

Űrhajósok alsóruházata – textiles szemmel

Lázár Károly

Az űrhajósok az űrállomás belsejében, mindennapos tevékenységük közben nem viselnek különleges ruházatot: pamut- vagy pamut típusú, körkötött kelméből készült, testre simuló egyszerű T-ing vagy galléros pólóing és hosszúnadrág van rajtuk. „Űrruházatot” csak különleges körülmények között kell felvenniük. Ez a ruházatuk általában két különböző típusú űrruhakészletet foglal magában, mindkettő megvédi az űrhajósokat küldetésük veszélyeitől. Az egyik típus az űrhajó belsejében viselhető az indítás és az űrbe emelkedés során, majd visszafelé jövet, a Föld légkörébe való visszatérés, valamint a leszállás során is. A másik típus – *amelynek egy részével, az alsóruházattal, jelen cikkünk a NASA által kifejlesztett megoldások ismertetésével foglalkozik* – kifejezetten az űrhajón kívüli tevékenységekhez („űrsétákhoz”, a NASA által bevezetett elnevezéssel: extravehicular activity – EVA) készült és gyakran „EVA-öltözéknek” (EVA Suit) is nevezik.

Itt meg kell jegyeznünk, hogy az űrhajósok fiziológiai szükségletei az űrséták során univerzálisak. Ennek megfelelően Oroszország és Kína is – bár az elnevezések eltérőek lehetnek – funkcionálisan hasonló megoldásokat fejlesztett ki és alkalmaz a hőszabályozásra (folyadékűtésű ruházat), az űrülékek-kezelésére (nedvszívó alsónemű) és az alapvető komfort biztosítására (kényelmes alsó rétegek), mint amilyeneket NASA alkalmaz.

Az űrruházat felépítése



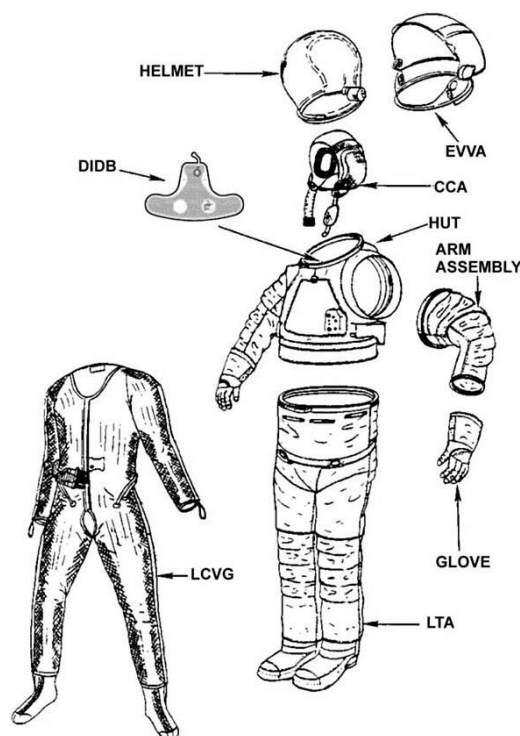
Buzz Aldrin, az Apollo 11 űrhajósja
(Forrás: NASA)

A szkafander szűkebb értelemben általában a legkülső, zárt, nyomástartó űrruhát jelenti, de tágabb – technikai vagy gyakorlati – értelemben az egész űrruharendszert, az alsóruházatot is beleértve.

A **szűkebb értelemben** vett szkafander rendkívül bonyolult, több rétegből álló, hermetikusan zárt, nagy hőszigetelő képességű, erős anyagokból készült ruharendszer. Részei: a nyomástartó külső burok, amely védelmet nyújt az űrben uralkodó vákuumtól, a szélsőséges hőmérsékletektől (az űrruha beépített hő-

mérséklet-szabályozó rendszerrel rendelkezik, emellett külső felületét igen nagy napfényvisszaverő képességű anyaggal, pl. Mylarral borítják), a sugárzástól, biztosítja az oxigénellátást és a kommunikációt. Magában foglalja az alsó- és felsőtestet borító részt, a sisakot, kesztyűket, a csizmákat, a csatlakozókat és a hátizsákot az életfenntartó rendszerrel is.

