

Érdemes tanulni a természettől

A műszaki termékek tervezői mindig is figyelték a természetet. A repülőgépről álmodozó első próbálkozók is a madarakat akarták utánozni, de ez nem jött be. A mai tervezők a növényeket, bogarakat tanulmányozzák, mert ezek hihetetlenül fantáziadús, energiatakarékos és célszerű szerkezeteket hordoznak. Talán sikerül tanulni tőlük.

Tárgyszavak: műanyagok alkalmazása; bionika; biomimetika; innováció; növények; állatok; önszabályozó szerkezetek.

A tervezők körében egyre erősödik az a törekvés, hogy a természetben előforduló élő szervezetek alapos megfigyelése, szerkezeteik és működési mechanizmusuk tanulmányozása után megpróbálják azokat utánozni és alkalmazni műszaki termékekben. A növényekben és állatokban felfedezett célszerű, anyagtakarékos, szellemes és optimális konstrukciók még ma is sok meglepetést tartogatnak. Rekonstrukciónk nem volna lehetséges műanyagok nélkül. Azt a több szaktudományt átfogó tudományágat, amelynek célja az élő természetben kifejlődött megoldások átültetése a műszaki gyakorlatba, bionikának (elsősorban az orvosi szaknyelvben), ill. biomimikrinek, biomimetikának (a műszaki nyelvben) nevezik.

Számos bionikus vagy biomimetikus eszköz ma még csak a laboratóriumokban létezik, és a felületes megfigyelő játékszernek tekintené, némelyek azonban már a hétköznapijaink része.

Utánzásra érdemes növényi szerkezetek

Ki hinné, hogy a ma már észrevehetetlenül megszokott tépőzár is biomimetikus termék? 1948-ban ugyanis egy svájci villamosmérnök egy gazos területen átgázolva a nadrágjára tapad bogáncsot leszedvegetve találta fel a sok kis hurokból és horogból álló elmés szerkezetet.

Németországban a freiburgi botanikai kertekben működő növény-biomechanikai csoport (*PBMG, plant bio-mechanics group*) 2015-ben egy kiállításon négy növények inspirálta terméket mutatott be: egy nagy ütközési energiát erősen elnyelő rakodólapot; elágazó és egyenes szálaból font vázzal erősített kompozitelemek, egy öngyógyuló habbevonattal borított pneumatikus rendszert és egy elasztikus építményt.

A *rakodólaphoz* az ötletet részben a bambusz szárának erős csillapító hatása (amely a csomóiban található feszes szalagoknak köszönhető), részben pedig a sündisznó vagy a tarajos sül tüskéinek ütést elnyelő tulajdonsága adta. A raklap kifejlesztésében részt vett a denkendorfi textil- és gyártástechnológiai Intézet (ITV,

Textiltechnology and Engineering Institute), egy elektromos/elektronikus berendezések házát gyártó cég (electrical/electronic cabinet & rack engineering Rittal) és egy formatervezést oktató egyetem (Offenbach Design University). A moduláris szerkezetű raklap természetes szálakkal erősített tejsavlapokat tartalmaz, amelyek között labdaszerű műanyaghabba vagy szilikogumiba ágyazott pálcák kb. 225 mm (9 inch) távolságot tartanak. A raklapok 1200 kg-mal terhelhetők, elnyelik az ütési energiát és érzéketlenek a 15–35 Hz közötti rezgésekre. A terméket 2011-ben díjazták ugyan, de gyártására vállalkozó egyelőre nem jelentkezett.

A PBMG-nél a biomimetikus tervezéshez nagyon figyelemre méltónak találják a rendkívül jó mechanikai tulajdonságú óriás olasz nád (*arundo donax*) szerkezetét, amelyben fokozatos a szálak és a mátrix közötti átmenet. Az olasz nád szerkezetét „mímelő” nagyon könnyű szerkezetek erősek és nehezen törnek.



1. ábra Növények szerkezetére emlékeztető pultrudált műanyag profil

giájának tulajdonítják. Ezek a szálak egyenesen mennek a végig szerkezeten és megakadályozzák az elágazások túlbujjánzását. A jövőben nagyon hasznosak lehetnek a gépkocsik B- és C-oszlopaiban. Az ilyen szerkezetek erősen csillapítják a rezgést, jól bírják a terhelést és nehezen törnek el.

