

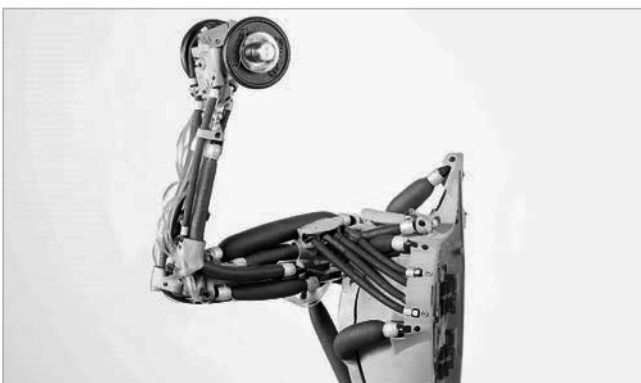
# Industry 5.0 – technológie: bio-inšpirované technológie a inteligentné materiály (4)

V tejto časti série sa budeme venovať ďalšiemu z technologických konceptov, o ktoré sa opiera Industry 5.0 [1]. Tentoraz opíšeme bio-inšpirované technológie a inteligentné materiály. Tieto technológie a procesy vychádzajú z konceptu biologickej transformácie. Môžu byť integrované s vlastnosťami, ako sú napríklad zabudované senzorové technológie a biosenzory alebo adaptívna ergonómia. Súčasťou môžu byť tiež materiály, pri ktorých vieme sledovať vnútornú štruktúru, alebo dokonca materiály, ktoré majú schopnosť samoopravovania a regenerácie. Samozrejme, do tejto časti môžeme zaradiť aj materiály a produkty, ktoré vieme recyklovať a znovu používať [2].

## Bio-inšpirované technológie

Príroda vyvinula materiály, predmety a procesy, ktoré fungujú od makroúrovne po nanoúroveň. Vznikajúca oblasť biomimetiky umožňuje napodobňovať biológiu alebo prírodu a vyvíjať nanomateriály, nanozariadenia a procesy. Vlastnosti biologických materiálov a povrchov vyplývajú z komplexnej súhry medzi morfológiou povrchu a fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Hierarchické štruktúry s rozmermi prvkov od makroúrovne po nanoúroveň sú v prírode úplne bežné, takže poskytujú požadované vlastnosti. Zariadenia v molekulárnom meradle, superhydrofóbnosť, samočistenie, zníženie odporu pri prúdení tekutín, premena a šetrenie energie, vysoká a reverzibilná prílnavosť, aerodynamický zdvih, materiály a vlákna s vysokou mechanickou pevnosťou, antireflexné, štruktúrálné sfarbenie, tepelnoizolačné, samoliečiace a senzorické mechanizmy sú niektoré z príkladov vyskytujúcich sa v prírode, ktoré sú komerčne zaujímavé.

Príkladom bio-inšpirovaných technológií môžu byť pneumatické svaly, ktoré sa často používajú v robotike. Vlastnosti, tvar a správanie pneumatického svalu sú veľmi podobné a porovnateľné s ľudským svalom (obr. 6), takže takéto svaly slúžia na pohyb a manipuláciu s robotom. Tieto technológie sa čoraz častejšie používajú v priemyselných odvetviach [3].



Obr. 6 Pneumatické svaly [1], [4]

Biosenzor je integrované zariadenie, ktoré premieňa biochemické signály na kvantifikovateľný elektrický signál. Typický biosenzor pozostáva z biologického komponentu a elektronického zariadenia, ktoré premieňa biologický signál na merateľný výstup. Biologická časť senzora reaguje s konkrétnou látkou, ktorá je predmetom záujmu, za vzniku fyzikálnej alebo biochemickej zmeny, ktorá je detegovaná a prevádzaná prevodníkom na elektrický signál. Zosilňovač zvyšuje intenzitu signálu, takže ho možno ľahko zmerať. Dizajn a vývoj biosenzorov sa dostal do centra pozornosti v poslednom desaťročí vďaka širokému spektru aplikácií, ako je zdravotná starostlivosť a diagnostika chorôb, monitorovanie životného prostredia, kvality vody a potravín, a čoraz širšie použitie má aj v priemysle. Hlavné výzvy spojené s pokrokom biosenzorov sú efektívne zachytávanie rozpoznávacích biosignálov a premena týchto signálov na elektrochemické, elektrické, optické, gravimetrické alebo akustické signály. Ďalšou výhodou je miniaturizácia používaných snímacích zariadení (výrobné mikro- a nanotechnológie). Biosenzory sú jednou z popredných aplikácií biotechnológie s významom pre viaceré odvetvia. Tieto zariadenia majú schopnosť poskytovať rýchle, nákladovo efektívne, špecifické a spoľahlivé objektívne analytické výsledky [5].

