



Kutasi Csaba

Optimális infra-remissziót elősegítő textilszínezékek álcázáshoz

Ma már követelmény a katonai és egyes rendvédelmi, határrendészeti alakulatok gyakorló és bevetési ruházatánál a látható tartományban optimális tereptarka hatás, az éjszakai álcázáshoz pedig az emberi testből kiáramló infravörös sugárzást elnyelő képesség. Többféle álcázóruházati változat, például az erdei és sívatagi, városi színvariációk egyaránt ismert. Infravörös sugárzás abszorbeálására válogatott csávaszínezékek és egyes pigmentek alkalmasak. Ma már speciális bevonatokkal is elérhető, hogy az éjszakai látási viszonyok mellett se legyen felderíthető az álcázóöltözetet viselő személy.

Az evolúció során a mimikri a természetben számos területen kifejlődött, azaz több élőlény képes felvenni vagy utánozni egy másik élőlény vagy a környezet mintáját, színét, külalakját, akár viselkedését is. A megtévesztő jellegű alkalmazkodás célja lehet önvédelem, ez az álcázás, más néven kamuflázs („camouflage” az eredeti francia szleng szó), ami a környezetbe való beolvadást jelent (1. ábra).



1. ábra. Mimikri a természetben

A katonai alakulatoknál a 18. század közepén kezdett elterjedni az álcázóruházat, később a zöld és a drapp színű egyenruha. Majd a legtöbb katonai felszerelést, a hajókat és a légi járműveket is ellátták álcázó színekkel, bevonatokkal. A modern álcázáshoz a ruházatoknál kritérium, hogy ne csak a látható fényben, hanem az éjszakai sötétségben is észrevehetetlenné váljon a katonai és rendvédelmi állomány, azaz az éjjellátó készülékekkel se tudják felderíteni az így beöltözött személyeket. *Az éjszakai álcázás érdekében a ruházati alapanyagokhoz olyan színezékek vagy bevonatok alkalmazása szükséges, amelyek az emberi testből távozó infravörös sugárzást megfelelő mértékben elnyelik (a textilanyagok egyébként nagyrészt átértesztik az infravörös sugarakat).*

Az emberi test infravörös sugárzása

Az emberi test elektromágneses sugárzást bocsát ki. A sugárzás hullámhossza függ a hőmérséklettől. A hőszugárzás az infravörös tartományba esik (kb. 800–1100 nm). Az ember szervezete különböző fizikai módszerek segítségével hőleadásra rendezkedett be, hőfelvétellel csak belső kémiai folyamatok révén képes. A főleg hőmennyiség kb. 90%-a a bőrön át távozik, mindössze 10%-os hőleadás valósul meg a léggzéssel. A testünket kívülről körülvevő bőrfelület mintegy 2 m²-es felületet képez, ennek 90%-a nem a környezettel, hanem textildelületekkel érintkezik.

Az emberi test hőmérséklete a testrészekben, ill. azok külső felületein nem egységes (pl. a test belsejében 36,5–36,7 °C-os, a fej és hasi részeknél 35 °C, a lábfejen és a kézfelületeknél 32 °C). Az ún. testnyugalmi (indifferens) hőmérséklet esetén a hőleadás csak a szervezet által termelt főleg hőmennyiséget vezeti el (ilyenkor nem fázunk és nincs melegünk). Alacsony külső hőmérséklet, ill. intenzív légmozgás veszélyezteti a közel 37 °C-os hőtartást. Ekkor kerülni kell a bőrön keresztül kialakuló hővesztéseket. Ilyen helyzetben a vért áramoltató erek leszűkülnek (csökken az áthaladó vér mennyisége), egyúttal leáll a verejtékezés.

Példaként megemlítendő, hogy közel 23 °C-os külső hőmérséklet esetén az emberi test hőleadása 60%-ban infravörös sugárzással, 25%-ban párolgással és 15%-nyi mértékben vezetéssel valósul meg, hőenergiájának leadása infravörös sugárzás formájában kb. 60 W/m²-es mértékű. A semleges hőmérsékletnél (amikor a hőtermelés minimális) valósul meg a komfortzóna. Ez a neutrális állapot meztelen testnél 28–30 °C-on, szokásos ruházatot viselve 20 °C-nál érhető el.

