

A biztonság növelése textilanyagok közreműködésével a Forma-1-en

Kutasi Csaba

Kulcsszavak: Műszaki textil, Harmadik generációs szál, Kompozit, Halo, Biometria, Oximetria, Pulzoximéter, Ballisztikai védelem

A Magyar Textiltechnika 2012/4. számának 123-129. oldalain „A Forma-1 és textiliái” címmel már olvashattuk a „száguldó cirkusz” textiles vonatkozásairól. Ebben a cikkben az elmúlt évek biztonságot fokozó, életvédelmet szolgáló néhány fejlesztésével foglalkozunk annak kapcsán, hogy az idei Magyar Nagydíjat 2018. július 27-29. között rendezték a 4381 méteres Hungaroringen. A versenyzők biztonságát több megoldással segítik, többek között az 1953-ban bevezetett bukósisaktól és az 1972 óta kötelező hatpontos biztonsági övtől kezdve, a hő- és lánghatás ellen védő ruházaton át a fokozott fejvédelemig, vagy akár az ez évtől bevezetett biometrikus kesztyűig és a jövő évtől esedékes szupersisakig.

A textil- és ruhaipar termékei közvetlenül és közvetett módon számos területen megjelennek a Forma-1 világában. Elsősorban a műszaki textiliák körébe tartozó kompozitszerkezetek erősítívázai döntően harmadik generációs szálanyagokból kialakított struktúrák. A gumibroncsok kord vázai, a különböző hajtószíjak igénybevételeket viselő betétjei is speciális textilanyagok. Fontos szerepet töltenek be a több céllal használt szűrőkelmek, a kerámiaszálból készült szigetelők, a gumibroncsokat melegítő paplanok, vagy éppen a kerekeket bal eset esetén rögzítő pántok. A hatpontos biztonsági övek, a versenyzők komfortos védőöltözei (arc- és fejvédő maszk, ruházat, zokni, kesztyű), a sisak a HANS rendszerrel alapvető életmentő textiltermékek. A műszaki mentőcsapat, az orvosi team és a boxszemélyzet ruházata, az egyéni védőeszközöket megtestesítő öltözköztetők szintén a kiszolgáló személyzet óvására szolgálnak. Az új pályák építése, a meglevők vonalvezetésének módosítása a geotextiliákkal való alapozással kezdődik. A versenypálya körüli textilépítészeti kialakítások fő anyagai a kompozitjellegű membránszerkezetek. A szilárd aszfaltsáv melletti helyenkénti műfü is összetett textilszerkezet. Az üvegszál optika kábelek a műszaki kommunikáció fontos eszközei. A versenybírók zászlói, a reklámlógók és molinók is szakmánk termékei (1. ábra).



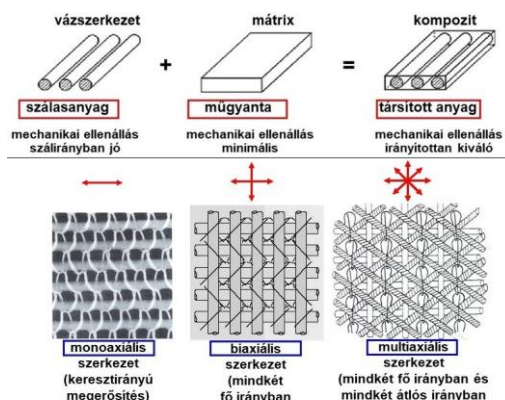
Műszaki- és egyéb textiliák a Forma-1 világában

1. ábra

Kompozitszerkezetek a versenyautóban

A fontosabbakat kiemelve, a monocoque (a versenyző körüli túlélő cella), a karosszériaelemek, a légterelő lapok és szárnyak, az egyes futóműalkatrészek, a kormány, a fékszerkezetek (tárcsa, betét) nagy szilárdságú és szívósságú, kis tömegű kompozitokból készülnek. Az anyagkombinációkból felépülő mesterséges anyagszálak annyira népszerű, hogy felhasználása kétszerese az acélénak. Az alapanyag a mátrix, az erősítő és egyéb elemek második fázis elnevezéssel terjedtek el. Az ún. erősítíváz teszi lehetővé, hogy az alapanyagtól eltérő kedvezőbb tulajdonságok legyenek elérhetők. A kompozitok előnye tehát egyrészt, hogy a tulajdonságok kombinációjaként újabb képességek hozhatók létre, másrészt ezek a tulajdonságok egy adott tartományon belül folyamatosan változhatnak (olyan fizikai jellemzőkkel is rendelkezhetnek, melyek külön-külön nem érhetők el csupán a mátrixszal ill. az erősítő anyaggal).