## Inteligentné materiály

Inteligentnými materiálmi v tomto prípade nemáme na mysli samoúčiace sa materiály s bázou znalostí, ale materiály napr. so schopnosťou samoopravovania a regenerácie. Inteligentné materiály sú pokročilé produkty, ktoré dokážu snímať širokú škálu podnetov vrátane elektrických a magnetických polí, teploty, tlaku, mechanického namáhania, hydrostatického tlaku, jasu, jadrového žiarenia a zmeny pH a reagovať na ne. Jedinečné vlastnosti týchto produktov im umožňujú vrátiť sa do pôvodného stavu po odstránení podnetov. Pokrok v sektore materiálovej vedy viedol k vývoju materiálov pre špecifické aplikácie a účely, čo predtým nebolo možné pri použití konvenčných materiálov, ako sú polyméry/plasty, kovy, sklo a keramika. Inteligentné materiály sú schopné pracovať na veľmi nízkej funkčnej úrovni a možno ich použiť vo veľmi zložitých technických systémoch začlenením ďalších funkcií a vlastností.

Inteligentné materiály sa používajú v aplikáciách, ako sú prevodníky, akčné členy, snímače a konštrukčné materiály. Trh s inteligentnými materiálmi je poháňaný nárastom využívania produktov vyrobených z týchto materiálov. Tieto materiály sú často využívané medzi rôznymi priemyselnými odvetvami. Existuje vysoký dopyt po inteligentných materiáloch z dôvodu potenciálneho rastu v rozvíjajúcich sa ekonomikách, ako aj vývoja v oblasti internetu vecí (IoT). Vývoj týchto materiálov stál zväčša nemalé peniaze, ale výroba už býva lacnejšia ako výroba a využitie konvenčných materiálov, senzorov a akčných členov. Tiež sa stáva, že jeden materiál nahrádza viacero konvenčných technológií. Šetrením materiálov a znížením nákladov na výrobu sa sleduje aj ďalší cieľ Industry 5.0, a to je udržateľný rozvoj. Inteligentné materiály sa vyrábajú z dostupných surovín, ktorých máme na zemi prebytok.

Senzory sú komponenty stroja, ktoré reagujú na zmenu mechanických vlastností, ako je viskozita alebo zmena rozmerov. Môžu premeniť fyzikálne parametre, ako je teplota, teplo, pohyb, vlhkosť, tlak a iné, na elektrické signály. Medzi inteligentné materiály môžeme zaradiť aj zliatiny s tvarovou pamäťou, piezoelektrickú keramiku a elektroeologické kvapaliny, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou akčných členov. Akčné členy prevádzajú prijatý riadiaci signál na mechanický pohyb, napr. motory a pohony premieňajú elektrickú energiu na mechanickú vytváraním nepretržitých uhlových rotácií.

Príkladom môžu byť aj reproduktory, ktoré sa používajú ako akustické ovládače v aplikáciách aktívnej regulácie hluku. Pneumatické a hydraulické pohony sa často považujú za užitočné, keď sa vyžaduje veľká sila, príkladom môžu byť aj zmienené pneumatické svaly, nízka frekvencia a posuny, zatiaľ čo elektromagnetický pohon sa používa na odozvu proti zotrvačnej elektrodynamickéj energii. Akčné členy majú potenciál zvýšiť výkon vozidla a znížiť spotrebu paliva, aby sa zaistilo pohodlie a komfort.

K inteligentným materiálom možno zaradiť aj materiály, ktoré majú schopnosť samoopravovania. Najznámejším postupom na vytvorenie materiálu, ktorý sa môže sám opraviť, je vloženie malých kapsúl činidla do samotného materiálu. Pri poškodení materiálu sa kapsuly rozbijú a uvoľnia opravnú látku. Pri tomto dizajne je však rozhodujúca veľkosť kapsúl, pretože ak sú príliš veľké, materiál sa oslabí. Môžu byť tiež použité len raz, čo nie je ideálne, ak je pravdepodobné, že materiál bude opakovane poškodený. Ako príklad z praxe môžeme uviesť lakovanie automobilov. Ak vývoj v oblasti samoopraviteľných polymérnych povlakov dokáže vytvoriť farbu, ktorá odolá malým škrabancom a korózii, môže to mať vplyv na to, koľko budúcich majiteľov automobilov minúť na opravy. Aj niečo také jednoduché má potenciál predĺžiť životnosť vozidiel, čo by bola dobrá správa pre používateľov. Príkladom môže byť polyuretán so schopnosťou samoopravy pri pôsobení ultrafialového (UV) svetla (obr. 7).