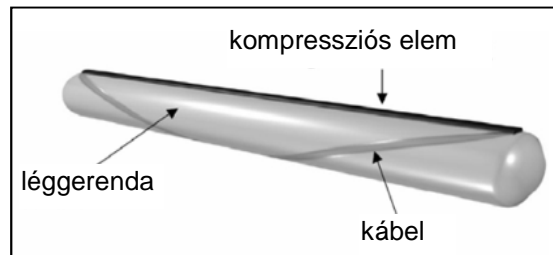
A svájci szövetségi anyagtudományi laboratóriummal (EMPA, federal swiss material science laboratory, Dübendorf) közösen fejlesztett ki a PBMG egy pneumatikus rendszert zárt cellás öngyógyító poliuretánhab rétegből és külső szállal erősített fóliából. Az öngyógyítás mechanizmusát az Észak-Amerikában honos, és a farkasalmák (*aristolichia*) családjába tartozó kúszónövénytől lesték el. A technológiát az olaszországi Tensairity Solution cég (Provaglio d’Iseo) alkalmazza ideiglenes vagy tartós használatra szánt könnyűszerkezetes építményekben, pl. sátrokban, hidakban vagy nagy fesztávolságú tetőszerkezetekben. A 2–3. ábrán a svájci Monterauban felépített, 27 m fesztávolságú könnyűszerkezetes garázs teteje, ill. annak egyik tartógerendája látható. De építettek ilyen szerkezettel már 8 m fesztávolságú 3,5 tonna teherbírású járműhidat is.

A dél-koreai világkiállítás, a 2012-es Expo egyik szenzációja volt a *One Ocean* tematikájú pavilon (4. ábra), amelynek amúgy is futurisztikus megjelenését

biometrikus homlokzatárnyékoló elemekkel növelték, és az egész szerkezet az „elasztikusan deformálódó architektúrát” képviselte. Az árnyékoló elemeket a PBMG, az ITK és a Stuttgarter Egyetem épületszerkezetekkel foglalkozó ITKE Intézete fejlesztette ki. A minta ebben az esetben a *papagájvirág* (*Strelitzia reginae*) volt, amelyet a madarak poroznak be. Amikor a madár rászáll a virág kiálló és szirmokkal fedett bibéjére, a fedőszirmok kinyílnak, a madár hozzáfér a számára kívánatos nektárhoz, eközben beporozza a virágot. A madár távozása után a szirmok ismét bezáródnak (5. ábra bal oldali képe). Ezt a mechanizmust utánozva fejlesztette ki a kutatócsoport a csuklómentes *Flectofin* redőnyrendszert. Az árnyékoló elemek központi része egy pultrudált üvegszálás rúd, amelybe két (vagy egy) lamellát építenek. A lamellákban a rúdra közvetlenül kapcsolódó üvegszálrovingok vannak.



2. ábra A montreauxi garázs pillekőnyű teteje, amelyet öngyógyító pneumatikus gerendák tartanak



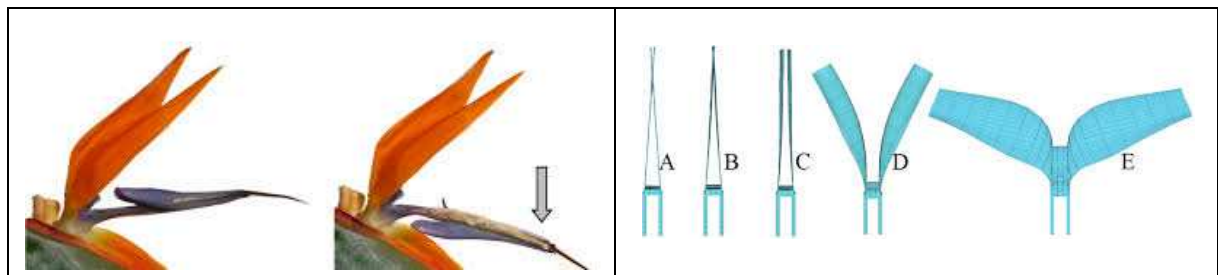
3. ábra A garázs léggerendái henger alakúak, a felfújott tömlőt egy hosszanti gerenda és a tömlőt körülvevő, a gerenda két végéhez csatlakozó kábel védi meg a behajlástól. A szerkezet minimális tömege ellenére igen nagy terhelést képes elviselni



4. ábra A 2012-es dél-koreai Expo One Ocean pavilonja (balra) és a homlokzatát védő biometrikus Flectofin napárnyékoló rendszer kinagyított képe (jobbra)

Alaphelyzetben a lamellák a rúdra merőlegesen, zárt állapotban állnak (5. ábra jobb oldalán, A állapot). Ha a rúd (mechanikai erő vagy hőmérséklet hatására) hátrafe-

lé meghajlik, a lamellák az erőhatásra fokozatosan kinyílnak (*B-E állapot*), az erőhatás megszűnése után ismét bezáródnak. Egy valódi árnyékoló elem nyitott és zárt állapotban a 6. ábrán látható.