Az emberi szervezet hőszabályozása összetett folyamat. Az ún. receptoridegek végződéseinek közül a hidegre reagáló nagyobb számban és a testfelület közelében vannak jelen. A termoreceptorok sajátosan kialakult idegvégződések, mennyiségük testtájékok szerint változó (pl. az ajakrésznél hússzor több receptor van, mint a mellen vagy a lábreszekben). A hidegérzékelők a gerincvelő közvetítésével továbbítják jelzéseiket az agyban levő hipotalamuszba, ahonnan a bőrben levő véráramszabályozók kapnak fontos utasításokat (az izmos falú képződmények összehúzódva korlátozzák a vér végtagokba történő áramlását, csökkentve a hővesztésüket). Az említett véráramot befolyásoló az artériák és vénák közötti egyedi összeköttetések, amelyek a hajszálérrendszert kiiktatva működnek. Ezek az utasításnak megfelelően ideiglenesen képesek a vér áramlását más útra terelni (ezzel magyarázható ajkunk és kezujjkörmeink kékre színeződése erőteljes fázáskor). A véráram csökkentésével a szőrszálak – a szőrmerevítő izom beavatkozásával – közel merőleges helyzetűvé válnak (ez az állatoknál a testközeli levegő visszatartásához vezet, fokozva a meleg réteget), ilyen esetben az apró dudorok kialakulása okozza a „li-



babórt”. A hőleadásra berendezkedett szervezet megfelelő érzékelés esetén tehát párologtatással (evaporáció), hővezetéssel (kondukción), hőáramlással (konvekció) és sugárzás (radiáció) útján képes szabályozni.



látható fényben

IR-kamerával

2. ábra. Az emberi test infravörös kisugárzása

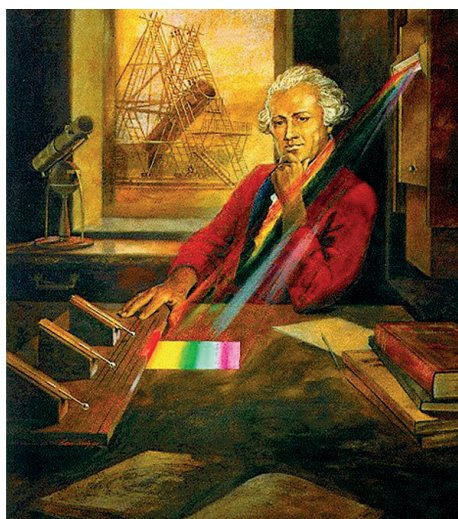
A nagyobb hőfelesleg eltávolítását a verejtékezés (párolgás) és a bőr véreinek kitágulása segíti elő (utóbbinál a test belsejében felmelegedett vér a testfelszín közelében lehűl, ezért lesz kipirodó a felhevülő bőrfelület, 2. ábra).

Az infravörös sugárzás jellemzői

Az infravörös sugárzás (infrared, rövidítve: IR) az elektromágneses sugárzás adott tartománya, melynek hullámhossza nagyobb, mint a látható fényé, ugyanakkor kisebb, mint a mikro- és a rádióhullámoké (0,75–1000 µm, azaz 750 nm – 1 mm). Az infravörös sugárzást a haditechnika pozícióbemérésre és nyomkövetésre használja (egyébként hőmérsékletmérésre, kis távolságú vezeték nélküli kommunikációra stb. is alkalmas).

Az IR felfedezése William Herschel nevéhez fűződik, aki 1799-ben kezdte el tanulmányozni a napfényt. Kísérletei során a színek elkülönítésére gyakran használt színszűrőket. Néhány szűrő melegebb lett, ezért kutatta, hogy bizonyos színek több hőt szállítanak-e a Naptól. Egy nagy prizmával kivetítette a felbontott színeket az elsötétített helyiség falára, és precízen megmérte az egyes színtartományok hőmérsékletét. A hőmérsékletek egyenesen emelkedtek a lilától a vörös szín felé. A vörös alatti sötét tartományban is végzett hőmérsékletmérést, meglepetésére itt tapasztalta a legmelegebbet. Ezzel megdőlt az a feltételezése, hogy a hőt a látható fény sugarai továbbítják. További elemzések után megállapította, hogy a hőt szállító, láthatatlan sugarak a látható fényhez hasonló módon, de kisebb mértékben megtörnek vagy visszaverődnek (3. ábra).

