

Strojárstvo na prahu novej revolúcie

doc. Ing. Miloš Matúš, PhD., Slovenská asociácia strojných inžinierov

Keď dnes vyslovíme slovo „strojárstvo“, mnohí si predstavia veľké výrobné haly, hlučné lisy, sústruhy, zváracie roboty alebo automobilky. Len málokto si však uvedomuje, že ide o jedno z najstarších technických odvetví, ktoré už viac ako dvesto rokov formuje spôsob života celej spoločnosti. Bez strojárstva by neexistovali automobily, lietadlá, vlaky, nemocničné prístroje, veterné elektrárne ani smartfóny. Každý z týchto výrobkov vznikol vďaka práci strojných inžinierov – konštruktérov, technologov, výrobných inžinierov či odborníkov na materiály. Dnešné strojárstvo však stojí na prahu najväčšej zmeny od čias priemyselnej revolúcie. Stroje už nebudú iba vykonávať prácu – začínajú ju plánovať, analyzovať a v určitých situáciách dokonca samostatne rozhodovať. Aby sme pochopili, kam smerujeme, musíme sa najprv pozrieť späť.

Po tisícročia boli výrobky výsledkom ručnej práce remeselníkov. Kováči, stolári či hodinári odovzdávali svoje skúsenosti z generácie na generáciu a každý výrobok bol originálom. Výroba bola pomalá, náročná a závisela predovšetkým od ľudských zručností. Zlom nastal v druhej polovici 18. storočia. Zdokonalenie parného stroja škótskym konštruktérom Jamesom Wattom odštartovalo obdobie, ktoré dnes poznáme ako prvú priemyselnú revolúciu. Parný stroj umožnil poháňať textilné stroje, banské zariadenia aj prvé lokomotívy. Výroba sa začala presúvať z malých dielní do tovární. Vznikli prvé veľké výrobné podniky a strojárstvo sa postupne stalo jedným z pilierov hospodárskeho rozvoja.

Koncom 19. storočia prišla druhá priemyselná revolúcia. Elektrická energia priniesla vyšší výkon, spoľahlivejšie stroje a nové výrobné možnosti. Objavili sa elektromotory, obrábacie stroje s dovtedy nevídanou presnosťou a výrobné linky. Azda najznámejším symbolom tohto obdobia sa stal Henry Ford, ktorý v roku 1913 zaviedol pohyblivú montážnu linku. Výroba automobilov sa dramaticky zrýchlila a vozidlá sa stali dostupnými pre široké vrstvy obyvateľstva. Tento princíp ovplyvnil prakticky celé priemyselné odvetvie. Masová výroba priniesla lacnejšie výrobky, vyššiu produktivitu aj nové profesie.

Po druhej svetovej vojne sa začala ďalšia veľká transformácia. Objavili sa prvé počítače a elektronika. To umožnilo vznik numericky riadených obrábacích strojov (NC a neskôr CNC), ktoré dokázali vyrábať zložité súčiastky s presnosťou, aká bola dovtedy prakticky nedosiahnuteľná. Konštruktéri už nemuseli kresliť výkresy iba na papier. V osemdesiatych rokoch sa začali presadzovať systémy CAD (Computer Aided Design), ktoré umožnili navrhovať výrobky v digitálnom prostredí. Krátko nato pribudli technológie CAM (Computer Aided Manufacturing), ktoré dokázali pripraviť údaje priamo pre výrobný stroj. Vývoj výrobku sa výrazne zrýchlil. To, čo kedysi trvalo mesiace, bolo možné zvládnuť za niekoľko týždňov alebo dní.