Az e külső burkolat alatt viselt **alsóruházat** részei: a hűtőruha (LCVG), a kényelmi alsóruha (TUC) valamint a testi űrülékeket felszívni képes alsónemű (MAG). Ezek ebben a szűkebb értelmezésben tehát nem részei a szkafandernek.



Az űrruházat részei

Helmet – Sisak, EVVA – Napellenző,
CCA – Kommunikációs egység, DIDB – Ivóvíz tartály,
HUT – Felső rész, ARM assembly – Kar, Glove – Kesztyű,
LTA – Alsó rész, LCVG – Hűtőfolyadékös alsóruha
(Forrás: NASA)

A szkafander rendszerhez tartozó **hátizsákban** helyezik el a ruha működéséhez szükséges felszereléseket, az életfenntartó rendszert. Ebben van az oxigéntartály, amely a lélegzéshez és a nyomás fenntartásához szükséges oxigént tartalmazza. A hátizsákban lévő szabályozó tartja a ruhát a megfelelő nyomáson és hőmérsékleten. Egy ventilátor keringeti az oxigént a ruhában és az életfenntartó rendszerben, ahol az űrhajósok által kilélegzett szén-dioxidot eltávolítják a ruhából. A hátizsákban van az áramellátáshoz szükséges berendezés és a kétirányú kommunikációhoz szükséges rádió. Ugyancsak a hátizsák tartalmaz vizet a hűtőruhához, a hőcserélőt és a szivattyút, amely biztosítja a víz keringtetését. Ha az űrhajós túlmelegszik (például erőteljes munka közben), a hűtött folyadék lehűti a testét, ha pedig hideg van, a folyadékot felmelegítik és így az meleget biztosít. (Az űrruha kiváló szigetelésének és a folyamatosan termelődő testhőnek köszönhetően kiegészítő fűtésre rendszerint nincs szükség.) Az űrállomáson kívül végzett munka közben számítani kell arra, hogy a közvetlen napfény 120 °C fölé melegítheti a ruhát, míg az árnyékos oldalon a hőmérséklete akár –160 °C-ra is süllyedhet.

Az űrsétákhoz készült űrruha **sisakja** erős műanyagból készül. Szellőzőrendszerrel is rendelkezik, amely oxigénnel látja el az űrhajóst. A sisak egy kis habblokkot is tartalmaz, amit az űrhajós orra megvakarására használhat. A sisakon mozgatható, arany bevonatú napellenző is van.

Az űrsétához használt alsóruházat részei

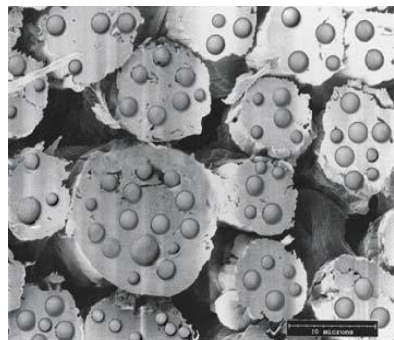
Az űrruházat rendkívül fontos darabja az ún. hűtőruha (Cooling Garment), amelyet testre simuló, elasztánonalakkal rugalmas szerkezetűvé tett anyagból készítenek. Benne csővezetéseket alakítanak ki, ezekben hűtőfolyadék áramlik. Az egész testet beborítja, kivéve a fejet, a kezeket és a lábakat. A ruhadarabban lévő szellőzőnyílások elvezetik az izzadságot az űrhajós testétől, és segítik a keringést az űrruha belsejében.