Az IR-sugárzás fajtái: a közeli infravörös sugárzás (NIR, IR–A) hullámhossza 750–1400 nm (pl. optikai kommunikáció céljára



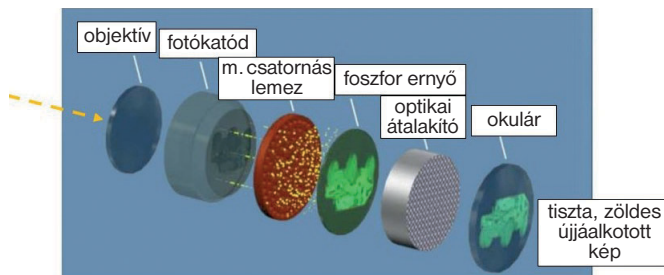
3. ábra. William Herschel (1738–1822), az infravörös sugárzás felfedezője

használható), a rövid hullámhosszú infravörös sugárzás (SWIR, IR–B) hullámhossza 1400–3000 nm (telekommunikáció), a közepes hullámhosszú infravörös sugárzás (MWIR, I–C) hullámhossza 3000–8000 nm (pl. infravörös önirányítású rakéták), a hosszú hullámhosszú (távoli) infravörös sugárzás (LWIR, IR–C) hullámhossza 8000–15 000 nm, a távoli hullámhosszú infravörös sugárzás (FIR) hullámhossza 15 000 nm – 1 mm.

Az éjjellátó készülék elvi működése

Az éjjellátó eszköz (a „night-vision device” angol kifejezésből rövidítve: NVD) olyan optikai eszköz, amely lehetővé teszi a képek előállítását éjszaka, akár teljes sötétségben. A katonai és rendvédelmi, határrendészeti felhasználáson kívül polgári alkalmazása (pl. vadászatnál) is előfordul. A teljes éjjellátó egység egy védő és általában vízálló házban elhelyezett képerősítő csőből, IR-megvilágítóból és teleszkópos lencséből épül fel.

A működési elv lényege, hogy a készülék a belépő fotonokat egy speciális anyaggal bevont fotokatód segítségével átalakítja elektronokká, ezeket felgyorsítja, számukat megsokszorozza, majd a felgyorsított elektronokat egy „foszfor” képernyőre irányítja. Az új generációs eszközöknél a fotokatód mögött ún. mikrocsa-



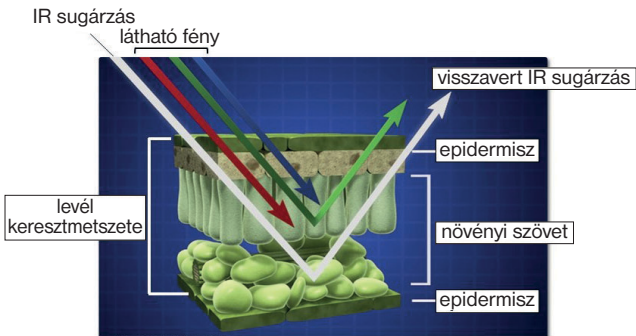
4. ábra. Az éjjellátó készülék elvi felépítése

tornás lemez (MCP) található, amely számos parányi méretű, párhuzamosan futó üvegcsőből épül fel (hatékony elektrontöbbszörözést biztosít). Visszatérve a képernyőre, itt az elektronok újra látható fénynek alakulnak, melyet a felhasználó az okuláron keresztül érzékel. Az így létrehozott kép ekkor már a megfigyelt részlet tiszta, zöldecs színű újjáalkotása. A front- és okulárlencse megfelelő beállításával érhető el éles és részletgazdag kép. Az éjjellátó készülékekben egy kisméretű képernyő nagyított képe jelenik meg, ezért a távlati érzékelés eltér a hagyományos optikai távcsövekéétől. Amennyiben a környezeti fény rendkívül gyenge (kedvezőtlen időjárási viszonyok), ún. infravetítőt (IRI) kell alkalmazni. Ezzel párák, ködös térben is elérhető a láthatóság (4. ábra).