V roku 1961 nastúpil do prevádzky prvý priemyselný robot Unimate. Spočiatku vykonával jednoduché a opakujúce sa operácie, ktoré boli pre človeka namáhavé alebo nebezpečné. Dnes sú roboty bežnou súčasťou automobilového, elektrotechnického aj strojárského priemyslu. Moderné roboty už dávno nie sú uzavreté za bezpečnostnými plotmi. Takzvané kolaboratívne roboty (koboty), dokážu bezpečne spolupracovať s človekom na jednom pracovisku. Pomáhajú pri montáži, manipulácii s materiálom alebo kontrole kvality. Ich úlohou nie je nahradiť človeka vo všetkom, ale prevziať monotónne, fyzicky náročné alebo rizikové činnosti.

Na prelome druhého desaťročia 21. storočia sa začal používať pojem Priemysel 4.0. Ide o koncept, v ktorom sú stroje, výrobné linky, senzory, logistika aj informačné systémy navzájom prepojené. Predstavme si výrobnú linku, ktorá sama zistí, že sa opotrebováva ložisko elektromotora. Namiesto čakania na poruchu systém automaticky objedná náhradný diel, naplánuje servis na čas, keď nebude výroba vyťažená, a upozorní údržbu. Výpadok výroby sa tak môže skrátiť z niekoľkých dní na niekoľko hodín. Takéto inteligentné rozhodovanie bolo ešte pred dvadsiatimi rokmi skôr námetom vedecko-fantastických filmov. Dnes sa stáva realitou.

Mnohí si stále myslia, že strojárstvo znamená predovšetkým obrábanie kovov. V skutočnosti ide o mimoriadne široký odbor, ktorý prepája mechaniku, informatiku, elektroniku, materiálové inžinierstvo, automatizáciu, robotiku aj umelú inteligenciu. Moderný konštruktér často strávi viac času pri počítači než pri klasickom výkrese. Výrobný technolog analyzuje tisíce údajov zo senzorov a inžinier v robotike programuje zariadenia schopné samostatného rozhodovania. Výrobné haly sa postupne menia na dátové centrá, kde informácie predstavujú rovnako dôležitú surovinu ako oceľ alebo hliník.

Nová revolúcia je už tu! Ak prvá priemyselná revolúcia priniesla paru, druhá elektrinu a tretia počítače, dnešnú éru charakterizujú dáta, umelá inteligencia a prepojenosť systémov. Rozdiel oproti minulosti je zásadný. Predchádzajúce technologické revolúcie predovšetkým zvyšovali výkon strojov. Súčasná revolúcia sa snaží zvýšiť ich schopnosť učiť sa, predvídať a optimalizovať vlastnú činnosť. To otvára úplne nové možnosti. Stroje už nebudú iba vykonávať príkazy človeka, ale budú mu pomáhať hľadať lepšie riešenia, navrhovať efektívnejšie výrobky a riadiť čoraz zložitejšie výrobné procesy.

Umelá inteligencia, digitálne dvojčatá a generatívny dizajn menia pravidlá hry

Ešte pred niekoľkými desaťročiami bol dobrý strojár predovšetkým človek s bohatými skúsenosťami. Vedel odhadnúť, ako sa bude materiál správať pri obrábaní, kde môže vzniknúť deformácia alebo aký tvar súčiastky bude dostatočne pevný. Tieto vedomosti sa získavali rokmi praxe a často sa odovzdávali medzi generáciami. Dnes sa k ľudským skúsenostiam pridáva nový partner – umelá inteligencia (AI). Neznamená to, že stroje začnú nahrádzať konštruktérov alebo technologov. Oveľa presnejšie je povedať, že sa z nich stávajú ich inteligentní pomocníci. Dokážu analyzovať obrovské množstvo údajov, navrhovať riešenia a upozorňovať na problémy skôr, ako vzniknú. Niektorí odborníci prirovnávajú súčasný vývoj k obdobiu, keď sa v kanceláriách objavili prvé osobné počítače. Spočiatku ich mnohí považovali za zbytočný luxus. Dnes si bez nich prácu nevieme predstaviť. Podobný osud pravdepodobne čaká aj umelú inteligenciu.

