

# Ďakujeme za možnosť využiť dokument spracovaný expertnou skupinou Výskum, vývoj a inovácie rakúskej národnej platformy Industrie 4.0 Österreich pre potreby Industry4UM.

## Združenie Industrie 4.0 Österreich: Nasmerovanie výskumu, vývoja a inovácií pre potreby Industry 4.0

### Základné východiská

Rakúske združenie Industrie 4.0 Österreich má 8 aktívnych expertných skupín. Jednou z nich je skupina „Výskum, vývoj a inovácie“. Pre exportne orientovanú ekonomiku, akou je Rakúsko, je vysoká miera úspešných inovácií rozhodujúca pre obštatie rakúskych firiem v medzinárodnej konkurencii. Pre malé a stredné firmy, ktoré spoločne majú vysoký podiel na rakúskej výrobe a exporte, znamená nástup digitalizovanej výroby veľkú výzvu. Tieto firmy (v ďalšom texte len *SME*) potrebujú systémy a koncepty, ktoré sú používateľsky prívetivé, sú nasaditeľné s nízkymi nákladmi a prinášajú veľmi rýchlo ošoh. Preto sa kladie veľký dôraz na uplatniteľnosť výstupov výskumu, vývoja a inovácií (v ďalšom texte len *R&D&I*) práve v podmienkach *SME*.

Expertná skupina mala za cieľ

- dôkladne zmapovať potreby rakúskeho priemyslu najmä s ohľadom na dodržanie princípu „Stärken stärken“ (posilniť silné stránky) a
- identifikovať vybrané zamerania R&D&I, ktoré pomôžu posilniť exportné šance rakúskych firiem. To obnáša aj odporúčania pre zameranie dotačných aktivít, zameraných na podporu R&D&I.

Výsledkom práce expertnej skupiny je dokument: *Ergebnispapier „Forschung, Entwicklung & Innovation in der Industrie 4.0“*, publikovaný Združením Industrie 4.0 Österreich v júli 2018.

### Zvolené zamerania R&D&I

#### Dokument identifikoval 8 prioritných zameraní R&D&I pre potreby Industry 4.0:

Virtualizácia, senzorové systémy, softvérové inžinierstvo, fyzické systémy, kyber-fyzické systémy, pracovné a asistenčné systémy, obchodné modely a doménové znalosti. Členovia expertnej skupiny vybrali tieto okruhy preto, lebo predstavujú pre Rakúsko veľký potenciál. Súčasne sú presvedčení, že dotácie nasmerované na R&D&I v týchto oblastiach budú korelovať s opakujúcou sa potrebou mnohých priemyselných firiem. Súčasne sú toho názoru, že pre tieto oblasti už v Rakúsku existujú technologické kompetencie, ktoré treba ďalej posilňovať.

### Širší kontext súvisiacich iniciatív

Práca expertnej skupiny neprebíhala vo vákuu. Skupina preto zmapovala relevantné existujúce iniciatívy na úrovni Európskej únie a tiež v Rakúsku.

#### Súvisiace európske iniciatívy:

- BDV (Big Data Value Association)
- ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership)
- AIOTI (Alliance for Internet of Things Innovation)
- EFFRA (European Factories of the Future Association)
- SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency)

#### Súvisiace (reálne fungujúce) rakúske iniciatívy:

- ECSEL Austria (fokus na embedovaný softvér a jeho architektúru, mikro- a nanoelektroniku, inteligentné systémy a architektúry) [www.ecsel-austria.net](http://www.ecsel-austria.net)
- IoT Austria (pracovná skupina)
- Silicon Austria (iniciatíva financovaná z verejných zdrojov [280 mil. €], ktorej cieľom je vytvoriť špičkové centrum pre výskum najmä silových polovodičových komponentov a systémov s laboratóriami v Grazi, Linzi a Villachu) [www.silicon-austria-labs.com](http://www.silicon-austria-labs.com)

- Photonics Austria (technologická platforma pre osvetľovaciu techniku podporovaná Spolkovým ministerstvom dopravy, inovácií a technológií) [www.photonics-austria.at](http://www.photonics-austria.at)
- GMAR (Rakúska spoločnosť pre meraciu, automatizačnú a robotickú techniku) [www.gmar.at](http://www.gmar.at)
- ÖWGP (Rakúska vedecká spoločnosť pre výrobnú techniku) [www.oewgp.at](http://www.oewgp.at)
- AMA (Združenie Additive Manufacturing Austria) [www.am-austria.com](http://www.am-austria.com)

V nasledujúcom texte je stručná charakteristika jednotlivých tém zamerania R&D&I, ktoré identifikovala expertná skupina národnej platformy Industrie 4.0 Rakúsko. Skupina mala interdisciplinárne zloženie, čoho výsledkom je, že zvolené témy majú nielen technickú dimenziu, ale tam, kde je to relevantné, navrhuje sa zamerať R&D&I aj na dopady na ľudí, pracujúcich v digitalizovaných továrňach.

