25,4 (NAV)	12,4 (LED)
Közönséges mosott beton (cd/m²)	15,5 (HQI)	21,6 (NAV)	11,4 (LED)

Az alagútfalak fénysűrűsége a betonpályák esetén lényegesen nagyobb, ezen belül a legjobb eredményt a világos mosott betonnal érték el. Ha aszfaltról a világos mosott betonra váltunk, akkor 21%, ha közönséges mosott betonra, akkor 15% a fénysűrűség növekménye. Még nagyobb a különbség az útpálya felszínének fénysűrűségében (lásd: 3. táblázat).



a



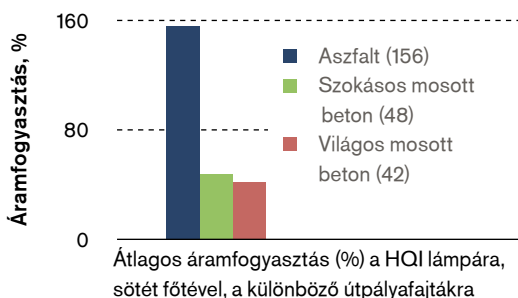
b



c

14. ábra: A pályafelületek kivilágítása összehasonlítható esetekben

- a Szokásos beton
- b Világos beton
- c Aszfalt



15. ábra: Egy HQI lámpa teljesítményének középértéke (Watt) 10 cd/m² fényssűrűség esetén az összes vizsgált pályafelület és alagútfal-szín adatainak átlagában

3.4 A pályafelszín megvilágítása: a közlekedésbiztonság javulásának bemutatása

McIntosh [7] már 1987-ben közzétette, hogy a betonpályák kedvezőbbek, mint az aszfaltpályák a jobb fényviszszaverő képességük miatt és így a közlekedésben a tárgyak láthatósága és a világosság javul. A közlekedésbiztonság javulásának bemutatására e kutatási munkában a kísérleti alagútban összehasonlítható feltételek között végeztek kísérleteket és fényképfelvételeket készítettek.

A kísérleteket elsötétített alagútban végezték az autótúntázzal fényoszóró, ill. tompított fény beállításával, ugyanabba a kameraállásban. A 14. ábrán alagút kivilágítás nélküli helyzetben felvett képek összehasonlítása látható.

Általában a betonpályák a tompított fény használatával lényegesen világosabbak és jobban megvilágítottak. A világos, ill. a közönséges mosott beton között az a vélhető különbség, hogy a 14. a ábra szerinti közönséges mosott betonon valamivel sötétebb a fénykép és lágyabbak a színek, míg a 14. b ábrán a világos mosott beton esetén a fénykép fehérebb. A beton világos volta és a jobb fényvisszaverő-képessége miatt a tárgyak, pl. egy gyalogos lényegesen korábban és jobban felismerhető. A 14. c ábrán látható aszfaltburkolatot a tompított fény csak gyengén világítja meg és ezért a pályán lévő tárgyak csak később és rosszabbul ismerhetők fel.

Hasonló eredményekre jutunk a fényoszórós esetekben is. A beton a fénynek nagyobb részét veri vissza és így a közlekedési tér jobb kivilágítását érzük el. A különbségek azonban kisebbek, mert a fényoszóró magasabbra és fókuszszerűen van beállítva, ezáltal az útpályára kevesebb fény esik és így a fényvisszaverődés is kisebb.