Umelá inteligencia

Vo filmoch býva umelá inteligencia často zobrazovaná ako humanoidný robot, ktorý komunikuje s ľuďmi. V priemysle však AI vyzerá úplne inak. Je to súbor algoritmov, ktoré pracujú na pozadí výroby. Analyzujú údaje zo strojov, teplotných senzorov, kamier, laserových skenerov či meracích systémov. Človek ich často ani nevidí, no ich rozhodnutia ovplyvňujú chod celej továrne. Predstavme si obrábacie centrum, ktoré vyrába stovky rovnakých komponentov denne. Po určitom čase sa začne opotrebovávať rezný nástroj. Kedysi si to operátor všimol až vtedy, keď sa zhoršila kvalita výrobkov. Dnes môže AI sledovať vibrácie vretena, spotrebu elektrickej energie, teplotu nástroja aj zvuk vznikajúci pri obrábaní. Zo všetkých týchto údajov dokáže rozpoznať, že nástroj sa blíži ku koncu svojej životnosti. Ešte skôr, než vznikne prvý nepodarok, odporučí jeho výmenu. Takéto riešenia šetria čas, materiál aj peniaze.

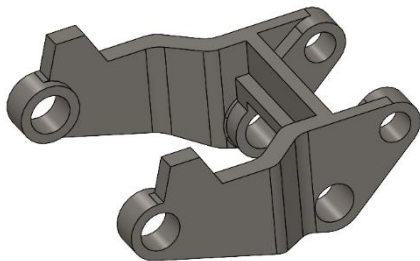
Každý moderný výrobný stroj dnes produkuje obrovské množstvo údajov. Jediná výrobná linka môže za deň vytvoriť milióny záznamov o teplotách, tlakoch, vibráciách, časoch cyklov alebo kvalite výrobkov. Pre človeka je nemožné takéto množstvo informácií spracovať. Umelá inteligencia však dokáže v údajoch objaviť súvislosti, ktoré by človek nikdy nespozoroval. Takéto poznatky sa následne využijú na zlepšenie výrobného procesu. Výrobná linka sa tak obrazne povedané učí zo svojich vlastných skúseností.

Digitálne dvojča

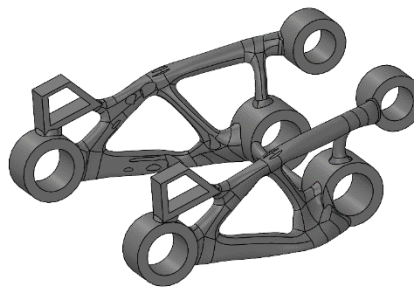
Jednou z najzaujímavejších technológií posledných rokov sú digitálne dvojčatá. Myšlienka vznikla pôvodne v leteckom a vesmírnom priemysle. Inžinieri potrebovali vedieť, ako sa bude zariadenie správať počas celej svojej životnosti, bez toho aby museli vykonávať množstvo drahých experimentov. Vznikol preto virtuálny model skutočného zariadenia. Digitálne dvojča nie je iba obyčajný trojrozmerný model. Ide o živý digitálny obraz reálneho stroja, ktorý neustále prijíma údaje zo senzorov. Ak sa napríklad zvýši teplota ložiska alebo sa objaví nadmerné chvenie, rovnaká zmena sa okamžite prejaví aj vo virtuálnom modeli. Konštruktéri môžu sledovať, ako sa bude zariadenie správať o týždeň, o mesiac alebo o rok. Dokážu simulovať poruchy, meniť prevádzkové podmienky alebo testovať nové riešenia bez toho, aby zastavili výrobu. Niektoré automobilky už dnes najskôr postavlia celú výrobnú linku vo virtuálnom svete. Až keď simulácie potvrdia jej správne fungovanie, začne sa stavať skutočná hala.