## 8 prioritných oblastí zamerania výskumu, vývoja a inovácií pre Industry 4.0

### 1. Virtualizácia

Rozumie sa ňou taký popis fyzických objektov súvisiacich s výrobou (výrobné zariadenia, výrobky, továrne, výrobné a logistické procesy) vrátane ľudí ako aj vzťahov (toky materiálov, energie, informácií), ktorý umožňuje počítačové spracovanie dát o týchto objektoch, procesoch a vzťahoch. Musí byť možné ukladanie, agregovanie a interpretovanie týchto dát s cieľom priniesť nové poznatky o výrobe. Takýto zber a spracovanie dát obsiahne celý cyklus od plánovania a návrhu produktov a výrobných kapacít až po používanie a údržbu (výrobných zariadení a produktov) a ukončenie ich životného cyklu. Virtualizácia musí zahŕňať aj obchodné procesy (manažment, inžiniering, predaj, ...).

Predpokladom zberu dát je meranie hodnôt relevantných veličín senzormi. Táto podmienka je v súčasnosti splnená len zriedka. Preto musia byť reálne merania takmer vždy doplnené o virtuálne dáta pochádzajúce z matematického modelu výrobku a/alebo výrobného zariadenia. Ukazuje sa, že úloha zostavovať komplexné softvérové simulačné modely fyzických objektov je kľúčová. V niektorých odvetviach je to už dávnejšie obvyklé (napr. letecký a automobilový priemysel). Pri výrobe veľkých sérií sa investície do simulácie rýchlo vrátia, pretože aj malé dosiahnuté zlepšenia sa cez veľkú sériu pozitívne prejavujú na úspore výrobných nákladov alebo nákladov na údržbu. Pre iné výroby s menšími sériami je potrebné podporiť tvorbu simulačných a iných softvérových nástrojov, ako aj nástrojov na spracovanie a vyhodnocovanie sensorických dát (viď. nasledujúca tematická oblasť).

Tvorba modelov si vyžaduje dostatok dát (čo je vo fáze návrhu spravidla nespĺniteľná požiadavka) v kombinácii s reálnym doménovým know-how a znalosťou kľúčových technológií (viď. tematická oblasť 8). Vo fáze bežiackej výroby je možné cez meracie senzory alebo iné zdroje (napr. PLC systémy) zabezpečiť množstvo dát. Tu nastupuje napr. technológia big data na zvládnutie veľkých množstiev dát a dolovanie užitočných informácií. Taktiež sa v tejto fáze môžu ukázať ako veľmi užitočné modely, schopné pracovať v reálnom čase (napr. ako súčasť automatizačných systémov) pri riadení výrobných procesov a zabezpečení kvality výroby.

Pokiaľ ide o dáta pochádzajúce z meraní v predaných produktoch (napr. autách), tieto môžu dosahovať obrovské objemy a na ich vyhodnocovanie sa môžu použiť softvérové systémy na báze umelej inteligencie.

Expertná skupina hodnotí možný prínos posilnenia R&D&I v oblasti virtualizácie ako veľmi vysoký. Vyžaduje si to však zvládnutie narastajúcej zložitosti výrobkov a výroby. V mnohých oblastiach vhodné matematické modely úplne absentujú. Existujúce modely spravidla riešia disjunktné subsystémy alebo zariadenia a chýbajú komplexné modely. Je potrebné rozmýšľať na úrovni komplexných systémov, posudzovanie dopadov na celý systém (výrobný proces, životný cyklus výrobku/výroby, ...).

Výskum a vývoj v oblasti virtualizácie by sa mal orientovať na nasledovné témy:

- ako sa vysporiadať s neúplnosťou modelov a dát
- posudzovanie konzistencie modelov a dát
- nutnosť pokryť modelmi
  - celý životný cyklus výrobkov a výrobných zariadení
  - rôznorodé výrobné činnosti
  - celý hodnotový reťazec (subdodávateľov, zákazníkov, servisné organizácie).

## 2. Senzorové systémy

Priebežné monitorovanie výrobných infraštruktúry a výrobných procesov si vyžaduje inteligentné senzorové systémy a inteligentné vyhodnocovanie dát v reálnom čase. Procesné dáta budú v reálnom čase využívané na optimalizáciu výrobných/pracovných postupov a nasadzovania výrobných prostriedkov a materiálu. Optimalizácia komplexných výrobných zariadení musí zabezpečovať aj ich hospodárnosť (vyťaženosť výrobných liniek, kvalitu výrobkov, spotrebu zdrojov – napr. energie). Musí brať do úvahy meniacu sa trhovú situáciu (napr. stav objednávok a prognózu odbytu). Integrácia meracej techniky s riadiacimi technológiami povedie k pribúdaniu autonómne fungujúcich riadiacich systémov, ktoré sa zaoberajú bez náročnej výpočtovej techniky. V menšom rozsahu už aj dnešné výrobné zariadenia poskytujú údaje o svojom stave. Moderné senzorové systémy umožňujú výrobcovi to, aby získali popis fungovania už existujúcich tovární a výrobných liniek/zariadení v nich. Tieto dáta môžu byť použité na efektívne plánovanie výrobných liniek a procesov. Doplnenie senzorov retrofit-prístupmi umožní integrovať do IT spracovania aj výrobné zariadenia, ktoré pôvodne neboli schopné komunikovať cez IP protokol. Takýmto spôsobom môžu byť získané dáta, umožňujúce aj tieto výrobné zariadenia zahrnúť do matematických modelov a tak tieto zariadenia využiť aj v digitalizovanej výrobe.