Recyklácia je v dnešnej dobe nevyhnutná, a preto sa aj Industry 5.0 zameriava na túto tému. Miera recyklácie v Európe rastie a opätovné použitie a recyklácia vyradených produktov a materiálov sa stane nevyhnutnosťou, keďže je čoraz naliehavší nedostatok surovín. Dnes sa na trh dostávajú nové technologické riešenia, ktoré zvýšia množstvo a kvalitu zhodnotených surovín a umožnia zhodnocovanie aj z nových zdrojov, ako je napríklad recyklácia kovov zo zložitých

produktov po uplynutí životnosti. Technologickí vývojári postupujú v odpadovom cykle viac proti prúdu, aby vyrábali produkty a materiály, ktoré sa ľahšie separujú, opätovne používajú a recyklujú. Prijatie optimálnych riešení recyklácie bude mať pozitívny vplyv na životné prostredie niekoľkými spôsobmi. Vedie to k zníženiu likvidácie odpadu na skládkach a zníženiu spotreby energie a emisií skleníkových plynov. Zníži sa aj dopyt po nových („primárnych“) surovinách, keďže recyklovaný materiál dostupný na trhu je často lacnejším zdrojom pre výrobcov. Inteligentné materiály sa zväčša vyrábajú z jednej látky, prípadne látok, ktoré sa jednoduchým princípom rozdelia a tak je ich recyklácia veľmi jednoduchá, prípadne sa tieto materiály po vylúčení z jedného procesu dajú využiť pri inom procese [7].

## Záver

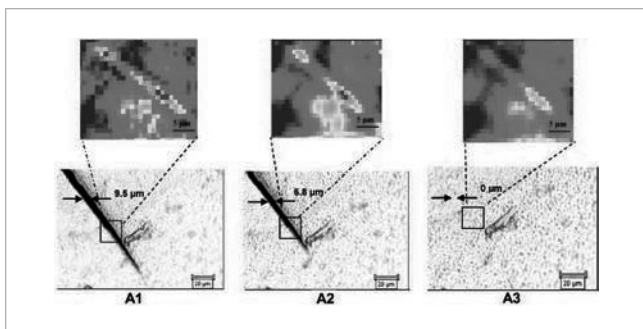
V tejto časti série sme predstavili druhú z hlavných podporných technológií konceptu Industry 5.0, bio-inšpirované technológie a inteligentné materiály. V nasledujúcej časti série opíšeme ďalšie technológie podporujúce Industry 5.0, ako sú opísané v dokumente, ktorý bol vydaný EK [2], konkrétne pôjde o digitálne dvojča a simulácie v reálnom čase.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla s podporou grantu Akcelerácia umelej inteligencie na hrane siete (07/TUKE/2022) a grantu Robotické videnie v inteligentnom priestore (FEI-2022-88).

## Literatúra

- [1] Zolotová, Iveta – Kajáti, Erik – Pomšár, Ladislav: Industry 5.0 – koncept, technológie, ciele (1). In: ATP Journal, 2021, roč. 28, č. 11, s. 42 – 43.
- [2] European Commission; Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Directorate-General for Research and Innovation. DOI: 10.2777/308407\_01/2021
- [3] Wolfen, Simon – Walter, Johannes – Günter, Michael – Haeufle, Daniel F. B. – Schmitt, Syn et al.: Bioinspired pneumatic muscle spring units mimicking the human motion apparatus: benefits for passive motion range and joint stiffness variation in antagonistic setups. DOI: 10.1109/M2VIP.2018.8600913
- [4] Stoll, Wilfried et al.: Robot Arm with Fluidic Muscles – Airic's arm. Festo AG & Co. KG. Dostupné na: <https://bit.ly/3t9SCY8>.
- [5] Naresh, Varnakavi – Lee, Nohyun et al.: A Review on Biosensors and Recent Development of Nanostructured Materials-Enabled Biosensors. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/s21041109>.
- [6] Ghosh, Biswajit, – Urban, Marek W.: Self-repairing oxetane-substituted chitosan polyurethane networks, Science. DOI: 10.1126/science.1167391.
- [7] European commission. Business Innovation Observatory. Sustainable supply of raw materials. Optimal recycling. Dostupné na: [https://ec.europa.eu/growth/publications/optimal-recycling\\_en](https://ec.europa.eu/growth/publications/optimal-recycling_en).



Obr. 7 Samoopravovací polyuretán: A1 – pôvodné poškodenie, A2 – poškodenie po 15-minútovom pôsobení UV svetla, A3 – poškodenie po 30-minútovom pôsobení UV svetla [6]

Ing. Alexander Brecko  
Ing. Erik Kajáti, PhD.  
doc. Ing. Peter Papcun, PhD.

Technická univerzita v Košiciach FEI  
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie  
Centrum inteligentných kybernetických systémov  
<http://ics.fei.tuke.sk>