Generatívny dizajn

Po stáročia vznikali technické výrobky podobným spôsobom. Konštruktér navrhol tvar súčiastky, vykonal výpočty a podľa potreby návrh upravoval. Generatívny dizajn tento postup obracia. Konštruktér už neurčuje presný tvar výrobku. Zadá iba požiadavky – rozmery, materiál, miesto upevnenia, maximálne zaťaženie, prípustnú hmotnosť alebo výrobné obmedzenia. Počítač následne vytvorí stovky až tisíce možných riešení. Niektoré z nich vyzerajú na prvý pohľad zvláštne. Pripomínajú vetvy stromov, kosti zvierat alebo organické útvary z prírody. Práve príroda totiž počas miliónov rokov evolúcie našla mimoriadne efektívne spôsoby rozloženia materiálu. Výsledkom bývajú konštrukcie, ktoré sú o desiatky percent ľahšie, pričom si zachovávajú rovnakú alebo dokonca vyššiu pevnosť. Nie je náhoda, že generatívny dizajn sa dnes využíva pri výrobe lietadiel, kozmických sond, športových automobilov či medicínskych implantátov.



Tradičný prístup návrhu



Využitie generatívneho dizajnu

Človek zostáva najdôležitejšou súčasťou výroby

Pri všetkých týchto technológiách sa prirodzene objavuje otázka, či bude človek ešte potrebný. Odpoveď je jednoznačne áno. Umelá inteligencia síce dokáže navrhnuť stovky riešení, ale nedokáže sama určiť obchodnú stratégiu firmy, pochopiť potreby zákazníka ani prevziať zodpovednosť za bezpečnosť výrobku. Stroj dokáže nájsť optimálne riešenie podľa zadaných kritérií. O tom, aké kritériá sú správne, však stále rozhoduje človek. Budúci strojár preto nebude iba konštruktérom alebo technologom. Stane sa koordinátorom, ktorý bude prepájať znalosti z mechaniky, informatiky, umelej inteligencie, materiálového inžinierstva a výrobných technológií. Každá nová technológia vznikla preto, aby rozšírila možnosti človeka, nie aby ho nahradila. Robot dokáže zvárať presnejšie ako človek. Umelá inteligencia dokáže analyzovať viac údajov než celý tím odborníkov. Digitálne dvojča dokáže simulovať tisíce variantov výrobného procesu. Žiadna z týchto technológií však sama nevie odpovedať na základnú otázku: Čo má vlastne vzniknúť a prečo? To zostáva úlohou človeka.

Nová éra strojárkej výroby

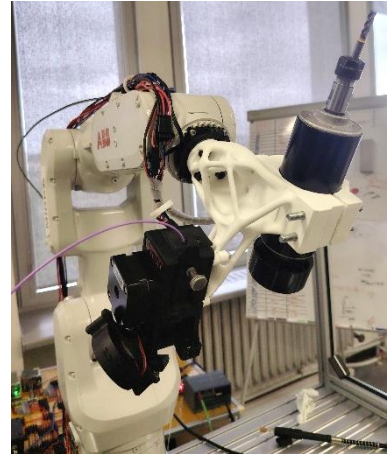
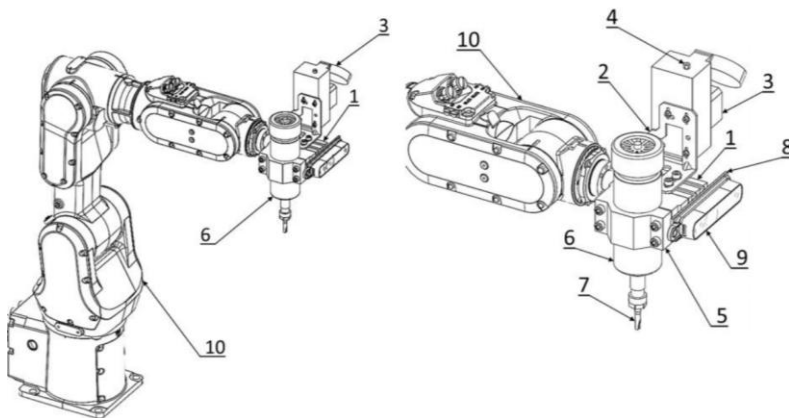
Ak by sme navštívili modernú strojársku továreň spred tridsiatich rokov a porovnali ju s najvyspelejšími výrobnými závodmi dneška, na prvý pohľad by sme našli mnoho podobností. Stále by sme videli obrábacie stroje, robotické ramená, dopravníky či pracovníkov obsluhujúcich výrobu. Pri bližšom pohľade by sme však zistili, že dnešná továreň funguje úplne inak. Stroje medzi sebou komunikujú, výrobky sa priebežne kontrolujú bez zásahu človeka a čoraz viac výrobných operácií sa spája do jedného procesu. Kým kedysi bol každý výrobný krok oddelený, dnes sa výroba snaží vytvoriť jeden plynulý a inteligentný celok. Práve táto premena predstavuje jednu z najväčších zmien, aké strojárstvo zažíva od nástupu automatizácie.