Senzorové systémy zohrajú dôležitú úlohu vo viacerých oblastiach výroby:

Kontrola kvality výrobkov: je potrebné kontrolovať kvalitatívne parametre jednotlivých výrobných úkonov aj v podmienkach veľmi pružne sa meniacej výroby a to v reálnom čase, aby bolo možné do výroby efektívne a automaticky zasahovať. Záseh môže byť cez autonómne regulačné systémy alebo prostredníctvom komunikácie medzi kyber-fyzickými systémami a obsluhou/expertom. Keďže človek je naďalej veľmi vizuálny tvor, budú prostriedky vizualizácie naďalej veľmi dôležité pri objektívnom alebo aj subjektívnom posudzovaní kvality.

Prediktívna údržba: zabezpečí čo najlepší stav výrobných zariadení vďaka senzorum a analýze senzorových dát. Softvérové vyhodnotenie komplexných udalostí umožní na základe aktuálnych stavových dát a parametrov zariadení automaticky plánovať v ERP systéme zásahy údržby. Prediktívna údržba nielenže zvýši disponibilitu zariadení ale otvorí výrobcovi zariadení a strojov nové trhové potenciály.

Výskum a vývoj v oblasti senzorových systémov by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Vývoj a integrácia energeticky úsporných a autonómnych senzorov, resp. senzorových systémov.* Dôležitou požiadavkou na tieto systémy a prvky je inteligentná „samodiagnóza“ a schopnosť recalibrácie. Vývoj by sa mal zamerať aj na schopnosť senzorov adaptovať sa na meniace podmienky (napr. meniace sa parametre prostredia, koncentrácie látok, rušivé vplyvy, atď.) aby zostali aj za týchto podmienok funkčné.
- *Energy harvesting pre napájanie senzorov a prenos dát.* Ide o elektroniku pracujúcu pri veľmi nízkom napätí ( $\leq 1,2$  V) aby bolo možné získanú energiu priamo používať bez potreby úpravy napätia, pri ktorej sa časť energie stráca. Treba dosiahnuť prevádzku senzorov s minimálnou spotrebou energie a to vrátane predspracovania nameraných dát.
- *Inteligentné systémy strojového videnia pre výrobné procesy.* Monitorovanie, inšpekcia a kontrola kvality vo výrobe si často vyžaduje 3D zachytenie priestorov bez prítomnosti človeka, napr. pri kontrole kvality opracovaných plôch alebo presnom skenovaní rozmerov objektov pri tvárnení.
- *Senzorika založená na nových materiáloch.* Vývoj nových účinných látok pre senzory určené napr. na detekciu a kvantifikáciu organických alebo anorganických substancií v procesnej výrobe.
- *Životný cyklus systémov.* Ide napr. o možnosť dovybavenia starších zariadení zberom dát rovnako ako o koncepty fúzie senzorových dát, resp. virtuálnych senzorov vrátane dodržania princípov bezpečnosti dát pre zvýšenie presnosti resp. vypovedacej schopnosti zhromažďovaných dát.

## 3. Softvérové inžinierstvo

Dramatické zlepšenie funkcionality softvéru, používaného vo všetkých oblastiach výroby, najmä zvýšenie jeho schopnosti zabezpečiť automatické vykonávanie výrobných činností sú jedným zo základných predpokladov znižovania výrobných nákladov a zvyšovania flexibility výroby (smerom k veľkosti sérií 1) v inteligentnom priemysle. Komplexné výrobné technológie sú tvorené mechanickými, elektronickými a softvérovými komponentmi. Softvér zabezpečuje ich integráciu ako aj integráciu so senzorovými systémami a prináša možnosť použiť inteligentné optimalizačné a kognitívne postupy v riadení výrobných procesov. Softvér, resp. softvérové inžinierstvo je prierezovou disciplínou kľúčového významu pre celý koncept Industry 4.0.

Softvér umožňuje zjednotenie algoritmov, sensorov a z nich pochádzajúcich dát, fyzických a kyber-fyzických objektov a systémov do jedného optimálne fungujúceho funkčného celku.

Zásadnou výzvou pre priemyselné softvérové inžinierstvo sú zásadne odlišné cykly aktualizácie softvéru a fyzických zariadení. V minulosti sa pri inteligentných produktoch často narážalo na to, že hoci produkt po fyzickej stránke fungoval ďalej, nepodarilo sa zabezpečiť aktualizáciu jeho softvéru počas celého životného cyklu fyzického zariadenia.