5. ábra A papagájvirág bibéje zárt és nyitott állapotban (balra); a Flectofin árnyékoló elem fokozatos kihajlása a központi rúd meghajlásakor (jobbra)



6. ábra Zárt (balra) és nyitott (jobbra) Flectofin árnyékoló elem a valóságban

A Flectofin homlokzatárnyékoló rendszer kevés karbantartást igényel, könnyebben felszerelhető, mint bármilyen más külső vagy belső árnyékolórendszer, és görbült felületekre is felvihető. A One Ocean pavilononra 108 Flectofin elemet szereltek fel, ezek vastagsága 8 mm volt, és 3–17 m magasságban helyezkedtek el a 140 m hosszú görbült felületen.

A világon évente kb. 12 milliárd EUR-t költenek homlokzatokra, ennek 6%-át teszi ki az árnyékolás. A kutatócsoport szerint várható, hogy Németországban és az EU-ban kötelezővé teszik majd az épületek árnyékolását, amivel csökkenthető lesz nyáron a kondicionáló, télen a fűtőberendezések energiafogyasztása. Belgiumi becslések szerint az

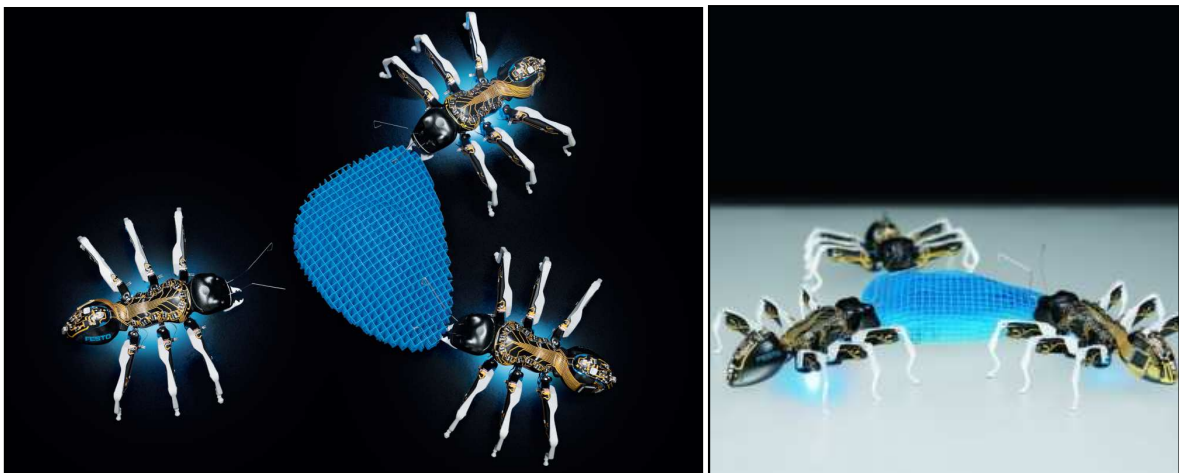
épületek árnyékolásával évente Európában 41 millió tonna olajat és kb. 111 millió tonna CO₂-emissziót lehetne megtakarítani.

Állati minták

A Festo csoportnak világszerte 61 vállalata és 250 irodája van, németországi közponja Esslingenben található. A cég tagja a *bionikus tanulás hálózatának* (BLN, *Bionic Learning Network*), amelyben számos vállalatcsoport, egyetem és kutatóintézet működik együtt azért, hogy az állatok mozgását vagy egyéb tulajdonságait alaposabban megismerjék és a műszaki termékekben ezeket utánozzák. Nem titkolt céljuk, hogy megadják a „kezdőrúgást” az innovációhoz, és felébresszék a fiatalok érdeklődését ez iránt a technológia iránt. A csoport pl. kifejlesztett egy olyan megfogó szerkezetet, amely a kaméleon nyelvére hasonlít, és olyan minilepkéket, amelyek GPS technológiával képesek együtt repülni.