3D tlač – technológia, ktorá dospela

Keď sa pred približne štyridsiatimi rokmi objavili prvé technológie 3D tlače, väčšina ľudí ich považovala za zaujímavú pomôcku na výrobu plastových modelov. Nikto vtedy netušil, že raz budú pomocou tejto technológie vyrábať letecké motory, titánové implantáty alebo komponenty rakiet. Princíp 3D tlače je jednoduchý. Klasické obrábanie odoberá materiál z polotovaru dovedy, kým nevznikne požadovaný tvar. Pri 3D tlači je to presne naopak – materiál sa pridáva iba tam, kde je potrebný. Preto sa tento spôsob výroby označuje ako aditívna výroba. Dnes možno 3D tlačiť nielen plasty, ale aj oceľ, hliník, titán, nikel, meď či keramiku. Moderné laserové zariadenia dokážu vytvárať vrstvy tenké iba niekoľko desiatok mikrometrov, teda približne hrúbku ľudského vlasu. Vďaka tomu vznikajú súčiastky, ktoré by klasickými technológiami nebolo možné vyrobiť.

Hybridná výroba

Napriek svojim výhodám má 3D tlač aj obmedzenia. Povrch výrobkov býva drsnejší, presnosť nie vždy zodpovedá požiadavkám strojárstva a niektoré funkčné plochy je potrebné dokončiť obrábaním. Práve preto vznikla hybridná výroba. Predstavme si výrobný stroj, ktorý najskôr pomocou laseru vytlačí kovový polotovar. Bez toho, aby pracovník výrobok vybral zo stroja, automaticky sa vymení pracovná hlava za frézu. Tá opracuje funkčné plochy na požadovanú presnosť. Následne sa aktivuje merací systém, ktorý skontroluje rozmery výrobku, a ak je potrebné, stroj vykoná ďalšie dokončovacie operácie. Výrobok tak vzniká v jednom pracovnom priestore bez zbytočného premiestňovania. Hybridná výroba patrí medzi najperspektívnejšie oblasti súčasného strojárkeho výskumu a očakáva sa, že v nasledujúcich rokoch bude zohrávať čoraz významnejšiu úlohu najmä pri výrobe zložitých a vysoko hodnotných komponentov.