Az alkalmas újszerű polimerszálakat száltengely-irányba orientálódó, merev (pálcikaszerű) láncmolekulák jellemzik. A kétdimenziós rétegstruktúra a szénszálaknál jelenik meg, a háromdimenziós (izotróp, a tér minden irányában azonos tulajdonságú) felépítés pl. a mesterséges szervesetlen (pl. szilícium-dioxid alapú) szálaknál fordul elő. Általában textil szálanyagok (pl. szén-, aramid-, nagy molekulatömegű polietilén-szál stb.) alkotják a társított anyag vázát. Különleges megoldások is vannak, pl. poliészter magból és poliamid köpenyrészből felépülő bicomponens szálakat azért alkalmaznak, mert a speciális térbeli laza struktúra kedvez az egyedibb formájú kompozit termékek előállításának. A minden irányban (hossz-, kereszt- és átlós helyzetben egyaránt) közel azonos szilárdságú kelmeszerkezeteket többek között speciális kötött, ill. háromdimenziós szövött textillelletekkel ill. térbeli képződményekkel, valamint különböző irányú fonalseregek varvahurkolásos rögzítésével hozzák létre. Gyakorlati a többtengelyű láncrendszerű kötött kelmék,



A kompozit felépítése, példák a vázszerkezetekre

2. ábra



Bianchi fejét 254 G-s lassulás érthette

A 2014 évi Japán Nagydíjon következett be a szörnyű baleset
3. ábra

valamint széleskörűen megjelentek az átlós fonalfeketéssel kiegészített műszaki szövetek (2. ábra). Az elsősorban epoxigyantával, valamint poliszter mátrixszal, vinilészter- ill. akrilgyantával, PVC-vel, teflonnal végzett kenéssel ill. rétegezéssel kialakított összetett szerkezetek szilárdító vázát tehát a speciális összetételű és kialakítású textilanyagok képezik. Az egyéb felhasználási területű (pl. azbeszthelyettesítők a tengelykapcsoló- és fékbertékekben) társított szerkezetek szintén textilerősítésűek.

A biztonság folyamatos növelése

Néhány fontosabb intézkedés: pl. 1953 óta kötelező a védősisak, 1997 óta fel kell felszerelni mindegyik versenyautót fekete dobozzal, az előzést megtiltó biztonsági autót 1973-ban alkalmazták először a Kanadai Nagydíjért folyó futam során. Az 1975-óta elterjedt speciális védőruházatban a pilóták 11 másodpercig tartó hő- és lánghatást, akár 840°C hőmérsékletet is túlélhetnek. Hosszú ideje a pilótafülkéknek 250 tonnás becsapódást kell kivédeniük. 2003 óta a pilóták számára az ún. HANS rendszer jelent gerincvédő nyak és fejtámaszt. Idéntől kötelező versenyautó kiegészítő a Halo (bukókeret), vagy éppen a biometrikus kesztyű. Jövőre az új fejlesztésű szuper-sisak látja el a fej védelmét. Sajnos mindig egy tragédiát követett az újabb technikai és szabályfejlesztés (utóbbi nemcsak a pályára, hanem a boxutcára is folyamatosan kiterjed).

A Forma-1 történetének legdurvább becsapódását bizonyára az 1977-es Brit Nagydíjon balesetet szenvedő David Purley élte túl. Martin Donnelly az 1990-es Spanyol Nagydíjon a versenyautó ülésével együtt repült ki a Lotusból, ő is életben maradt. A 2001-es Belga Nagydíjon Luciano Burti mintegy 80 g lassulással csapódott a gumifalba. A 2014-es szezontól kötelező lett a fülhallgatóba épített gyorsulásmérő, amivel természetesen az ütközési lassulás mértéke is rögzíthető a „fekete dobozban”. A „G” a gravitáció kifejezésből származik, ami a Föld tömegvonzása, tengerszinten 9.81 m/s² (értékadásnál, képletben a „g” használatos). 1G-nek felel meg, ha a testtömegünk megegyezik a testmérelegen mért adattal. Fékezés esetén az F1-es versenyautókat 200 km/h-ról kb. 65 méter (kb. 2,21 másodperc) alatt képesek teljesen megállni, ami átlagosan 2,5 g lassulást jelent. Ugyanakkor maximális kezdeti lassulás a 4-5 g-t is eléri, egy 70 kg-os testsúlyú pilóta esetében ez 280-350 G.