A 2015 októberében Friedrichhafenben megrendezett Fakuma kiállításon a Festo cég bemutatta bionikus hangyarobotjait, amelyeket ún. additív gyártási technológiával (*additive manufacturing technology*) készített el, és amelyek küllemben és funkcióikban is a valódi hangyákra hasonlítanak. A hangyákba *autonóm hálózati technológiát* (*autonomous networking technology*, ezt jelzi a hangyák *BioANTs* márkanévében az ANT, ami egyébként angolul hangyát jelent...) is beépítettek. Ez teszi lehetővé, hogy a robothangyák – a rovarokhoz hasonlóan – egymással kommunikáljanak, és mozgás közben önálló döntéseket hozzanak, amelyek azonban mindenkor a közös célt szolgálják. A hangyák testét poliamidból lézerszinterezéssel gyártották. Hosszuk 135 mm, tömegük 105 g. A *lézerszinterezés technológiájához* (*LSD, laser direct structuring*) a programot a LaserMicronics (Gabsen) készítette el, az alapanyagot (*ProtoPaint LDS*) az LPKS Laser & Electronics (Gabsen) szállította.

A jópofa játéknak tűnő hangyákkal a kutatóknak az a célja, hogy ki tudják majd elégíteni a küszöbön álló 4. ipari forradalom, az Ipar 4. gyárainak igényét, amelyekben a gépek egymással fognak kommunikálni, egyes elemeiknek pedig „intelligenciájuk” révén önállóan kell majd alkalmazkodniuk a legkülönbözőbb körülményekhez a hibamentes termelés érdekében (7. ábra).

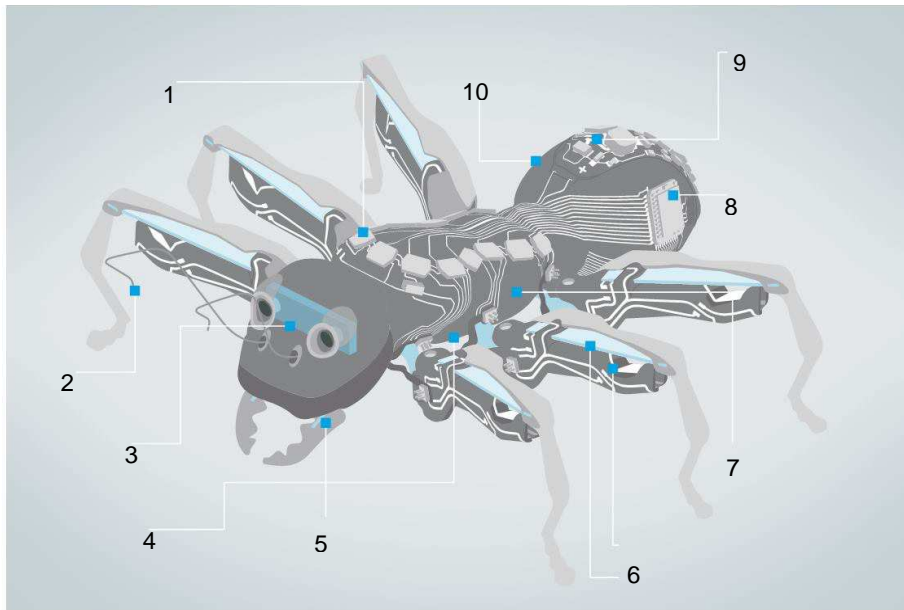


7. ábra A hangyák mennek a „zsákmány” felé (balra) és már hurcolják is hazafelé (jobbra)

Hogy mennyire komoly játékszerek ezek a hangyák, azt a 8. ábra szemlélteti. A high tech legmagasabb csúcsát kellett bevetni, hogy két 8,4 V-os lítiumelemből 40 percig 300 V-os feszültséget tudjanak kivenni a lábak bonyolult mozgásához. Gondoskodni kellett arról, hogy a hangya hasa ne súrolja a padlót; hogy szemével lássa a célt vagy éppen nem ütközzék össze a társával, ne menjen neki a falnak; és miután mégis csak egy gép, időnként fel is kell tölteni energiával. Díjat azonban mégis az additív gyártástechnológia miatt tüntették ki a 2015-ös nürnbergi *SMT Hybrid Packaging* kiállításon. (*SMT = surface mounting technology, felületszerelt elektronika*)