Elvárások az álcázóruházattal szemben

Általános elvárás a látható tartományban optimális tereptarka hatás, az éjszakai álcázáshoz pedig az infravörös, főleg közeli infravörös sugárzás megfelelő elnyelése (esetleg minimális sugárzás mellett). Általában országonként változóak az álcázó színezetek és mintázatok.

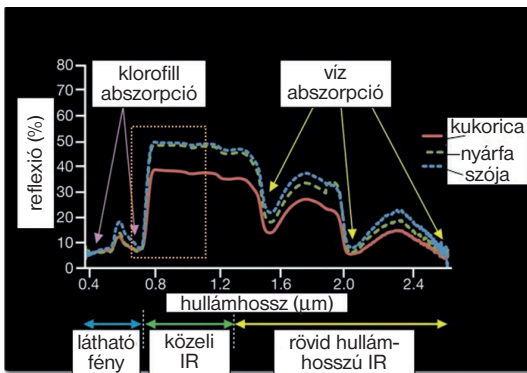
Többféle álcázóruházati változat létezik, például erdei és sivatagi, városi színvariáció. Az erdei változatnál: zöld (levél), barna (fakéreg), drapp (talaj), fekete (egyéb, pl. madár) színezetek a jellemzők. Főleg a zöld szín igényel egyedi színezékkombinációt az optimális infra-remisszió biztosítására. [(Az infra-remisszió az IR-tartományú elektromágneses sugárzás szóródása nem tükröződő felületekről (a nemzetközi irodalom infra-remissziós érté-



5. ábra. A klorofill viselkedése az elektromágneses sugárzásban

keket említ %-ban); az infra-reflexió az IR-tartományú elektromágneses sugárzás visszaverődése a megfigyelőhöz (a hazai előírások infrareflexiós határértékeket tartalmaznak %-ban)].

A zöld szín kapcsán foglalkoznunk kell a természetben levő növények zöld színzetét adó anyaggal. A levelek, szárak elnyelik a kék és a vörös fényösszetevőket, amivel energiát adnak a fotoszintézishez és a klorofill előállításához. Egyúttal a közeli infravörös energiát (NIR) visszatükrözik (5. ábra). A reflexiós értékek a NIR-tartományban ugrásszerűen megnövekednek, pl. 6–20%-ról 40–50%-ra (6. ábra).



6. ábra. A növényi klorofill reflexiója

Az infravörös remissziót optimalizáló tereptarka ruházat céljára alkalmas szövet általában pamut és poliamid összetételű (intim szálkeverék) keverékfonalból készül. Két szövési változat ismert, a megerősített vászonkötésű (ripstop) vagy a sávolykötésű méteráru. Az infrareflexiós határértékek a színmintának megfelelő árnyalatban és mélységben: homokszínű: 6–51, ill. 30–71 % (alsó, ill. felső), zöld: 0–38, ill. 12–59%, barna: 2–18, ill. 16–39%, fekete: 0–8, ill. 10–19 %.

Az alkalmazott színezékeknel/színezéseknél a kedvező infra-remissziós tulajdonság mellett fontos a kiváló használati szintartósság (fényel, mosással, izzadsággal, száraz és nedves dörzsöléssel, vegytisztítással szemben), ill. az optimális esztétikai kopásállóság sem elhanyagolható (elkerülve a használati súrlódási igénybevételnél a fakulás bekövetkezését). Továbbá az előírt szakító- és tépőerő, a minimális méretváltozás, az optimális légáteresztő képesség és az elvárt kopással szembeni ellenálló képesség (a szövet károsodását megelőzve) egyértelműen lényeges.