Výzvami pre softvérové inžinierstvo sú napr.:

- Výber vhodných metód SW vývoja a validácie výsledných verzií SW pri veľkom počte rôznych verzií a oblastí nasadenia.
- Zabezpečenie robustnosti a kvality SW systémov zodpovedajúcej priemyselným štandardom, ktoré budú čoraz náročnejšie.
- Vývoj kognitívnych SW riešení (napr. na báze AI, resp. strojového učenia), schopných analyzovať dáta získané z výrobných procesov a používania inteligentných výrobkov.
- Veľkou výzvou je schopnosť integrovať štandardné SW balíky (na úrovniach CAD/CAM, shopfloor, MES a ERP) s individuálne vyvíjaným SW, aby sa dosiahla priebežná digitalizácia pozdĺž hodnotových reťazcov. Pôjde o vertikálnu aj horizontálnu integráciu s využitím moderných rozhraní (API), webových služieb, streamingových rozhraní ako aj v čoraz väčšom merítke externých systémov a úložísk dát v cloudoch.
- Komplexné zosieťovanie umožní spracovanie dát, uložených a spravovaných oddelene (napr. aj na mobilných zariadeniach, sensorových systémoch a ich úložiskách). Toto spracovanie bude podľa okolností prebiehať na rôznych miestach (lokálnych serveroch, v cloude, na edge zariadeniach, atď.).

Výskum a vývoj v oblasti softvérového inžinierstva by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Softvér pre kognitívne systémy na reaktívne alebo proaktívne riadenia.* Ide o novú komplexnú softvérovú disciplínu, poskytujúcu implementáciu rôznych metód riadenia výroby, vrátane proaktívnych postupov.
- *Systémy a softvér pre adaptívne a spoľahlivé výrobné systémy.* Ide o zvládnutie komplexity nových distribuovaných softvérových architektúr a vývoj spoľahlivých distribuovaných SW technológií, ktoré umožnia tvorbu inteligentných aplikácií a systémov, ktoré sa počas svojho životného cyklu dokážu prispôbovať meniacim sa podmienkam.
- *Životný cyklus softvéru.* Ide o výskum a vývoj nových postupov pri správe životného cyklu priemyselného softvéru. Očakáva sa automatická analýza existujúceho kódu, jeho re-inžiniering a príp. reverzný inžiniering, automatické zmeny v rámci aktualizáčnych cyklov a schopnosť prispôbenia výsledného softvéru meniacim sa spôsobom distribúcie. Bude treba zohľadniť aj okolnosť, že čoraz viac riadiacich algoritmov bude nahrádzaných algoritmi založenými na použití AI, resp. strojového učenia.

#### 4. Fyzické systémy

Výzvou, ktorá stojí pred strojárskym priemyslom je ako technicky (pokiaľ ide o riadenie ale aj samotnú vyrobiteľnosť strojov) a súčasne hospodárne zvládnuť požiadavky na výrobu strojov novej generácie. Pritom sa hľadá optimálny kompromis medzi tým, čo je technicky možné a súčasne finančne únosné. Pritom je východisková situácia Rakúska ako priemyselnej krajiny s vysokou kompetenciou v elektronike ako aj strojárstve a dodávkach ucelených výrobných celkov priaznivá. Podmienkou úspešného využitia strojárskej kompetencie Rakúska v digitalizácii priemyslu však bude výchova a dostatočná dostupnosť celej škály vysoko kvalifikovaného personálu od odborníkov s doménovými znalosťami až po excelentných vedcov.

Potreba výskumu a vývoja v členení podľa „strojárskej systematiky“:

##### Základné systémy (materiály, funkčné povrchy)

Realizácia inteligentného priemyslu je založená na predstave integrovaného vývoja výrobných systémov a samotných výrobkov. To povedie k vývoju na mieru pripravených materiálov a nových typov nástrojov na ich spracovanie. Zasiachne to veľa skupín materiálov, ktorých obrábanie a spracovanie sa bude optimalizovať a meniť oproti dnešku. Týka sa to popri izolátoroch, polo- a vodičoch aj funkčných materiálov (napr. optimalizovaných sensorov a akčných členov) a tiež klasických štruktúrnych materiálov ako kovov, keramik, plastov a ich kompozitov. Témy, vyžadujúce výskum a vývoj sa týkajú všetkých stupňov v hodnotovom reťazci. Nové špičkové materiály si vyžadujú nové výrobné procesy, keďže vlastnosti materiálu určujú voľbu procesov a do značnej miery aj výrobné náklady. Veľkou témou bude návrh nových funkčných povrchov, vytváraných

nanášaním vrstiev a technológiami jemného povrchového spracovania. Asi najväčšou výzvou je vývoj práškových kovových materiálov pre sériovú aditívnu kovovú výrobu.

#### Inteligentné podsystémy (komponenty, moduly, nástroje)

V digitálnej továrni sa každý podsystém stáva „inteligentným agentom“ v rámci celej továrne tým, že musí byť schopný produkovať a spracovávať dáta a vymieňať si ich s inými podsystémami, s ktorými je zosieťovaný. Je navrhnutý model stupňovanej klasifikácie nástrojov, ktorý má tomu napomôcť. Komplexnosť a požiadavka testovateľnosti moderných mechatronických systémov je zvládnuteľná len na báze modularizácie a štandardných rozhraní. Aj v mechatronike sa uplatňuje požiadavka „plug and play“.