A Festo már hosszabb idő óta alkalmazza az additív gyártástechnológiát. Többféle technológiát próbált ki, pl. az *FDM (fused deposition manufacturing)* eljárásban

ömledékszínőrt fektetnek le rétegekben egy szoftver vezérlésével; egy *EOS Formiga P100* berendezésben *szelektív lézerszinterezéshez (SLS eljárás)* poliamidport alkalmaznak. Az utóbbi eljáráshoz a polimerport az elefánt ormányára és a pisztráng uszonyára emlékeztető eszköz adagolja, amelyet a Festo a Fraunhofer IPA automatizálási kutatóintézettel közösen fejlesztett ki. 2010-ben úgy gondolták, hogy öt éven belül ezek szabványos eljárások lehetnek. Nem számoltak azonban azzal, hogy az Arburg cég 2014-ben piacra hozza ugyancsak díjjal kitüntetett *AKF Freeformer* berendezését, amellyel bármilyen standard polimer feldolgozható additív eljárással. Ez megkérdőjelezi a fejlesztés folytatását.



- 1 – 300 V-os körvezeték és csatlakozók az aktuátorok mozgatásához
- 2 – érintkező és csatlakozás a töltőállomáshoz
- 3 – 3D sztereokamera
- 4 – optikai érzékelő a padlótávolság mérésére
- 5 – piezokerámiás hajlítószerkezet a megfogópofák működtetésére
- 6 – piezokerámiás hajlítószerkezet a lábak előre- és hátramozgásához emeléséhez és süllyesztéséhez
- 7 – 8,4 V-os elemek (40 perc mozgáshoz)
- 8 – processzor a jelek és műveletek összehangolására
- 9 – áramátalakító, amely a 8,4 V-t 300 V-ra transzformálja a piezokerámiás hajlítószerkezetek számára
- 10 – rádiómodul a hangyák közötti kommunikációhoz

8. ábra

A Festo cég BioANT hangyája

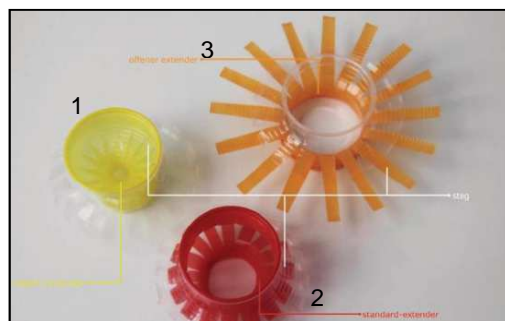
A hangyák egymás között kommunikálnak, önálló döntéseket hoznak, de döntésük mindenkor az előre meghatározott közös cél optimális megoldását segíti

Műanyagok, amelyek a környezet változásaira reagálnak

Az anyagok – a műanyagok is – reagálnak a környezetükben bekövetkező jelenségekre, ha pl. megváltozik a hőmérséklet, a nyomás, a páratartalom, a mágneses mező. Az emberek már nagyon korán felismerték az anyagok és a környezet kölcsönhatását, pl. hogy a szikla megrepeszthető nedvszívó fával. Az is közismert, hogy a göndör haj nedves környezetben megnyúlik, ha pedig két különböző fémet egyesítenek, azok hőmérséklet-változáskor eltérő mértékben tágulnak ki, és ezt a jelenséget fel lehet használni elektrotermikus kapcsolók működtetésére.

A szintetikus anyagok – mindenekelőtt a műanyagok – tulajdonságait szinte tetszőlegesen lehet befolyásolni. Lehet őket tölni, erősíteni, színezni, villamosan vezetővé vagy éppen szigetelővé tenni. Ezáltal célzottan érzényíthetők a környezet valamelyik kiválasztott hatására, és alkalmassá tehetők ún. *adaptív rendszerek* kialakítására, amelyek szabályozó funkcióját elsősorban az építőiparban próbálják alkalmazni.

A nyugatszászországi főiskola építészeti fakultása (Fakultät für Architektur der Westsächsische Hochschule Zwickau/Reichenbach) 2010-es nyári szemeszterén résztvevők a Kunststoff-Zentrum mesternövédekével közösen ilyen szerkezeteket építettek. Tudatosan törekedtek arra, hogy a szokásos (és drága) műszaki vezérlő- és szabályozórendszerek helyett a mélyebb anyagismeretből eredően egyszerűbb és intelligensebb funkcióképes szerkezeteket hozzanak létre.