Burti súlyos fejsérülést szenvedett, napokig mesterseges kómában tartották, majd több hónapos rehabilitáció után tért vissza tesztpilótaként, de versenyezni már nem tudott az F1-ben. Robert Kubica a 2007-es Kanadai Nagydíjon úgy ütközött, hogy az autót érő maximális erőhatás 75 G-t ért el, az átlagos lassulás ugyanakkor 28 g volt. A lengyel versenyző kisebb sérülésekkel megúsza,

néhány hét kihagyás után folytathatta a versenyzést. Heikki Kovalainen 2008-ban sértetlenül átvészelt egy durva balesetet Barcelonában.

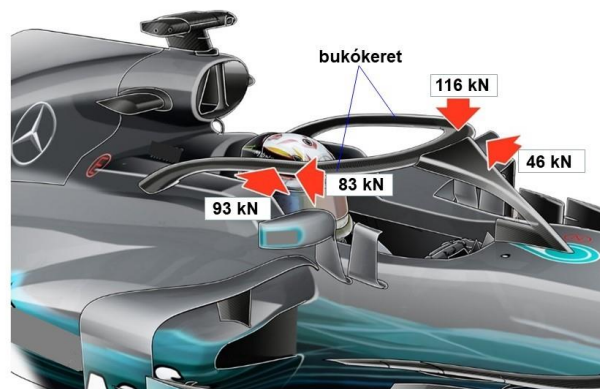
A 2014-es szezontól kötelező lett a fülhallgatóba épített gyorsulásmérő, amivel természetesen az ütközési lassulás mértéke is rögzíthető a „fekete dobozban”. Emlékeztet, hogy négy éve a Japán Nagydíj 44. körében Jules Bianchi nagy sebességgel belerohant egy másik autót műszakilag mentő 9 tonnás munkagépbe (3. ábra). A versenyautó kb. 5 méteres távolság alatt került teljesen álló helyzetbe, miközben a hatalmas szerkezetet 1,5 méterre felemelte. Az akkor előírt terhelést meghaladó erőhatás miatt a traktor alja teljesen leborotvált a motorburkolatot. A szenzorok első adatai szerint Bianchi feje 92 g-vel lassulhatott, azonban az érzékelők elmozdulása miatt utólag korrigált erőhatás a 254 G-t is elérhette. A kórába esett pilóta 2015. július 17-én elhunyt. A sajnálatos esemény miatt, amikor munkagép dolgozik a pálya mellett, a Safety Car köröz a műszaki mentés befejezéséig.

Halo elnevezésű bukókeret

A 2018-as szezontól kezdve minden versenyautón kötelező elem a Glória (Halo) elnevezésű fejtvédő bukókeret (4. ábra). A Forma-1 biztonsággal foglalkozó fejlesztői az idők folyamán szembesültek azzal, hogy fejtvédelem nem a sisakkal kezdődik. A pilótafülkére szerelt bukókeretet annak ellenére használni kell, hogy számos kritika (zavarja a versenyző kilátását, a sisak takarásával nehezíti a pilóta azonosítását stb.) szolt ellene.

Az első, acélból készített Halo prototípussal 2015-ben statikus tesztek végeztek. Egy sűrített nitrogénnel működő ágyúból kilőtt 20 kg-os gumiabroncs ellen megfelelő védelmet biztosított. Ezután a szénszálakba burkolt acélszerkezet következett, a 2016 februárjában végrehajtott próba is kelő eredménnyel zárult. Végül egy titánötvözetű bukókeret bizonyult a leghatékonyabbnak, ami egyetlen függőleges tartóval támasztja meg a vezető előtt álló szerkezetet, a versenyző feletti rész az F1-autó túlélő cellájához van rögzítve.