Példák a Bezema-CHT cég alkalmas csávaszínezékeire

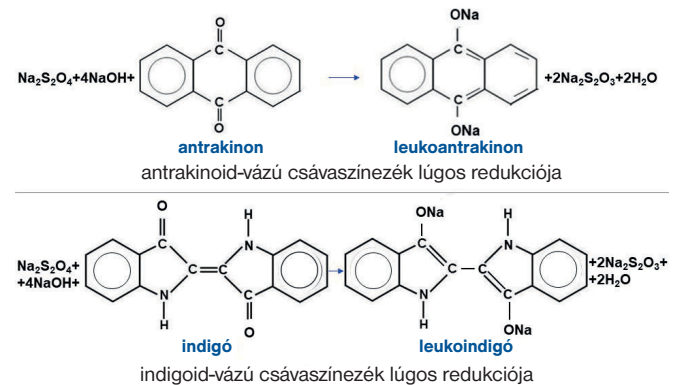
Infravörös sugárzás abszorbeálására egyes mikrodiszperzítású, válogatott csávaszínezékek alkalmasak. Példák a tereptarka tex-

tília nyomásához használt színezékekre (a feltüntetett infra-remissziós értékek 600–1100 nm-es tartományra vonatkoznak):

- *Bezathren-oliv DBW*: a színmintának megfelelő árnyalatban és színmélységben, 4%-os koncentrációban: 8–58%, 0,25%-os koncentrációban 42–88%.
- *Bezathren-oliv R*: 4%-os koncentrációban 8–88 %, 0,2%-os koncentrációban 40–95%. Ez a színezékegyed a klorofillhez hasonló IR-remissziós kiugrásokkal rendelkezik. A holt pamutszálak színezésére viszont nem alkalmas.
- *Bezathren-grau NC*: 4%-os koncentrációban 12–27%, 0,25%-os koncentrációban 39–58%. Ez a színezékegyed az IR-remissziós értékek korrigálására igen alkalmas.
- *Bezathren-olivgrün MW*: 4%-os koncentrációban 9–71%, 0,25%-os koncentrációban 47–92%. Ez a színezékegyed a holt pamutszálakat is fedi.

Az álcázó alapanyag színezésének, nyomásának lényege

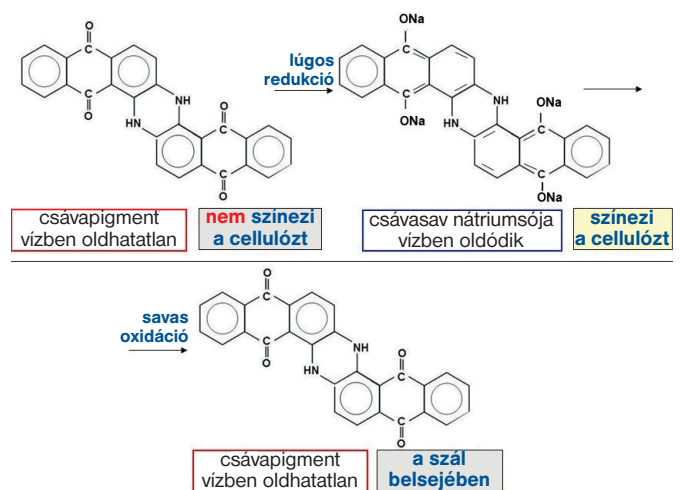
Főleg azok a válogatott csávaszínezékek (előszínezés és nyomás), ill. egyes pigmentek (nyomás) alkalmasak, amelyek megfelelő infra-remisszióval rendelkeznek. A csávaszínezékek közvetlenül nem oldódnak vízben, a nátrium-ditionitos lúgos redukcióval kialakított leukomodósulat teszi lehetővé az átmeneti vízoldhatóságot, így képes pl. a cellulózsál színezésére (7. ábra).



7. ábra. A különböző csávaszínezékek szerkezetváltozása lúgos redukcióra

A szálba bevitt – antrakinoid- vagy indigoidvázú – színezéket ezután visszaoxidálják csávapigmentté, az ismét vízoldhatatlan