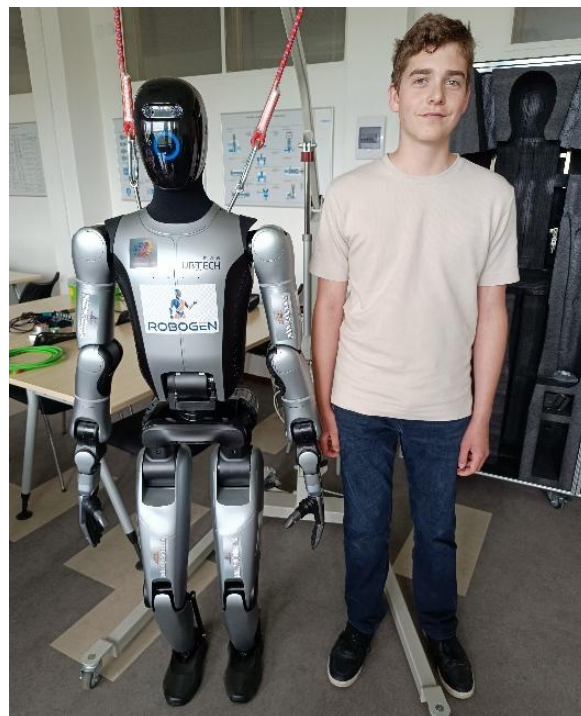


*Patent a realizácia Multifunkčného technologického efektora robota pre hybridnú aditívnu výrobu –
Strojnícka fakulta STU v Bratislave*

Robot už nie je iba manipulátor

Keď sa povie priemyselný robot, väčšina ľudí si predstaví robotické rameno zvárajúce karosériu automobilu. Moderné roboty však zvládajú oveľa náročnejšie úlohy. Pomocou laserových skenerov dokážu rozpoznať polohu výrobku, kamery identifikujú jednotlivé diely a senzory sily umožňujú robotovi "cítiť", akou silou drží predmet alebo montuje súčiastku. Vďaka tomu už robot nemusí pracovať iba v dokonale usporiadanom prostredí. Dokáže reagovať na meniace sa podmienky podobne ako človek. Niektoré roboty dnes vykonávajú brúsenie, leštenie, zváranie, montáž elektroniky, nanášanie lepidiel, kontrolu kvality či dokonca chirurgické operácie.

V posledných rokoch sa čoraz častejšie hovorí o humanoidných robotoch. Na rozdiel od klasických priemyselných robotov majú podobu človeka, pohybujú sa na dvoch nohách a používajú ruky navrhnuté na manipuláciu s bežnými nástrojmi. Prečo vlastne vznikajú? Väčšina dnešných tovární bola navrhnutá pre ľudí. Schody, dvere, pracovné stoly aj ovládacie prvky majú rozmery prispôbolené človeku. Humanoidný robot preto nemusí meniť celé pracovisko. Môže používať rovnaké náradie, pohybovať sa po rovnakých trasách a vykonávať úlohy tam, kde by bolo prestavanie výroby príliš nákladné.



Humanoidný robot určený do priemyselnej výroby – Strojnícka fakulta STU v Bratislave

Flexibilita získava nový význam

Ešte donedávna bolo prestavenie výrobnéj linky na nový výrobok otázkou niekoľkých dní alebo týždňov. Bolo potrebné vymeniť prípravky, upraviť programy strojov a často aj prestavať časť výroby. Moderné výrobné systémy zvládajú podobnú zmenu za niekoľko hodín alebo dokonca minút. To je mimoriadne dôležité v čase, keď zákazníci požadujú stále väčšiu individualizáciu výrobkov. Automobily, bicykle, zdravotnícke pomôcky či športové vybavenie sa čoraz častejšie vyrábajú podľa konkrétnych požiadaviek jednotlivých zákazníkov. Flexibilita sa tak stáva jednou z najcennejších vlastností moderného strojárstva.