Miért éppen a titán mellett döntöttek? Emlékeztetül: a titán *William Gregor* fedezte fel 1791-ben. A 21 rendszámú elem számos ásványban előfordul, pl. fontos az ilmenit (FeTiO₃) és a rutil (TiO₂). A fémeket az ércekből a Kroll-, vagy Hunter-eljárással állítják elő. A fém rendkívüli előnye a kiváló korrózióállóság és a nagy szilárdság: sűrűség arány. 1650 °C-os olvadáspontja tűzálló fémnek teszi. Ötvözetlen formában szilárdsága vetekszik egyes



A Halo elnevezésű bukókeret teherbírási előírásai

4. ábra



a 2015 évi oroszországi futam edzésén történt baleset
Carlos Sainz 153 km/h-s sebességgel belerohant a pálya
melletti védőfalba

5. ábra

acélokéval, de sűrűsége kisebb. A titánt vassal, alumíniummal, molibdénnel, vanádiummal, egyéb elemekkel ötvözve nagy szilárdságú és kis sűrűségű ötvözet képezhető. Az F1-es show fokozásáért a versenyautók fenékpólemezt 2015-ben fáról titánlapra cserélték, így az aszfaltot érintve azóta ismét szikraesőt szórnak.

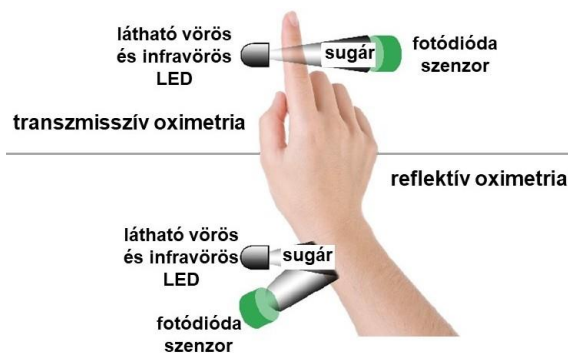
A keret szilárdságánál követelmény, hogy felülről 116 kN, előlről 46 kN, oldalról 83 kN és a 93 kN terhelőerőkkel szemben kell ellenállást tanúsítania. Ezeket a csúcsterheléseket öt másodpercig kell elviselnie anélkül, hogy a túlélő cellának vagy a tartóelemeknek bármely része károsodna (4. ábra).

A 2018-tól bevezetett bukókeret kapcsán felmerült, hogy a Halo a rajtrácson álló versenyzők számára akadályozza a versenyt elindító piros lámpák figyelését. Az FIA először a melbourne-i versenypálya rajtlámpáit helyezte át, majd kötelezővé tette minden pályán az indítófények pozíciójának megváltoztatását.

A biometrikus kesztyű

Baleset esetén az életmentéshez elengedhetetlen, hogy a roncsban helyet foglaló pilóta főbb életfunkcióit az orvosok szinte azonnal kontrollálni tudják. Pl. a 2015-ös orosz futam harmadik edzésén a spanyol *Carlos Sainz* a Toro Rossoval – 153 km/h sebességgel – belerohant a pálya melletti védőfalba. A gyorsan odaérő orvosi stáb azonnal nem tudott hozzáférni a pilótához, mert a nagyméretű védőelemek az ütközéstől megemelkedtek, a versenyautó pedig ezek alatt állt meg. Így a kiszabadításig minimális kapcsolatot tudtak teremteni a beszorult versenyzővel, állapotának értékeléséhez alig volt információ. Szerencsére Sainz nem sérült meg (5. ábra).

A biometrikus adatok érzékelésének helye a kesztyű lett. FIA a Global Institute kutatóközponttal, a Signal Biometrics Ltd.-vel és számos F1 kesztyűgyártóval (Puma, OMP, Alpinestars, Sparco) együttműködött a fejlesztés során, hogy a szükséges érzékelőket sikerüljön a tűzálló ruházathoz integrálni. A kesztyűben a tenyérterületen elhelyezett 3 mm vastag szenzorok egy pulzoximéter, amely méri a vér oxigéntartalmát és a pulzusszámot. A biometrikus kesztyűben elhelyezett könnyű optikai érzékelőt egy különálló akkumulátor működteti, így a rendszer még akkor is tud adatokat szolgáltatni, ha a baleset során a versenyautó minden energiaforrása tönkrement. A biometrikus kesztyűt valamennyi versenyző viseli, a monitorozott létfontosságú jelek nemcsak a baleset helyszínén érhetők el, hanem – vezeték nélküli kapcsolattal – azonnal követhetők a pálya orvosi központjában is. Az adatok az orvosi stáb helyszínre szárguldo gépkocsijában 500 méteren belüli körzetben is-



A pulzoximéter elvi működése

7. ábra

mertek, így az orvosok gyorsan felkészülhetnek a szükséges mentési feladatokra.