3.5 A megvilágítás költségei

A megvilágítás költségeit az áramfogyasztás és a maximális teljesítmény viszonzyszámaként mutatjuk be. A 15. ábrán, a háromféle pályafelületen 10 cd/m² fényssűrűséghez tartozó tényleges áramfogyasztást adjuk meg a HQI lámpa maximális teljesítőképességének %-ában, az összes előforduló alagútfal-szín átlagában. Az aszfaltburkolat esetében a 10. ábrán látható extrapolált teljesítmény-értékeket hasonlítottuk össze a „világos” és a „sötét” mosott beton %-értékeivel. Jellemző, hogy 10 cd/m² fényssűrűség esetén igen nagy lámpateljesítményre van szükség az aszfaltpályához, - kb. négyszeres az áramfogyasztás a betonpályához képest. Eme igen nagy különbség oka az, hogy ezeket a méréseket csak egyetlen lámpát használva végezték. Az aszfaltfelület kialakítása olyan, hogy a lámpa legnagyobb teljesítményével sem lehetett elérni a 10 cd/m² fényssűrűséget. Emiatt lineáris extrapolációval egyenlítették ki a teljesítményeket, hogy az összehasonlíthatóság helyreálljon.

Az alagútfal színének hatása a pálya fény­sűrűségére és így az áramfogyasztásra is lényegtelen, ezért ezt a hatást az ábrában nem tüntették fel.

4. Összefoglalás

E kutatási munka folyamán egy kísérleti alagútban nagy­számú különböző megvilágítási helyzeteket szimuláltak azonos feltételek között és ezeket értékelték.

A betonpálya hatása egy alagút fénytechnikai tulaj­donságaira szignifikánsnak, döntőnek íté­lhető meg. A pályától megkövetelt fény­sűrűséget, a lámpák típusától függetlenül betonburkolat esetén sokkal kisebb lámpateljesítménnyel lehetett elérni. Elméletileg az aszfaltburkolathoz képest kb. kétharmaddal csökkenthető a lámpateljesítmény. A szokásos pályabeton és a titán­dioxiddal, mint cement-kiegészítővel készített (világo­sabb) beton közti különbség elhanyagolható. Általában a tárgyak, mint pl. egy gyalogos a beton világosabb meg­jelenése és jobb fényvisszaverő képessége miatt sokkal korábban és jobban felismerhető. A beton a fénynek nagyobb részét veri vissza és így a közlekedési térnek közvetett kivilágítását eredményezi. Alig lehet különbséget találni a „világos mosott beton” és a „sötét mosott beton” összehasonlító fényképei között és utánzott gépkocsi fény­sűrűség és gyalogos esetében. Az MA 39 által készített fény­sűrűségi képeken láthatóvá válnak az alagútfalak és a pályaburkolat fény­sűrűségi különbségei és ezek igazolják az előbbi szubjektív láthatósági benyomásokat. A mért fény­sűrűségek is igazolják ezt a megfigyelést: a fény­sűrűség (cd/m^2) betonpálya esetén ugyanazon világítási telje­sítmény esetén mintegy 450%-kal nagyobb.

Fordította:

dr. Erdélyi Attila okleveles mérnök
tudományos tanácsadó (CEMKUT Kft.)
nyug. egyetemi docens (BME)

(A fordító megjegyzése: a fény­sűrűség [németül: Lichtdichte vagy Leuchtdichte vagy Leuchtintensität] mértékegysége cd/m^2 , azaz fényerősség/felület)

Irodalmi hivatkozások

- [1] DIN 67 524: Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen – Teil 1: Allgemeine Güte­merkmale und Richtwerte. Juli 2008
- [2] DIN 67 524: Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen – Teil 2: Berechnung und Messung. Juni 2011
- [3] RVS 09.02.41: Tunnel. Tunnelausrüstung. Licht­technik. Beleuchtung. Österreichische For­schungsgesellschaft Straße – Schiene – Ver­kehr. Wien. Februar 2014
- [4] RVS 08.17.02: Technische Vertrags­bedingungen. Betondecken. Decken­herstellung. Österreichische Forschungs­gesellschaft Straße – Schiene – Verkehr. Wien. 2011
- [5] ONR 23303: Prüfverfahren Beton (PVB) – Nationale Anwendung der Prüfnormen für Beton und seiner Ausgangsstoffe. Austrian Standards Institute. Wien. 2010
- [6] ÖNORM EN 13201-4: „Straßenbeleuchtung. Teil 4: Methoden zur Messung der Güte­merkmale von Straßenbeleuchtungsan­lagen“, Austria Standards Institute. Wien. 2005
- [7] McIntosh, B.: Do Concrete Streets really reflect up?; Concrete International. July 1987

A Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség tagjai

„AUTARK” Szolgáltató Kft.
www.autark.hu

Beton Technológia Centrum Kft.
www.btclabor.hu

B&Z-BETON Kft.
www.bzbeton.com

Calmit Hungária Kft.
www.calmit.hu

Carmeuse Hungária Kft.
www.carmeuse.hu

CEMKUT Cementipari
Kutató-fejlesztő Kft.
www.cemkut.hu

CRH Magyarország Kft.
www.crhhungary.com

Danubiusbeton Dunántúl Kft.
www.beton-rendeles.hu

Danubiusbeton-Szolnok Kft.
www.cemex.hu

Duna-Dráva Cement Kft.
www.duna-drava.hu

Első Beton Kft.
www.elsobeton.hu

LAFARGE Cement
Magyarország Kft.
www.lafarge.hu

Mapei Kereskedelmi Kft.
www.mapei.hu

MC – Bauchemie Kft.
www.mc-bauchemie.hu

Mondi Bags Hungária Kft.
www.mondigroup.com

NORD-POINT Kft.
www.nord-point.hu/beton

PARTNER Betonelemgyártó
és Fémipari Szolgáltató Kft.
www.partnerpaks.hu

„PREMIER” Minőségvizsgáló
Technológiai Kft.
www.premierkft.hu

Readymix Hungária Kft.
www.beton-rendeles.hu

Readymix Zala Kft.
www.beton-rendeles.hu

Sika Hungária Kft.
www.sika.hu

TBG Balatonboglár
Transzportbeton Kft.
tbgboglar@t-online.hu

TBG Otolec Transzportbeton Kft.
otolecz@t-online.hu

TPK BETON Kft.
tpkbeton@pr.hu

A Magyar Betonelemgyártó Szövetség tagjai

ASA Építőipari Kft.
www.asa.hu

betonEPAG Építőanyaggyártó Kft.
www.betonepag.hu

Beton-Star Kft.
www.betonstar.hu

dvb Dél-Magyarország
Vasbetonipari Kft.
dvb@dvb-szeged.hu

Első-Beton Kft.
www.elsobeton.hu

FERROBETON Zrt.
www.ferrobeton.hu

K.V. Építőipari Kereskedelmi
és Szolgáltató Kft.
www.kvkft.hu

Lábatlani Vasbetonipari Zrt.
www.railone.hu

SW UMWELTECHNIK
Magyarország Kft.
www.sw-umwelttechnik.hu

Avers Fiber Kft.
www.avers.hu

CRH Magyarország Kft.
www.crhhungary.com

MC–Bauchemie Kft.
www.mc-bauchemie.hu

Peikko Magyarország Kft.
www.peikko.hu

Sika Hungária Kft.
www.sika.hu

CeM Beton®
az építés alapja

Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség
H-1034 Budapest, Bécsi út 120. H-1300 Budapest, Pf: 230
E-mail: cembeton@mcsz.hu
www.cembeton.hu



Magyar Betonelemgyártó Szövetség
H-1191 Budapest, Úllói út 206. B.ép. I. lh. 216.
E-mail: info@mabesz.hu
www.mabesz.hu

A Magyar Cement-, Beton- és Mészipari Szövetség és a Magyar Betonelemgyártó Szövetség kiadványa.
Készült a lenti szövetségek update 46 című, 2016. novemberi kiadványának fordításával, az eredeti kiadók engedélyével.

BETONSUISSE



BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Bern
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

InformationsZentrum Beton GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Telefon +49 (0)211 28048-1, Fax +49 (0)211 28048-320
erkath@beton.org, www.beton.org

Verein Betonmarketing Österreich
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton
Handels- und Werbeges.m.b.H., Reisnerstraße 53, A-1030 Wien
Telefon +43 (0) 1 714 66 85-0
zement@zement-beton.co.at, www.zement.at