9. ábra A színváltó hőérzékeny kazetta felszerelése (fent) és a színváltó PP „virágok” zárt (1), félig nyitott (2) és teljesen nyitott (3) állapotban (lent)

Hőre érzékeny szerkezetek

Egy 50x50x10 mm-es hőérzékeny modulokból felépülő homlokzatárnyékoló fal felrakását mutatja a 9. ábra felső képe. Az áttetsző falú kazetták a nap melegét a kaméleonhoz hasonlóan, színváltozásuktól függő mértékben engedik át. A színváltozást az alsó képen kinagyított színes, virágra emlékeztető polipropiléntestek hozzák létre. Ezek alsó zárt tartályában olaj vagy viasz van, felső peremük be van hasogatva. Hőemelkedés hatására az olaj kitágul, egy henger felfelé nyomulva a PP „szirmokat” sugárirányban kifelé hajlítja, a kazetta színe és fényátvezetése megváltozik, hőmérsékletcsökkenéskor a virág becsukódik. A változás percek alatt reverzibilisen minden egyes modulban bekövetkezik. Ezt a szerkezetet továbbfejlesztve a 2022-es katarai labdarúgó világbajnokság helyszínén is tervezik ilyen árnyékolófal felépítését.

Egy másik hőérzékeny rendszer lehet a *Thermoschindel* (hőzsindely), amely színes folyadékot tartalmaz. A 12x24 cm-es hőzsindelyt négy poli(metil-metakrilát) lemezből ragasztják össze. Az előlap belső oldalába különböző szélességű függőleges csatornákat marnak be, ezekben tud a folyadék kitágulni. Mögöttük egy elválasztó lemez van, alsó túlfolyóval. A harmadik lemezbe marják be a folyadék tartályt, amelyet a hátsó, negyedik lemez zár le. Ha a hőmérséklet változik, a frontoldalon emelkedik vagy csökken a folyadék-szint, ennek megfelelően változik a zsindely átlátszósága. Különböző szélességű csatornák bemarásával érdekes mintázatot lehet egy üvegfalnak vagy tetőnek adni.

A hőtágulást használták fel a 10. ábra bal oldali képén látható pikkelyes felület nyitó-záró funkciójának működtetésére. Egy masszív faszerkezetre olyan profilokból álló négyzetes rácsot szereltek fel, ahol a profilrudak külső oldala polietilénből és egy szénszálas műanyagból készült és egy nyomórúddal voltak szoros kapcsolatban. A rács elemekre rugalmas poliamidszövetet feszítettek ki, majd a szövetet az ábrán látható módon átlós irányban behasították. A kétféle anyagból álló profilrudak hőmérséklet hatására meghajlottak, a hozzájuk csatlakozó rúd pedig kinyomta a vele érintkező szövetet. Lehűléskor a szerkezet visszazáródott. Ilyen mechanizmus szerint nyílnak és záródnak a fenyőfa tobozai, de számos más növény is pikkelyei mozgatóásával gondoskodik a gázcsereéről vagy szabályozza a fotoszintézist



10. ábra Hőhatásra változó, pikkelyes növényeket utánzó felület (balra) és bonyolultan hajtogatott növényi szirmokat vagy rovarszárnyakat imitáló elemek (jobbra)

A *Pneukox*-nak nevezett elemekben (10. ábra jobb oldali képe) a növényi szirmok és a rovarvilág szárnyainak teljes kifejlődésük előtt megfigyelt bonyolult hajtogatott formáit próbálják utánozni. Ezek a csodálatos szerkezetek arra is adnak példát, hogy hogyan lehet minimális anyamennyiséget felhasználva nagyon kis helyen szupervékony nagy felületeket tárolni. Ha az utánzatokat sikerül előállítani, és azok működni fognak, soha nem látott érdekes, „élő” felületek díszíthetik majd házainkat és lakásainkat.