Az első teszteket éppen a korábbi Hungaroring-i F1-hétvége alkalmával végezték a Ferrari, a Mercedes és a Red Bull csapat versenyzői, segítve a fejlesztőket abban, hogy pontosan hol célszerű a szenzort a kesztyűn belül elhelyezni. Az érzékelő áramforrását indukciós elvvel, egy töltőlapra helyezve lehet tölteni. A jeleket pedig egy lebutított, ugyanakkor kellően felerősített Bluetooth-rendszer továbbítja (6. ábra).

Az meghatározó információk az oximetrián alapulnak. A mérőeszköz a vér oxigéntelítettségét (szaturációját) határozza meg százalékban, az ún. pulzus-oximéter pedig a szívfrekvencia mérésére alkalmas. A pulzoximéter egyik fajtája az ujjbegyre rögzített, csipeszformájú érzékelő, amit az orvosok pácienseiken alkalmaznak. A vérben az oxigén megkötésére alkalmas festékanyag a vörös színű hemoglobin (ettől vörös a vér), amely az oxigént szállítja a test szöveteihez. A hemoglobin különböző módosulatai a fényelnyelésben és a visszaverésben másként viselkednek. A redukált hemoglobin (Hb) több látható vörös fényt nyel el, mint az oxigénnel feltöltött (HbO₂). Utóbbi viszont több infravörös sugárzást nyel el és kevesebbet ver vissza a redukálthoz képest. Ezt kihasználva – pl. az ujjat vagy a kéz bőrét – egy vörös fényt és egy infravörös sugárzást kibocsátó leddelel „világítják” meg, a mérés a relatív összehasonlításon alapszik. Pontosabban a látható vörös fény és a láthatatlan infravörös sugárzás felvillanása kerül felváltva a testrészbbe, és az el nem nyelt sugárzások mennyisége egy fotodiódás érzékelőbe jut. A visszavert sugárzásokból nyert jelet aztán erősítővel invertálják. A vizsgáló sugárforrással az adott testrészt mintegy átvilágítják (ez az áthatoló – transzmisszív – oximetria), vagy bőrfelületről visszavert hatást érzékeli a szenzor (visszavert – reflektív – oximetria). A pulzusszám a hajszálerek térfogatváltozása alapján határozható meg. Minden szívveréskor a vér belepréselődik a hajszálerek hálózatába, ekkor térfogatuk kismértékben megnő. Két szívverés között viszont a térfogat csökken. A testszöveten áthaladó fény mennyisége kismértékben megváltozik (fényintenzitás-fluktuáció), de az eszközzel mérhető (7. ábra).

A jelenlegi és a jövő évtől esedékes sisak

Az autósport világában előforduló súlyos balesetek miatt ismét a figyelem középpontjába került a fejvédelem. Emlékeztet, hogy *Felipe Massa* 2009-es magyarországi komoly fejsérülését egy előtte száguldo versenyautóról lerepült rugó okozta, amely a sisakrostély és a sisak héjszerkezetének találkozásánál csapódott be. Ezt követően a sisakgyártóknak meg kellett erősíteniük a plexi körüli



A 2019-től kötelező szupersisak

8. ábra

sérülékeny területet, PBO (polifenilén-benzo-oxazol) szalaggal látták el a sisak és a polikarbonát kritikus részét.

A Formula-1-ben használt bukósisakokat a vezető fejéről 3D-s módszerrel vett minta alapján képzett, életnagyságú forma felhasználásával készítik. Általában a külső aramidréteg alatt szupererős polietilén vázszerkezet található (a felhasznált vázerősítő szálanyagok összegzett hossza sisakonként kb. 16 ezer km!), a kötőanyag epoxigyanta. A sisak elején, az alsó részen és a látómező kivágásnál alumínium- és a titánérősítést is alkalmaznak. A belső párnázás két réteg tűzálló Nomex (meta-aramid) anyagból épül fel. A sisakot közel 800 °C-os lángban 45 másodpercig tartó kezeléssel tesztelik (ez idő alatt a hőmérséklet belül nem haladhatja meg a 70 °C-ot). A 3 mm vastag plexi tűzálló polikarbonátból készül. Ez képes a színárnyalatot is állítani, a másodperc tört része alatti fényviszony-változásokra reagálni (pl. a híres monacói alagúti pályaszakaszoknál fontos). A sisak és a plexi ballisztikai védelmét is tesztelik a lerepülő alkatrészek miatt. A repülő tárgyak, alkatrészek 500 km/h sebességgel becsapódva maximum 2,5 mm-re hatolhatnak be. Külön kiemelendő még az egyik korábban bevezetett biztonsági felszerelés, a HANS (Head And Neck Support) rendszer. A szintén szénszálas kompozitból felépülő kiegészítő szerkezet versenyző vállára támaszkodva, annak két oldalán rögzítő szalagokkal kapcsolódik a sisakjához. Megakadályozza a baleset során, hogy a versenyző feje túlságosan előre lendüljön, ezzel nagyban csökkenthető a nyakcsigolyák sérülése.