#### Komplexné ucelené systémy (zariadenia, stroje, inteligentná továreň)

Digitalizácia týchto systémov si vyžiada výskum a vývoj so zameraním najmä na

- hodnotenie stavu strojov na základe priebežného merania a vyhodnocovania nameraných dát pre potreby preventívnej údržby,
- integráciu rôznych výrobných postupov do hybridných výrobných procesov,
- dosiahnutie schopnosti riadiacich systémov fungovať spôsobom „plug and produce“.

Aj efektívnosť vynakladania zdrojov (napr. energie) zostáva centrálnou témou.

Spoločným menovateľom a podmienkou pre pokrok v týchto oblastiach je však tvorba dostatočne presných matematických modelov (strojov, výrobkov a procesov). Preto je toto najzávažnejšou a najprioritnejšou témou výskumu.

Modely sú zásadné pre fázu návrhu (CAD, CAM, ...) ako aj pre fázu výroby. Bez vytvorenia modelov nie je možné ani uplatnenie umelej inteligencie.

Potrebný je aj ďalší razantný výskum a vývoj v robotike. Rakúsko potrebuje zvýšiť mieru nasadenia priemyselných robotov, keďže v porovnaní s Nemeckom a Južnou Kóreou má len asi tretinovú mieru robotizácie výroby. Roboty sú rozhodujúce pre zjednodušenie rekonfigurovania výroby a pripravenosť na výrobu malých sérií.

#### Distribučné systémy (výrobná logistika)

Inteligentná továreň ako základný prvok inteligentného priemyslu musí umožniť efektívne a spoľahlivé zvládnutie komplexnosti výroby. Preto jej dôležitou súčasťou je inteligentná logistika, využívajúca technológie Internet of Things (IoT), internet fyzických zariadení, rozšírená realita a autonómne dopravné systémy. Tieto dopravné systémy flexibilne prepájajú stroje do automatizovaných výrobných systémov.

Výskum a vývoj v oblasti fyzických systémov by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Materiály.* Vývoj materiálov „na mieru“ (keramiky, plasty, kovy, kompozity) s optimálnymi vlastnosťami pre produkt aj výrobu. Súbežne vývoj materiálov pre výrobu nástrojov (napr. na báze polykrystalických diamantov, CBN, tvrdých kovov a keramiky).
- *Povrchy.* Nové technológie opracovania a úpravy povrchov (s ohľadom na napr. zmáčateľnosť, opotrebovanie, odstránenie napätí) a vývoj nových povrchových úprav s ohľadom na obrábateľnosť.
- *Aditívna výroba.* Výroba na báze 3D-tlače z keramiky, plastov, kovových materiálov a kompozitov sa musí zrýchliť, stať spoľahlivejšou a dať sa integrovať do existujúcich výrobných sekvencií. Pritom je dôležité, že takto vyrábané komponenty majú iné vlastnosti ako klasicky vyrábané (pevnosť, obrábateľnosť). Vysoko produktívna automatizovaná výroba sa musí s takými komponentmi vedieť vysporiadať.
- *Konštrukcia strojov a jej optimalizácia.* Kinematika obrábacích strojov a priemyselných robotov musí spĺňať vysoké požiadavky na tuhosť, dynamiku a tepelnú stabilitu. Konštrukčné prvky strojov a mechatronické komponenty zabezpečujúce kompenzáciu vibrácií a odchýlok musia byť optimalizované. Výroby kombinujúce tvárnenie, obrábanie a aditívnu výrobu musia byť optimálne zladené aby dokázali efektívne vyrábať z budúcich materiálov. Do strojov bude integrovaná v čoraz väčšom rozsahu fotonická technika a laserové meranie ako kľúčové technológie. Automatické riadiace systémy sa budú musieť vedieť vysporiadať s vysokými bezpečnostnými požiadavkami na kooperáciu ľudí a robotov.
- *Logistika.* Inteligentná logistika si vyžaduje vývoj autonómnych automatických prepravných systémov, disponujúcich podporou štandardných rozhraní voči výrobným a skladovým systémom.

## 5. Kyber-fyzické systémy

Definícia CPS (cyber-physical system) hovorí, že je to integrácia počítačových výpočtov s fyzickými procesmi, ktorej správanie je definované aj kyber- aj fyzickými časťami systému. Vyznačujú sa tesným prepojením medzi výpočtom, výmenou dát, riadením a interakciou so správou úloh, na ktorých plnenie sú nasadené. Pritom doména plnených úloh zahŕňa nielen fyzické prostredie, ktoré môže byť automaticky popísané v kybernetickom priestore, ale zohľadňuje aj sémantické vzťahy v kyber-fyzicko-sociálnom prostredí. „Sociálna dimenzia“ znamená zahrnutie ľudí a ich správania ako aktérov v danom priestore. To znamená, že cieľom CPS je dosahovať požadované parametre inteligentnej výroby (napr. zníženie jej chybovosti, zvýšenie jej flexibility) aj so zohľadnením možností a limitácií ľudskej pracovnej sily.