Budúcnosť nebude patriť najsilnejším, ale najchytrejším

Po celé dejiny sa technický pokrok spájal predovšetkým s vyšším výkonom. Väčšie motory, výkonnejšie stroje či rýchlejšie výrobné linky boli symbolom úspechu. V najbližších desaťročiach sa však kritériá zmenia. O úspechu nebude rozhodovať iba to, koľko dokážeme vyrobiť, ale predovšetkým ako efektívne dokážeme využívať materiály, energiu a ľudské znalosti. Práve preto sa moderné strojárstvo čoraz viac približuje prírode. Snaží sa vytvárať ľahšie konštrukcie, využívať iba nevyhnutné množstvo materiálu, minimalizovať odpad a navrhovať výrobky s ohľadom na celý ich životný cyklus. Táto filozofia zároveň mení aj samotnú profesiu strojára. Budúci inžinier už nebude iba odborníkom na stroje a materiály. Bude musieť rozumieť aj energetike, digitalizácii, umelej inteligencii, environmentálnym súvislostiam a globálnym trendom.

Strojní inžinieri v roku 2040

Keď sa v roku 1900 niekto rozhodol stať strojárom, jeho svet tvorili výkresová doska, kružidlo, logaritmické pravítko a dielňa plná sústruhov, frézok či vŕtačiek. Dobrý inžinier musel rozumieť mechanike, materiálom a výrobe. To úplne stačilo na to, aby navrhoval stroje, ktoré menili svet. O sto rokov neskôr sa pracovný stôl strojného inžiniera zmenil. Papier nahradil počítač, ceruzku trojrozmerný model a výpočty prevzal špecializovaný softvér. Napriek tomu zostala podstata profesie rovnaká – navrhnuť spoľahlivý výrobok, ktorý bude bezpečný, funkčný a ekonomicky výhodný. Dnes však vstupujeme do obdobia, ktoré môže byť ešte významnejšie než všetky predchádzajúce technologické revolúcie. Mení sa totiž samotná úloha človeka vo výrobe.

Po väčšinu minulého storočia bolo bežné, že sa odborník venoval jednej oblasti počas celej kariéry. Konštruktér navrhoval stroje, technolog pripravoval výrobu, programátor písal riadiace programy a elektrotechnik riešil pohony. Tieto hranice sa postupne stierajú. Moderný vývoj produktu si vyžaduje tím odborníkov, ktorí rozumejú nielen vlastnej profesii, ale dokážu komunikovať aj s expertmi z ďalších odborov. Mechanika sa prepája s elektronikou, informatika s materiálovým inžinierstvom, robotika s umelou inteligenciou a výrobné technológie s analýzou veľkých dát. Neznačená to, že každý bude vedieť všetko. Úspešní budú tí, ktorí budú schopní prepájať jednotlivé disciplíny do jedného funkčného celku. Budúci strojár nebude iba programovať robota. Bude vytvárať pravidlá, podľa ktorých sa robot rozhoduje. Nebude iba navrhovať výrobok, ale bude definovať ciele, ktoré následne umelá inteligencia premení na stovky možných riešení. Inými slovami – človek prestáva byť vykonávateľom jednotlivých úloh a stáva sa architektom celého systému. Budúcnosť nebude patriť strojom. Bude patriť ľuďom, ktorí ich dokážu naučiť myslieť.

A čo sa bude musieť naučiť budúci strojár? Základy strojárstva zostanú rovnaké. Mechanika, pevnosť materiálov, konštruovanie či výrobné technológie budú aj naďalej tvoriť základ technického vzdelania. Výrazne sa však rozšíri okruh ďalších vedomostí. Budúci inžinier bude musieť rozumieť princípom umelej inteligencie, vedieť pracovať s dátami, orientovať sa v simuláciách, digitálnych dvojčatách, robotike, automatizácii, environmentálnych otázkach aj kybernetickej bezpečnosti výrobných systémov. Veľký význam budú mať aj schopnosti, ktoré sa nedajú jednoducho nahradiť algoritmom – tvorivosť, kritické myslenie, komunikácia, tímová spolupráca či schopnosť riešiť neštandardné situácie. Práve tieto vlastnosti budú odlišovať špičkového odborníka od priemerného.