8. ábra. A csávaszínezés kémiaja antrakinonvázú színezék esetén

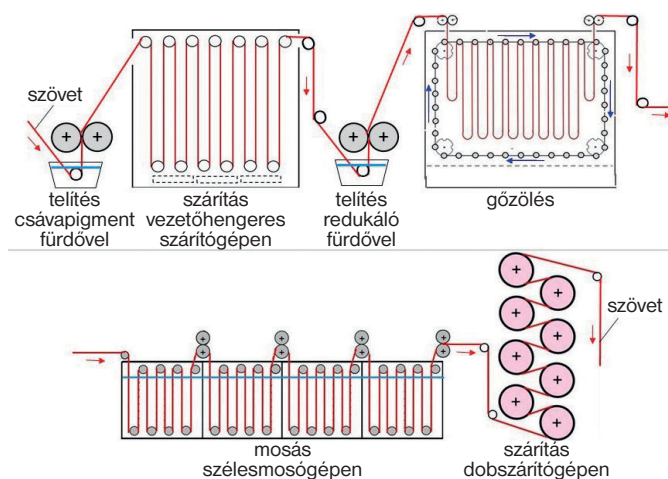




és másodrendű vonzásos kapcsolattal rögzítődő színezék kiváló nedves színtartósságot eredményez (az eredetileg ún. Indanthren márka, ebből származik a Bezema-CHT csávaszínezékeinek *Bezathren* elnevezése, **8. ábra**).

A kapcsolatos textilanyagokat látható fényben és infravörös tartományban vizsgálják, utóbbit 600–1100 nm-es tartományban (20 nm-es hullámhosszléptéttel). Az általános követelmény 1100 nm-es határig író vizsgálatot.

Az előszínezést csávaszínezékekkel általában Pad-steam gépsoron végzik, erre azért van szükség, hogy a ruházatokon a viselésnél megjelenő kelme-fonákoldal is rendelkezzen optimális infraremisszióval (**9. ábra**).



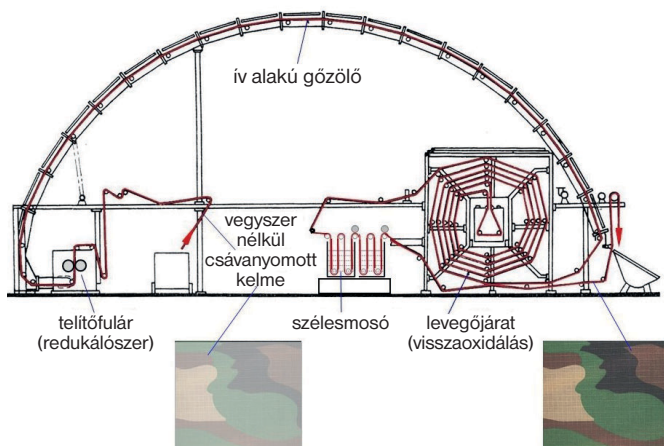
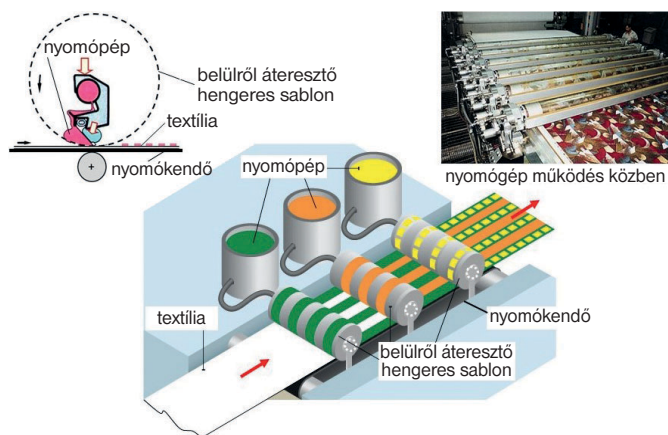
9. ábra. Folyamatos csávaszínezés Pad-steam gépsoron

Ennél a folyamatos színezőeljárásnál a színezőfűrdő felvitele után folyamatos gőzölés, majd széles állapotú mosás és szárítás következik. Előfordul, hogy a telített kelmet közbelsőleg szárítják, majd a redukáló fűrdő telítési felvitele után folyamatos gőzölő gépen halad tovább. Innen a széles mosógépen folytatja útját, végül a szárításra kerül sor.

Az előszínezett szövet színoldalának nyomását az infravörös sugárzás abszorbeálására képes, mikrodiszperzítási, főleg változott csávaszínezékekkel végzik, magas szárazanyag-tartalmú sűrítő jelenlétében. A nyomópépek felvitele rotációs filmnyomógépen – vegyszermentes nyomópéppel – történik, majd szárítás következik (**10. ábra**).