Az űrállomáson tartózkodó űrhajósok jellemzően a Földön viselt ruházatukhoz hasonló, szokásos ruházatot viselnek, bár a hangsúlyt a könnyű, nedvességelvezető és szagálló anyagokra, főleg a szintetikus szálanyagokból készült anyagokra helyezik. Az űrsétákhoz, az űrben végzett munkákhoz többretegű űrruhát viselnek. Az első réteg, amit az űrhajósok felvesznek, a „Maximális Nedvszívó Ruhadarab” (Maximum Absorbency Garment, MAG), majd a saját „Hőkomfort Alsóneműjük” (Thermal Comfort Undergarment – TCU) következik, amit hosszú alsóneműhöz hasonló „Folyadékös Hűtő és Szellőztető Ruhadarab” (Liquid Cooling and Ventilation Garment – LCVG) követ.

A maximális nedvszívó képességű ruhadarab (MAG)

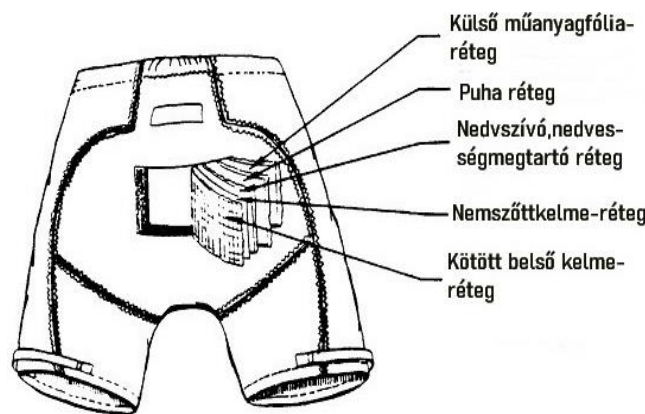
Az űrutazások korai szakaszában az űrhajósok mechanikus megoldásokat alkalmaztak a testi szükségletek megoldására, például a testhez rögzített csöveket, amelyek a vizeletet az űrruha lábán található zsákba gyűjtötték. Azonban ahogy egyre több, különböző testalkatú és nemű űrhajóst választottak ki, szükségessé vált annak biztosítása, hogy az űrsétákat ne kelljen megszakítani, amikor a testi szükségesség felmerül. Ekkor fejlesztették ki a maximális nedvszívó képességű alsóruházatot (MAG).

A MAG az űrruha alatt viselt, eldobható, nedvszívó ruhadarab, amely szerkezetében és funkciójában hasonló a felnőtt pelenkához, de úgy módosították, hogy rövidnadrággént húzható fel. (Az űrhajósok általában csak vizeznek a MAG-ba, a székletürítéssel megvárják, amíg visszatérnek az űrhajóba.) Nedvességfelszívó és -megtartó rétege egy erős nedvszívó vegyületet: nátrium-poliakrilát, amit speciális anyagrétegek közé helyeznek, amelyek célja a nedvesség eltávolítása és az űrhajósok szárazon tartása az űrhajón kívül. A nátrium-poliakrilát – amely a súlyának sokszorosát kitevő víz mennyiségét képes felszívni és megtartani – felszívja a vizeletet, folyadékból megszilárdult géllé alakítva azt. A hulladékot ezután sokkal egyszerűbben lehet ártalmatlannítani, mint az



Mikrokapszulák egy szál belsejében

az Apollo-idők bonyolult gyűjtőrendszerét. A MAG-ot férfi és női űrhajósok egyaránt viselik. Általában személyenként három MAG-nadrágot adnak a küldetések során: egyet a felszálláshoz, egyet a visszatéréshez, és egyet az űrsétához vagy egy második visszatérési kísér-



A MAG alsóruházat szerkezete
(Forrás: NASA)

lethez. Az űrhajósok körülbelül 2 liter sós vizet isznak a visszatérés előtt, mivel nulla gravitációban kevesebb folyadék marad meg a testben. (Az extra folyadék nélkül az űrhajósok elájulhatnának a Föld gravitációjában, ami tovább hangsúlyozza a MAG-nadrág lehetséges szükségességét.) A MAG-nadrágot úgy húzzák fel, mint a rövidnadrágot. Kapacitásuk kb. 900 cm³. A nátrium-poliakrilát képes saját súlyának körülbelül 300-szorosát felszívni desztillált vízben. Maximálisan 2 liter vizeletet, vért és/vagy székletet képes megtartani. A MAG rétegzése felszívja a folyadékot, elvezeti a bőrtől és tárolja azt.