Nedvességre érzékeny szerkezetek

A higrofügönynek (*Hygrocurtain*) nevezett szerkezet a páratartalomtól függően változtatja átlátszóságát és áteresztőképességét. A műanyag szálból készített nemszőtt

textilből gyártott méhsejtszerű elemek felveszik a levegőből a nedvességet, egyúttal tárolják is azt. Ezáltal stabilizálják a helyiségek klímáját és hangszigetelő hatásuk is van. Felhasználhatók egy kevésbé dekoratív alsó szerkezet, pl. egy farost- vagy furnírelem fedésére. Ha az alsó lemez a nedvességtől meghajlik, a fedőelemek kinyílnak vagy becsukódhatnak; mozgásukat a faszervezet rostjainak irányultságával lehet szabályozni. A kettős szerkezet többnyire nincs mereven összeépítve, ezért könnyen és gyorsan szétszedhető, szállítható és másutt ismét felállítható. Ilyen kellemes tapintású és vonzó küllemű szerkezetek alkalmazását fürdőkben, szaunákban, öltözőkben ajánlják.

Nyomásra érzékeny szerkezetek



11. ábra Üvegszálak tartalmozó, nyomásra érzékeny panelek, amelyek az előtte álló mozgásától függően nyitják meg vagy zárják el a kilátást

Egy szél nyomására érzékenyített szerkezetben öt vagy hat egymással közös csúcsban találkozó mozgékony rudacska öt- vagy hatoldalú kúpot képez, amelyet kék színű, nagy szakítószilárdságú etilén/tetrafluor-etilén kopoli-mer (ETFE) fólia fog körül. A szél nyomásának hatására a fóliakúp deformálódik, az ilyen szerkezetű elemek fénye, árnyéka és fényvisszaverése folyamatosan változik, ami szemmel láthatóvá teszi a szél erősségét és irányát az ilyen elemekkel borított szabad téri felületen.

A 11. ábra olyan üvegeleket mutat, amelyekben különböző átmérőjű, üvegszálakkal erősített áttetsző műanyag rudak vannak. Ezek a rudak az ablakok előtti mozgás hatására a nyomástól függően meghajolnak, és átláthatóvá vagy éppen átláthatatlanná teszik az ablakot. Ez a tulajdonságuk az épület vagy a termék árnyékolását is szolgálhatja, de egy előadóteremben vagy egy kiállításon a jelenlevők figyelmét is meghatározott irányba terelheti.

Kilátások

A játéknak tűnő próbálkozások egyáltalán nem voltak hiába valók. A kísérleti kutatások nyomán több projekt született. A *Smartskin projekt* keretében kifejlesztettek pl. egy épületburkolatot, amely a hőmérséklet-változás hatására alakváltozással önszabályozza árnyékoló hatását. A *Hybrisantex projektben* többszörösen hajtogatott háromdimenziós távtartókat és magokat készítettek textilből, amelyek felületére üvegszálak vagy szélszálak rácsot tettek. Ezekkel bármilyen görbült formájú szendvicsszerkezetet lehet készíteni, amelyekben a gyanta csak a magokat itatja át, a panelben előre tervezett üregek maradnak, és pl. folyadék- vagy gázvezeték is pótolhatnak. Egy

szobát, egy gépkocsi-karosszérát vagy más felületet hűteni, fűteni lehet velük, de akár a panel színét is meg lehet ilyen módon változtatni.

Összeállította: Pál Károlyné

Vink, D.: Biomimetic inspiration for designers in plastics = Plastics New Europe, 2016. 3. sz. p. 22–23.

Tensairity Solution. Lighter, stronger, better = www.tensairitysolutions.com/

Flectofin® – a hingless flapping mechanism = www.blogionik.org/flectofin-hingless-flapping-mechanism 2016. márc. 16.

Flectofin – ITKE – Universität Stuttgart = www.itke.uni-stuttgart.de/download.php?id=486

Vink, D.: The bionic ants go marchig = Plastics News Europe, 42. k. 11. sz. 2015. dec. p. 18–19.

Festo – BionicAnts. Kooperatives Verhalten nach natürlichem Vorbild = www.festo.com/group/de/cms/10157.htm

Krause, Th.; Schüler, F.: Den Mechanismen der Natur auf der Spur = Kunststoffe, 105. k. 12. sz. 2015. p. 70–73.

Schüler, F.; Krause, Th.: Adaptive Kunststoffstrukturen. Geklebt, gewoben oder gebacken = www.db-bauzeitung.de/themen/technik/geklebt-gewoben-oder-gebacken/

Schüler, F.; Krause, Th.: Kiemenbox = <https://kunststoffobjekt.com/2013/02/01/140/>