A nyomópép nem tartalmazhat kristályosodásra hajlamos vegyszereket, mert ezek a hengeres sablonok tömítő lakkrétegét

10. ábra. A rotációs filmnyomás elve és gyakorlata



11. ábra. A kétfázisú csávaszínezés kifejlesztő gépsora

károsítanak. A csáva nyomószínezék szálasanyagban történő, alkális redukcióját ún. kétfázisú kifejlesztő gépsoron végzik. A szárított nyomott kelmet hidroszulfit- (ipari elnevezés, helyesen: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ – nátrium-ditionit) és nátrium-hidroxid-tartalmú fűrdővel telítik, majd kipréselik. A gőzölés ív alakú gyorsgőzölőben folyik, ezzel a geometriai elrendezéssel csak a nedves szövet bal oldala érintkezik a vezetohengerekkel (elkerülve a kenődést). A gőzölőből kilépő szövet levegőjártaton halad át (a szálba vándorolt színezék visszaoxidálását megkezdve), mosásnál folytatódik az oxidáció, ill. sor kerül a sűrítőanyag eltávolítására (**11. ábra**).

A digitális képfeldolgozáson alapuló mintázattal ellátott álcázó ruházati alapanyagok nagy múltra tekintenek vissza. Ilyen mintákat a második világháború idején már terveztek, ötvözve



hagyományos textilnyomással kialakított mintázatok



digitális képfeldolgozáson alapuló mintázatok

12. ábra. Különböző kialakítású tereptarka mintázatok

mikro- és makromintákat egy rendszerben. A német hadsereg továbbfejlesztette az 1970-es években, így a kisebb formákkal lágyították a széleken a nagy léptékű mintát, ezzel a mögöttes tárgyat is nehezebb felismerni (**12. ábra**).

Az infra-remisszió optimalizálása utólagos kezeléssel

Hosszú ideig az IR-abszorbeáló csávaszínezékekkel történő nyomás adott kellő eredményt az álcázás során (az ilyen ruházatot



viselők nagyrészt láthatatlanná váltak az éjjellátó készülékek CCD-érzékelőinél). Ugyanakkor a színezékrészecskék IR-abszorpciós képessége korlátozott. Az alkalmas színezékeken kívül speciális anyagok is nyújthatnak szűrést az árulkodó infravörös sugárzással szemben.

A Hohenstein Intézet Bönnigheim és az ITCF Denkendorf kifejlesztett egy új típusú IR-abszorbeáló és ruházatfiziológiailag optimális textíliát. A textíliára bevonatként felvitt indium-ón-oxid (ITO) nanorészecskékkel jobb IR-árnyékoló hatás érhető el, mint a hagyományos nyomottmintás textilanyaggal történő álcázás során. (Az ITO-részecskék átlátszó félvezetők, az érintőképernyőkben és az okostelefonokban használják.) A részecskék kötődését úgy érik el a textíliákon, hogy a bevonat ne legyen káros hatással a többi tulajdonságra (pl. fiziológiai kényelem; mosással, kopással, időjárással szembeni ellenállás). A NIR árnyékoló hatás ezzel a módszerrel jelentősen jobb, összehasonlítva a kezeletlen nyomott textilmintákkal.

A jövőben az IR-árnyékoló, nedvszívó textíliák tovább optimalizálhatók, tekintettel a hő- és izzadságszabályozó funkciókra. Ezeknél is fő cél, hogy megakadályozzák az árulkodó közeli és középkeletű infravörös sugárzást, amit hő formájában sugároz ki a test. Specializált bevonó eljárásokkal, különböző vékonyfilm-bevonatot visznek fel. Ilyen anyagok közé tartozik a zafír, szilícium, germánium, cink-szulfid, cink-szelenid, továbbá válogatott fémek és a kerámia. Az antitermikus bevonatok az optoelektronikai eszközök használatakor nem adnak termikus IR-képet.

Aktív álcázás a bionika segítségével

A bionika (biológia, technika, elektronika kifejezések felhasználásával képzett mozaikszó) úgy modellezi az élővilág biológiai mechanizmusait, hogy azokat a műszaki feladatok megoldására tudják hasznosítani (pl. a denevérek tájékozódási mechanizmusának tanulmányozása szolgált annak idején a lokátor kifejlesztésére).