A MAG-ot a folyadékös hűtő és szellőztető ruha (LCVG) alatt viselik.

A komfortos hőérzetet biztosító alsóruha (TCU)

Az űrhajósok által viselt komfortos hőérzetet biztosító alsóruha (Thermal Comfort Undergarment – TCU) célja a viselési kényelem biztosítása, a hőszabályozás és a kidörzsölődések keletkezésének megakadályozása az űrruhában végzett munka során. A folyadékűtő és szellőztető ruha (LCVG) alatt viselik. Ez a kelme könnyű és rugalmas (területi sűrűsége 1,80 g/cm³), hővezető képessége 7,88 W/(m·K).

A TCU hőmérséklet szabályozása egy a halmazállapot-változás közben hőleadást ill. hőfelvételt eredményező anyag (PCM) alkalmazásán alapul. (A kapszulában elhelyezett anyag meleg hatására megolvad és hőt von el, ezért hűtő hatású, lehűléskor ismét megszilárdul és hőt ad le, azaz melegít.) Kiegészítésként nagyon jól bevált az Outlast cég által kifejlesztett *fresh2SKIN*[®] kikészítés alkalmazása, amely természetes mentolt tartalmaz, ez reakcióba lép a bőr hidegreceptoráival és idegi ingerteret vált ki, aminek eredménye a hűvösség érzete.

A TCU másik alkotóelemét aromás amid polimerből (AAP) és bőr-nitrid nanocsövekből (BNNT) álló kompozit alkotják.

Az aromás amid polimer (aramid-szálak) szálak hőálló és nagyszilárdságú szintetikus szálak (pl. Nomex, Kevlar). Igen nagy hőstabilitással, mechanikai szilárdsággal és sugárzást gátló tulajdonsággal rendelkeznek (akár 479 °C hőmérsékletet is kibírnak).

A bőr-nitrid nanocsövek (BNNT) a neutronsugárzás elleni árnyékolásban játszanak szerepet és így a kozmikus sugárzástól való védelmet adják.

A *fresh2SKIN*[®] kikészítés

A *fresh2SKIN*[®] kikészítési eljárás bármilyen textilanyagon alkalmazható. Természetes mentolt tartalmaz,

amely reakcióba lép a bőr hidegreceptoraival, és idegi ingert vált ki, aminek eredménye a hűvösség érzése. Járulékos előny, hogy puha fogást és kiváló nedvszívó képességet is biztosít. A hűsítő hatás mellett a fresh2SKIN kombinálható a halmazállapot-váltáson alapuló hő-szabályozással (PCM). Itt a fentebb említett kapszulák repceolajból előállított természetes viaszt tartalmaznak, ennek halmazállapot-változása fejt ki a kívánt hatást.

A hűtőfolyadékosszellőztető ruha (LCVG)



LCVG öltözet
(Forrás: NASA)

A hűtőfolyadékosszellőztető ruha (Liquid Cooling and Ventilation Garment – LCVG) egy testre simuló ruhadarab, amelyet a test hőjének elvezetésére használnak az űrben végzett tevékenység idején. Gyakran használják olyan környezetben, ahol az izzadásból eredő párolgatózásos hűtés és a szabadlevegős konvekciós hűtés nem működik vagy nem elegendő, illetve amikor a viselőnek olyan biológiai problémája van, amely akadályozza a testhőmérséklet ön szabályozását. A ruha szellőzőcsatornákkal is rendelkezik, amelyek a nedves levegőt a viselő végtagjaiból elszívják, szárazon tartva őt. Egy teljesen zárt öltözetben, ahol a kilelegzett levegő bejuthat az öltözetbe, a kilelegzett levegő nedves, és kényelmetlen nedvességérzetet

okozhat. Az LCVG tartozéka egy hőcserélő, ez a keringtetett folyadékból származó hő eltávolítására szolgál.