Slovensko má lepšiu štartovaciu pozíciu, než si uvedomujeme

Keď sa hovorí o svetových technologických lídroch, väčšina ľudí si predstaví Spojené štáty, Japonsko, Južnú Kóreu alebo Nemecko. Slovensko sa na prvý pohľad môže zdať ako malý hráč. Pri bližšom pohľade však zistíme, že patríme medzi krajiny s mimoriadne silnou priemyselnou tradíciou. Automobilový priemysel, výroba ložísk, presné strojárstvo, energetické zariadenia či automatizované výrobné linky vytvorili počas desaťročí rozsiahlu sieť odborných znalostí. Slovenské univerzity pripravujú kvalitných technických odborníkov a výskumné pracoviská sa čoraz viac zapájajú do medzinárodných projektov. Budúcnosť však nebude závisieť iba od toho, koľko výrobkov dokážeme vyrobiť. Rozhodujúce

bude, koľko vlastných technológií, patentov, softvérových riešení a inovácií dokážeme vytvoriť. Tu vyvstáva otázka financovania výskumu na Slovensku. Výskum nesmieme vnímať ako náklad, ale ako investíciu. Krajiny, ktoré dnes určujú smer technologického vývoja, investovali desaťročia do výskumu a vzdelávania. Nový materiál, robot alebo výrobná technológia nevzniknú za niekoľko mesiacov. Často ide o výsledok desaťročia systematickej práce vedcov, konštruktérov a priemyselných partnerov. Aj preto rastie význam spolupráce medzi univerzitami, výskumnými organizáciami a podnikmi. Firmy získavajú prístup k najnovším poznatkom a vedci môžu overovať svoje riešenia v reálnych výrobných podmienkach. Práve takéto partnerstvá budú jedným z hlavných motorov technologického pokroku v nasledujúcich desaťročiach. A Slovenská asociácia strojných inžinierov bude pri tom!

Strojárstvo ako tvorivá profesia

V očiach verejnosti býva strojárstvo často spájané s výrobnými halami, olejom, oceľou a hlučnými strojmi. V skutočnosti ide o jednu z najtvorivejších technických disciplín. Každý nový výrobok je výsledkom hľadania kompromisu medzi pevnosťou, hmotnosťou, cenou, bezpečnosťou, výrobnosťou, energetickou náročnosťou a environmentálnymi požiadavkami. Je to neustále riešenie technických hádaniek, pri ktorých neexistuje jediné správne riešenie. Preto bude strojárstvo vždy potrebovať ľudí, ktorí dokážu premýšľať tvorivo.

Ak by sme sa mohli preniesť do roku 2040, pravdepodobne uvidíme továrne, ktoré budú vyzeráť inak než dnes. Humanoidné roboty budú pomáhať pri montáži, digitálne dvojčatá budú nepretržite optimalizovať výrobu, umelá inteligencia bude navrhovať nové konštrukcie a výrobné linky sa budú samy prispôbovať požiadavkám zákazníkov. Možno sa budú vyrábať materiály, ktoré dnes ešte nepoznáme. Niektoré komponenty vzniknú kombináciou aditívnej výroby, presného obrábania a autonómnej kontroly kvality v jedinom výrobnom cykle. Výrobky budú inteligentnejšie, ľahšie a energeticky úspornejšie než čokoľvek, čo používame dnes. Jedna vec sa však pravdepodobne nezmení. Za každým technickým pokrokom bude stáť ľudská zvedavosť. Práve ona viedla Jamesa Watta k zdokonaleniu parného stroja, umožnila vznik elektrických motorov, obrábacích strojov, robotov aj umelej inteligencie. A práve ona bude formovať aj ďalšiu kapitolu strojárstva.

A možno práve na Slovensku medzi dnešnými študentmi – budúcimi strojnými inžiniermi sedí človek, ktorý navrhne technológiu, o ktorej budeme o dvadsať rokov písať ako o začiatku ďalšej priemyselnej revolúcie. Pretože budúcnosť sa nekoná zajtra, vzniká už dnes.