A tintahalakat gyakran nevezik a tenger kaméleonjának, gyorsan képesek változtatni a bőrük színét (pl. vörös, kék, sárga, barna, fekete). Az állat speciális idegpályái segítségével aktiválja az izomrostokat, amelyek a szintesteket tartalmazó sejteket övezik. A sejt kitágult állapotában a pigmentek nagy területen szétterjednek, míg az izomrostok összehúzódásakor gyakorlatilag láthatatlanná válnak. Ezen alapszik az olyan nanobevonatos textília, amely képes a fényt elterelő és a fényvisszaverő képességet úgy megváltoztatni, hogy viselője beolvad a környezetbe (13. ábra).

13. ábra. Aktív álcázás nanobevonattal



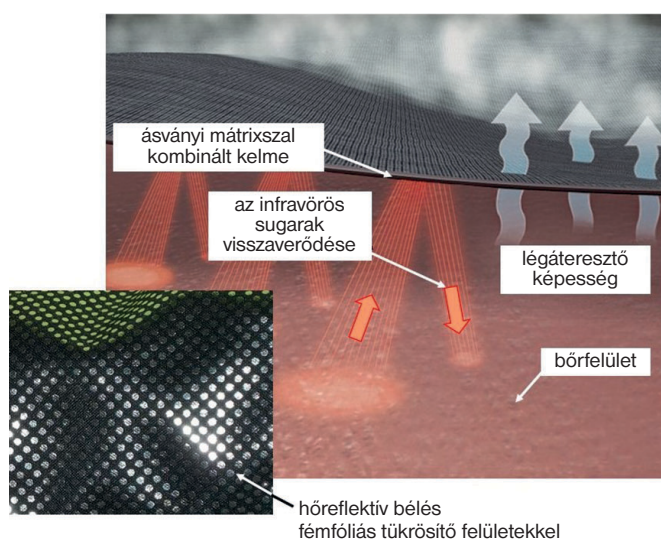
tintahal
a tenger kaméleonja



nanobevonatos textíliából
készült álcázóruha

Az emberi testből távozó IR-sugárzás csökkentése egyéb módszerrel

Az ún. energia-visszanyerő textilszerkezet különleges összetételű ásványi mátrixból felépülő kelme: visszatükrözi a szervezetből távozó infravörös sugárzást. Így viselőjének nemcsak a testét tartja melegen, hanem javítja a vérkeringését, fokozza a vérben az oxigénszintet. A teljesítmény növelhető és a korai kifáradás megelőzhető, jobb regeneráció érhető el. A kísérletek szerint kisebb pulzusszám mellett hatékonyabb légzés valósul meg, ami főként a fizikailag megterhelő tevékenységek során kiemelten előnyös. A hővisszaverő és ruházatfiziológiailag komfortos technológiának megfelelő béléskelme fémfóliás pontnyomással is készülhet. Amennyiben a testbélésül szolgáló textilanyagot kellő sűrűséggel ellátják apró tükrösítő felületekkel, úgy az emberi testből sugárzással távozni kívánó hő nagy része így visszairányítható. Természetesen az ilyen – főként hőszigetelési célzatú – megoldások az infraremisszió optimalizálásában is előnyösen alkalmazhatók (14. ábra).



14. ábra. Energiavisszanyerő textilszerkezetekre példa

Befejezésül fontos megemlíteni, hogy valamennyi tereptarka mintázat, színezetkombináció, alapanyag-konstrukció stb. különböző jogi védelmek áll. A cikkben említett konkrét információk a potenciális gyártók számára hozzáférhető, így szakmailag nyilvános adatokból származnak.

IRODALOM

- [1] Rusznák István (szerk.): Textilkémia II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [2] Lőrinc Andor, Péter Ferenc: Textilipari színezékek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968.
- [3] A Bezema-CHT Bezathren-színkárttyája
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Military_camouflage
- [5] <https://www.innovationintextiles.com/hohenstein-develops-textiles-for-screening-against-ir-radiation-for-use-in-military-uniforms/>
- [6] Kutasi Csaba: Optimális infraremissziót biztosító tereptarka álcázó ruházat alapanyaga. Magyar Textiltechnika, 2015/1.