Maga a ruhadarab testhez simuló, szorosan illeszkedő, rugalmas anyagból (poliamid- és elszántfonalakból előállított kötött kelméből) készül, amelyre hajlékony csöveket varrnak. A csövek jellemzően néhány milliméter átmérőjűek és hajlékony műanyagból készülhetnek (PVC vagy szilikon). Általában több párhuzamos csövet használnak a hő elnyelésére rendelkezésre álló folyadék térfogatának növelésére. A csövezés sűrűsége az alkalmazástól függően változhat. Maga a ruhadarab lehet egyszerűen egy rövid ujjú T-ing, vagy lehet egy teljes testet fedő ruha, amely a karokat és a lábakat is befedi. Ahol a hőelvezetési igény alacsony, a csövek néhány centiméterenként helyezkedhetnek el a ruhadarab felületén. Ahol nagyon nagy mennyiségű hőt kell elvezetni, a csövek sűrű rácsban, hézagok nélkül rendezhetők el.

Az LCVG-ben hideg vizet keringtetnek a csőhálózaton keresztül, amely közvetlenül érintkezik az űrhajós bőrrel. A víz elvonja a hőt a testből, tehát hűtő hatású. A testmeleg által felmelegített vizet ezután egy hőcserélőben lehűtik, majd újra keringtetik. Az űrruhában a hő végül egy vékony jégrétegre kerül (amelyet egy külön betáplált vízforrás hoz létre). A rendkívül alacsony űrbeli nyomás miatt a felmelegedett jég közvetlenül vízgőzzé szublimál, amit ezután kiengednek az űrruhából. A jég-szublimátor szinterezett nikkellemezekből áll, mikroszkopikus pórusokkal, amelyeket úgy méreteznek, hogy a víz megfagyjon a lemezben, anélkül, hogy károsítaná azt. A jég szublimációs sebessége egyenesen arányos az eltávolítandó hő mennyiségével, így a rendszer ön szabályozó, nincs mozgó alkatrésze. A pórusok végül eltömődnek a szennyeződés miatt, és a lemezeket cserélni kell. Ha a rendszer közvetlen kapcsolatban áll az űrhajóval (vagyis az űrhajós nem távolodik el attól), a hő egy

köldökzsinór-kapcsolaton keresztül visszakerül a fogadó űrhajóba, ahol végül az űrhajó saját hőmérséklet-szabályozó rendszere hősugárzás révén vagy szublimációval elvezeti.

Az alsóruházat fertőtlenítése

A Földön megszokott értelemben a ruhák tisztítására – mosására, szárítására és vasalására – nincs mód. Az űrhajósok egy-egy öltözetet váltott napokon viselnek, majd az elhasznált ruhadarabokból hulladék válik. Ezt összegyűjtik, egy távozó teherűrhajóba helyezik, és ott az űreszközzel, valamint más feleslegessé vált dolgokkal együtt elégnak a sűrű légkörben. De mégis vannak olyan ruhadarabok, mint az űrsétaszakfanderek egyes részei, amelyeket meg kell osszanak egymással az űrállomás lakói.