V inteligentných továrňach budú nasadené kyber-fyzické výrobné systémy (CPPS – cyber-physical production systems). V dôsledku toho sa zásadne zmení úloha ľudských operátorov v riadení výrobných procesov. Nebude už zameraná na rutinné úkony, ktoré prevezme automatizácia, ale skôr na hľadanie potenciálu na zlepšovanie alebo na riešenie výnimočných situácií. Nasadenie CPS prinesie viaceré technologické ale aj netechnologické výzvy, ktorých riešenie zásadne ovplyvní realizáciu vízie inteligentného priemyslu.

Výskum a vývoj v oblasti kyber-fyzických systémov by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Riešenie novej nekompatibility* pri integrácii heterogénnych kyber- a fyzických aspektov v CPS.
- *Distribúované senzorové systémy, výpočty nad ich dátami a riadenie*: jedným z hlavných problémov sa javí získavanie a zber dát v reálnom (alebo kvázi-reálnom) čase a ich spracovanie na adekvátne informácie pre potreby riadenia v distribuovanom prostredí.
- *Fyzické a ľudské rozhrania a ich integrácia*: CPS môžu byť nasadené v rôznych prostrediach s rôznymi senzorovými systémami. Ďalej môžu ich funkcie založené na použití umelej inteligencie prichádzať do interakcie s používateľmi na rôznej úrovni kvalifikácie a kompetencie prostredníctvom MMI (man-machine-interface). Efektívnosť tejto interakcie môže byť veľmi rozdielna.
- *Extrahovanie poznatkov z heterogénnych zdrojov dát*: ide o výsledky spracovania „surových dát“ rôznej kvality (štruktúry, formátov, kvality a vypovedacej schopnosti). Budú používané techniky inteligentnej dátovej analýzy, umelej inteligencie (osobitne predictive/prescriptive data analytics) a deep learning. Získané poznatky budú používané na prijímanie rozhodnutí a získania následného poznania z dopadu prijatých rozhodnutí.
- *Modelovanie a analýza fyzických a kyber-komponentov*: osobitnou výzvou sa javí byť modelovanie a analýza heterogénnych komponentov s rozličným poňatím času, rôznym škálovaním a následne integrácia získaných spätných dát z takýchto modelov.
- *Privátnosť, dôverynosť a bezpečnosť*: sprístupnenie dát z CPS môže vyžadovať nové pravidlá pre ich prístup a používanie. Môžu vzniknúť nové druhy fyzických a kyber-fyzických útokov na informácie inteligentných a zosieťovaných tovární. Budú potrebné nové koncepty a nástroje na udržanie a zvýšenie bezpečnosti dát.
- *Robustnosť, prispôsobivosť, rekonfigurovateľnosť*: CPS pracujú v dynamických výrobných prostrediach a musia sa vedieť vysporiadať so situáciami neurčitosti a poruchovými stavmi bez dopadu na kvalitu výrobkov. Ďalej musia byť rekonfigurovateľné a prispôsobivé aby dokázali eliminovať, izolovať alebo opraviť neočakávané chyby vo fyzickej aj kyber-doméne.
- *Softvérové technológie*: Vývoj a nasadenie CPS si vyžadujú nové programovacie jazyky, pritom súčasné CPS už poskytujú stabilnú funkcionálnu (príkladom sú vyspelé PLC riešenia). Nové CPS však budú založené na integrovaných SW-riešeniach, podporujúcich plánovanie výroby, dohľad nad CPS a zvládnutie spracovania obrovských množstiev dát (v reálnom čase) vymieňaných medzi podsystémami, celými sústavami systémov a ich okolím.
- *Overovanie, testy (bezpečnosť), certifikácia a smernice*: Budú potrebné úplne nové prístupy k verifikácii a testovaniu aby bolo možné preveriť a korigovať možné udalosti (napr. poruchy vo fyzických a kyber-systémoch) napr. posúdením konformity systémov so štandardmi. Vyžiada si to vývoj modulu rozpoznávania, učenia a argumentácie, aby sa zaručila správnosť prijímaných rozhodnutí a aby sa systémy učili z dát z minulosti. Nasadzovanie CPS v rôznych výrobných odvetviach si vyžiada aj postupy ich certifikácie – napr. pokiaľ ide o identifikáciu zdrojov možného rizika úrazov a ich zabezpečenie v zmysle pravidiel bezpečnosti práce a ochrany zdravia.
- *Spoločenské dôsledky*: Spoločenské aspekty CPS môžu ovplyvniť design, skúšobníctvo, schvaľovanie, prevádzku, ochranu dát, dôveryhodnosť a tolerovanie nedostatkov CPS. Vývoj CPS meniacich postavenie ľudí vo výrobe môže viesť k spoločenskému, kultúrnemu a etickému odporu voči takýmto technologickým trendom. Napr. pre riziko eliminácie pracovných miest v dôsledku nasadzovania robotov a inteligentných systémov.