A FIA (Fédération Internationale de l'Automobile; Nemzetközi Automobil Szövetség) közelmúltbeli biztonsági tanácskozásán bemutatták az új, „puskalövést álló” Formula-1-es versenysisakot, ami 2019-től kötelező lesz a pilótáknak. A sisak fejlesztésében több gyártó vett részt (a német Schubert, a japán Arai, az amerikai Bell és az olasz Stilo). A FIA 8860-2018 szabvány előírásai szerint a legnagyobb változást az jelenti, hogy a sisaknyílás felső peremét 10 mm-rel lejjebb helyezték, növelve a ballisztikus védelmet. Mintegy „lőrés” maradt a szemnek, a homlokot és az arcot is teljesen takarja a védőeszköz. Az új fejlesztésű sisak oldalát is változtatták a biztonság növelése érdekében, így kompatibilis a legkorszerűbb fejtámlákkal és a zárt fejtámla rendszerekkel. A sisak kemény-



varánusz a szingapúri pályán



A 2018-as Kanadai Nagydíj edzésén Romain Grosjean ütközött a mormotával az állat elpusztult, autójának első szárnya teljesen tönkrement

Állatok a Forma-1 pályán

9. ábra

sége mellett hatékonyan ellenáll az ütéseknek, és a becsapódó tárgyakkal. A tesztek során többféle sebességnél és különféle behatásokkal szimulálták a balesetknél felmerülő, sisakra ható igénybevételeket. Többek között 9,5 m/s sebességű ütésnél versenyző fejt nem érheti 275 G-nél nagyobb erőhatás. A ballisztikus védelmi képesség meghatározásánál egy 225 gramm tömegű fémdarab 250 km/h sebességű kilövésekor a sisakot erő lassulás nem haladhatja meg a 275 G-t. Az ütdésvizsgálatnál egy 10 kg-os súly 5,1 méterről esik a sisakra, az átvitt erő nem lehet nagyobb 10 kN-nál. A sisaknak ki kell bírni a 790 °C-os hőmérsékletű lángthatást (8. ábra).

Korszerű védekezés a pályára tévedő állatok ellen?

Az idei Formula-1-es Kanadai Nagydíj egyik szabadedzésén többször feltűnt a helyi állatvilág egyik képviselője. A mormota az utolsó sikan (két gyors irányváltotás egymás után) előtt a pálya szélén rágcsált valamit nyugodtan, nem törődve a mellette elhúzó F1-es gépekkel. Az állat később a pályára tévedt, *Romain Grosjean* pedig véletlenül elütötte. A becsapódás miatt a versenyautó pályához specializált új első szárnya teljesen tönkrement (ha ez versenyen történik, feladásra kényszerül). A versenyző értetlenül állt azelőtt, hogy már az edzés elején is mutatták a televíziós közvetítésben az odatévedt állatot, és mégsem nem távolították el. Persze volt már az F1-pályán őz, róka, varánusz, nyúl, kutya, macska is (9. ábra). A biztonság érdekében vannak erre vonatkozó pályaelőírások, lesznek esetlegesen technikai megoldások is a földrajzi elhelyezkedés szerint változó helyi állatok megbízható távoltartására. Lehet, hogy éppen az intelligens textíliák bevetése akadályozhatja meg, hogy az „illetéktelenek” közelről ne érdeklődjenek a futamok iránt?

Felhasznált irodalom

- [1] Bethlen Tamás, Mészáros Sándor: Száguldás és cirkusz 2017-18, Beta-Press Kft., 2017
- [2] Kutasi Csaba: A Formula-1 és textíliái, Magyar Textiltechnika, 2012/4
- [3] Speciális műszaki textíliákat és F1 eszközöket gyártók prospectusai
- [4] Wikipédia szócikkek