Minthogy egymást váltják az űrhajósok, ezért megosztják egymás között az űrséta alkalmával viselt-öltözeteket, köztük a bőrükkel érintkező LCVG-t is. Gondoskodni kell arról, hogy semmiféle biológiai szennyeződés ne maradjon rajta, amit a másik űrhajósra átvihetne. Erre dolgozták ki a *Biocid Fejlett Bevonat-Technológia a Mikrobiális Aktivitás Csökkentésére* (Biocidal Advanced Coating Technology for Reducing Microbial Activity), röviden *BACTeRMA* nevű projektet, ami eredetileg ezüstöt vagy rezet tartalmazó antimikrobiális anyagok fejlesztését célozta. Ezek a fémekkel azonban idővel elszíneződnek vagy bőrirritációt okozhatnak. Ezért újabban a Viena Textile Lab olyan mikroorganizmusokkal végez a célnak megfelelő kutató-fejlesztő munkát, amelyek ún. másodlagos metabolitokat termelnek és antimikrobiális, antivirális és gombaellenes hatásúak. A BACTeRMA projekt keretében arra ilyen antimikrobiális textilbevonatot előállításán és kipróbálásán dolgoznak. Vizsgálják, hogy hogyan reagálnak az izzadásra, a sugárzásra és a porra, amelyek az űrhajósok által a pályán és a Hold felszínén tapasztalt körülményeket szimulálják. Ha ez az új anyatechnológia működik, sokkal megbízhatóbbá teheti az űrutazásokon használt alsóneműk másokkal való megosztását.

Az űrhajózás által inspirált alsóneműk a polgári életben

A **polgári életben** általánosan használt („egyszerű”) alsóruházat viselésének célja a

- higiéniai védelem (elválasztja a bőrt a felsőruházattól, felszívja az izzadságot és ezzel megakadályozza, hogy a külső ruházat gyorsan szennyeződjön, segíti a bőrhigiéne fenntartását);
- hőszabályozás és viselési kényelem (meleg időben segíti a párolgást és szellőzést, hidegben kiegészítő hőszigetelést nyújt, réteget képezve a test és a külső környezet között, puha, rugalmas anyagával kényelmet biztosít, csökkenti a dörzsölés vagy kidörzsölődés kockázatát);
- formakialakítás (bizonyos alsóruhák – pl. melltartó, kompressziós alsók – tartást és támaszt nyújtanak mozgás közben, formálhatják az alakot, ezáltal esztétikai szerepet is betölthetnek).

Az **űrhajósok alsóruházatának** az űrben végzett tevékenység során – mint a fentiekben ismertettük – mindezek felül további, az adott körülmények között létfontosságú feladatai is vannak. Ehhez speciális nyersanyagokat, kelmeszerkezetű, kiviteli megoldásokat, konfekciotechnológiai eljárásokat dolgoztak ki, amelyek az idők folyamán természetesen **megjelentek a polgári felhasználásokban is**, mégpedig elsősorban a funkcionális és a

I. táblázat. Űrhajózási eredetű textil- és ruházati technológiák

| Anyag / Technológia | Űrhajózási alkalmazás | Polgári felhasználás (ruházat) | Jellemző tulajdonság |
|--|--|--|--|
| Nomex® (meta-aramid) | Tűzálló belső réteg úrruhákban | Védőruházat: tűzoltók, motorosok, ipari védőruhák | Lángálló, hőálló, kopásálló |
| Kevlar® (para-aramid) | Mikrometeoritok ellen külső védőréteg úrruhákban | Vágás- és ütésálló ruhák, hátizsákok, cipők | Nagy szakítószilárdság, könnyű, erős |
| Gore-Tex® | Lélegző, vízálló rétegek, páratartalom kezelése | Kültéri felsőruházatok, bakancsok, esőkabátok | Vízálló, légáteresztő, tartós |
| Outlast® PCM | Úrruhák hőszabályozása (fázisváltó anyag) | Alsóruházat, hálóruga, ágynemű | Hőmérséklet-szabályozás |
| Antibakteriális kezelés | Antibakteriális réteg az úrruhákban | Szagsemlegesítő alsóneműk, maszkok | Baktérium- és gombaölő, szagmentesítő |
| Coolmax®, Dri-FIT® | Nedvességelvezetés az úrruhák belső rétegeiben | Sport és szabadidő-ruházat, alsóruházat | Izzadságelvezetés, gyors száradás |
| Aerogel szigetelés | Űrszondák és úrruhák extrém hideg elleni védelme | Extrém sportokhoz viselt öltözékek, expedíciós felszerelés | Rendkívül könnyű, különösen jó hőszigetelő |
| Ripstop szerkezetű nylonszövet | Külső úrruha-borítás a mechanikai sérülések (továbbszakadás) ellen | Védő ruhák, túrazsákok, kabátok | Szakadásgátló, könnyű, tartós |
| Kompressziós technológia (az LCVG mintájára) | Folyadékkeringés fenntartása mikrogravitációban | Sporthoz viselt kompressziós alsónadrágok, utazóruházat, hűtőmellények | Vérkeringést-serkentő, izomtámasztó hatás |
| Öntisztuló/textilbevonatok | Higiénikus környezet fenntartása víz nélkül | Antibakteriális ruhadarabok, egészségügyi textíliák | Ritkán kell mosni, antibakteriális, szagmentesítő hatású |
| fresh2SKIN®, HeiQ Fresh® technológia | Hűtő hatás fokozása az alsóruházatban | Sport- és külsőtéri ruházat | Hűtő hatás fokozása |
| Hőhatásra színt váltó textíliák | Tesztruhák környezeti hőmérséklet-jelzésére | Gyerekruhák, díszítő célzatú színváltós ruhaneműk | Interaktív, vizuálisan érzékelhető színváltozás |