## 6. Pracovné a asistenčné systémy

Nasadenie inteligentných výrobných systémov zásadne ovplyvní rozhranie človek-stroj, typy úloh a činností plnených, resp. vykonávaných ľuďmi a tiež celkovú organizáciu práce. Aj v minulosti boli zásadné technologické zmeny v priemysle sprevádzané radikálnymi zmenami úloh plnených ľuďmi a tieto zmeny boli vedecky skúmané a hodnotené. Úspešné koncepty viedli k spoločnému definovaniu postavenia človeka: človek je ten kto rieši problémy a inovuje. Najnovšie poznatky z praxe vyspelých firiem ukazujú, že najväčší potenciál inteligentných výrobných technológií sa dosiahne prepojením na jednej strane ľudských schopností (individuálnych a kolektívnych) zvažovať, riadiť, riešiť problémy, zasahovať do procesov a prispôbovať ich a na druhej strane strojovej precíznosti a rýchlosti strojov a výpočtovej techniky. Aj optimálna realizácia nových technológií je silne závislá na pripravenosti, kvalifikácii a kompetencii osadenstva firiem.

Úspešné zavedenie komplexných technológií Industry 4.0 teda nepovedie ku konkurenčnému boju medzi ľuďmi a strojmi ale skôr nastoľuje potrebu nájdania optimálneho nastavenia spolupráce medzi ľuďmi a strojmi. Musí sa to odraziť aj v samotnom designe technických systémov a zariadení.

Súčasný názory na podobu práce v inteligentnom priemysle sa značne rozchádzajú. Konštatuje aj dokument „Organizácia práce v ére digitalizácie“, ktorý je výstupom práce expertnej skupiny „Človek v digitálnej továrni“ v rámci Plattform Industrie 4.0. Diskutujú sa tu tri scenáre: Scenár automatizácie predpokladá stratu hodnotu ľudskej práce, keďže všetky riadiace a kontrolné úlohy prevezmú digitálne systémy. Scenár nástrojov technológie podporujú dominantnú úlohu človeka. A hybridný scenár vychádza z toho, že rozdelenie úloh bude reflektovať rozdielne prednosti digitálnych systémov a človeka podľa okolností. Ktorý scenár sa presadí je zatiaľ nejasné. Niektoré dôvody hovoria v prospech „scenáru nástrojov“, podľa ktorého človek bude prijímať rozhodnutia v neplánovaných a nepredvídaných situáciách. Taktiež sa pracuje na tvorbe „human-centric CPS“, ktoré nielen navzájom zjednocujú kyber- a fyzickú doménu, ale aj ľudské vnímanie a poznanie. Tieto predpokladajú ďalšie formy kolaborácie človek-stroj. Povedie to k vývoju multimodálnych asistenčných systémov, podporujúcich ľudí v práci. Rozhodujúcu dôležitosť v tomto vývoji budú mať popri pokroku v softvéri a technike rozsiahle zmeny v systéme vzdelávania a kompetencií. Tomu venovala veľkú pozornosť expertná skupina „Kvalifikácia a kompetencie“ v rámci Plattform Industrie 4.0.

Podpora človeka zo strany IT-systémov je vo firmách akceptovanou realitou. Tu sa vývoj koncentruje na nové podoby MMI (man-machine-interface) s cieľom podporovať človeka v reálnom čase. Moderné asistenčné systémy, pomáhajúce zamestnancovi v práci by sa mali prispôbovať potrebám zamestnancov a nie naopak. To by okrem optimalizácie samotného výrobného procesu malo otvoriť množstvo nových foriem vzdelávania zamestnancov priamo pri výkone práce a odbúrať tak striktnú deliacu čiaru medzi prácou a učením (napr. „on-demand training at the workplace“). Tu je dôležité, aby sa prínos asistenčných systémov hodnotil podľa možnosti ich využitia používateľom („human centered computing“).

Inteligentné roboty sú rozhodujúce pre flexibilnú výrobu. Doterajšia paradigma striktného oddelenia pracovných miest robotov od ľudí z bezpečnostných dôvodov sa zmení nástupom vnímajúcich kolaboratívnych robotov. To umožní optimálne využiť prednosti ľudí a robotov čiastočnou automatizáciou doposiaľ čisto manuálnych činností.

Medzi perspektívne multimodálne asistenčné systémy treba určite zaradiť vizualizačné systémy na báze virtuálnej reality (VR) a rozšírenej reality (AR) s prenosom informácií v reálnom čase. Tieto technológie majú súčasne potenciál prispieť k vzniku nových služieb alebo obchodných modelov (napr. lepšou informačnou integráciou servisných činností) a tak „predĺžiť hodnotový reťazec“ výrobcov. Pre rakúske firmy to znamená nový obchodný potenciál.

Výskum a vývoj v oblasti pracovných a asistenčných systémov by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Organizácia práce:* Ide o hodnotenie vzájomného pôsobenia medzi organizáciou, technológiami a človekom v kontexte inteligentnej výroby. V rámci toho treba kategorizácia a systematizácia výrobných modelov, vytvorenie klasifikačných konceptov, rekonfigurovateľnosť výrobných systémov a pracovná a organizačná psychológia v podmienkach digitalizovanej výroby.
- *Kompetencie:* Vzniká potreba systémov manažmentu cielených kompetencií pre podporu konkurencieschopných výrobných firiem. Asistenčné systémy, využívajúce rozšírenú alebo zmiešanú realitu, umožnia flexibilnú úpravu školiacich procesov, šitých na mieru.
- *Asistenčné systémy:* Vzniká potreba nových typov automatizačných riešení pre manipuláciu, prepravu a spracovanie komponentov/polotovarov a pod. Veľký význam tu zohrajú multimodálne asistenčné systémy s intuitívnym používateľským, rovnako ako nové ergonómické riešenia pracovných miest.