különböző védőruházati ruhadarabokban – és nem csak az alsóruházatban, hanem a felsőruházatban is, mint például sportruházatokban, egyes védőruhákban, katonai és tűzoltóruházati ruhadarabokban stb., sőt egészségügyi cikkek készítésében is. Ilyenek például

- funkcionális feladatok ellátása (speciális anyagokból, pl. antibakteriális, szagsemlegesítő, UV-védő, nedvességelvezető – anyagokból készülhetnek stb.);
- sport, munka, egészségügyi vagy extrém körülmények között speciális igényeket elégítenek ki (pl. hűtő/fűtő alsóruhák);
- a Nomexből vagy polibenzimidazolból (pl. Kynol) készült tűzálló kelmék;
- a hőmérséklet-szabályozást biztosító, halmazállapot-váltó (PCM) anyagokkal készült ruhadarabok; az antimikrobiális kezelések használata egészségügyi területeken;
- az inkontinencia-betétekben használt nagy nedvszívóképességű szálanyagok stb.;
- a dörzsölődés minimalizálása érdekében – ahol lehet – tűzött varrat nélküli, hegesztett varratok alkalmazása vagy például egybekötött ruhadarabok készítése stb.

A textilipar fejlesztési irányait – mind a szálanyagok, mind a különböző kelmegvártási technológiák terén – nagymértékben befolyásolják a honvédelem, a sport, az egészségügy, a munkavédelem mindenkori igényei. Az e

területeken megjelent eredmények általában előbb-utóbb megjelennek a polgári ruházatokban is. Így van ez az űrhajózás kapcsán kifejlesztett anyagokkal és technológiákkal is. Az ezek felhasználásával készült, polgári ruházati termékek gyártásával, forgalmazásával több cég is foglalkozik a világban.

Felhasznált szakirodalom

- Spacewalk Spacesuit Basics. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/johnson/spacewalk-spacesuit-basics/>
- Spacesuit materials add comfort to undergarments https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2012/cg_3.html
- Maximum_Absorbency_Garment. Wikipédia szócikk. https://en.wikipedia.org/wiki/Maximum_Absorbency_Garment
- Liquid cooling and ventilation garment. Wikipédia szócikk. https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_cooling_and_ventilation_garment
- Refreshingly cool. <https://www.outlast.com/en/cooling-technology>
- Astronauts share spacesuit 'underwear,' and keeping it clean isn't easy. <https://www.cnet.com/science/astronauts-share-spacesuit-underwear-but-keeping-it-clean-is-a-challenge/>
- Frey Sándor: Tisztább alsóneműt! https://www.urvilag.hu/uj_eszkozok_es_anyagok/20210625_tisztabb_alsonemut