- *Kolaborácia človek-robot vo výrobe:* Otázky, ktorých riešenie tu bude mať veľký pákový efekt sú: rozpoznanie okolia a jeho interpretácia robotmi, riadenie robotov s využitím senzorov, bezpečnosť v kooperácii človek-robot. Aby sa dosiahlo inherentne bezpečné a spoľahlivé autonómne fungovanie robotov bude potrebný značný pokrok v mechanike, senzoroch, aktoroch, riadiacich systémoch a softvéri.
- *Dosiahnutie povedomia a akceptancie vo firmách:* Pre veľký počet rakúskych firiem, ktoré sú ešte na začiatku digitálnej transformácie je dôležité, aby si vytvorili racionálnu predstavu o Industry 4.0 a správne mentálne nastavenie vedúce k rastúcej akceptancii digitalizácie medzi zamestnancami. Len tak padnú ich rozhodnutia na úrodnú pôdu a prinesú očakávané účinky.

## 7. Hodnotové reťazce a obchodné modely

Jednou zo základných črt Industrie 4.0 je nárast vo využívaní dynamických hodnotových reťazcov s vysokou mierou autonómie a automatizácie. Umožní to zapojenie mnohých samostatných dodávateľských alebo iných subjektov, prepojených záujmom o poskytnutie vyššej a trvalej pridanej hodnoty. Aby takéto hodnotové reťazce fungovali, musí v nich fungovať informačné prepojenie. Dopyt a ponuka sa budú na základe výmeny informácií automaticky párovať a tak sa bude hodnotový reťazec dynamicky znovu a znovu obnovovať.

Inteligentný priemysel umožní zmenu súčasných obchodných modelov. Napríklad transformácia čistých výrobcov na vyrábajúcich poskytovateľov služieb otvára množstvo nových obchodných príležitostí. V záujme obstáť v globálnej konkurencii budú kombinované rôzne dimenzie: silnejšie prepojenie dodávateľov a odberateľov, vývoj nových digitálnych služieb a zvýšenie pridanej hodnoty pre zákazníkov. Nastavenie terajších aj nových obchodných modelov bude čoraz viac ovplyvnené analýzou dát od zákazníkov. Nové obchodné modely budú zamerané na obsiahnutie nových zdrojov príjmov, ktoré sú v súčasnosti pre výrobcov nedosažiteľné. Príklady takýchto inovatívnych obchodných modelov existujú už dávno. Napr. výrobca leteckých motorov Rolls-Royce už od roku 1962 ponúka svoje motory namiesto formou jednorazovej kúpy formou poplatku za každú letovú hodinu motora. To umožnilo Rolls-Royce okrem samotného produktu ponúkať ďalšie zaujímavé služby (napr. v údržbe).

Aby boli otvorené a dynamické hodnotové reťazce výhodné, osobitne pri integrácii viacerých alebo mnohých dielcov, musia kooperujúce firmy dosiahnuť spoločné porozumenie a zladíť svoje postupy aby tak vznikol nový obchodný model. Vzniknú tak nové modely kooperácie, ktoré umožnia zosieťovanú výrobu, prekračujúcu hranice firiem a prípadne aj vznik nových služieb, tesne naviazaných na výrobu.

Výskum a vývoj v oblasti tvorby obchodných modelov a vytvárania hodnotových reťazcov by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Zapojenie zákazníka:* Tvorba nových alebo zmeny existujúcich obchodných modelov nie je možné bez zapojenia zákazníkov pri posudzovaní technických možností a s nimi spojených rizík a príležitostí (napr. nových online služieb spojených s produktom). Snaha o diferenciáciu od konkurencie len na báze technických špecifikácií musí byť doplnená o reálnu spätnú väzbu od zákazníkov. Ďalším príkladom je zvládnutie „bullwhip efektu“ v dodávateľskom reťazci.
- *Stavanie na dátach:* Veľký potenciál pre výrobcov majú obchodné modely založené na dátach. Je však nutné vyvinúť modely pre analýzu dát ako aj definovať parametre dát, ktoré firmy potrebujú pre nastavenie svojho obchodného modelu.
- *Spoločné pochopenie:* Príklady inovatívnych obchodných modelov sú veľmi cenné a preukazné. Môžu poslúžiť pri zjednotení motivácie členov hodnotových reťazcov a vývoji spoločných obchodných modelov pre kooperujúce firmy.
- *Právne aspekty:* Nové hodnotové reťazce a inovatívne obchodné modely potrebujú mať oporu v právnom rámci, riešiacom napr. otázky záruk, vlastníctvo dát a pod.
- *Tvorba a modelovanie nových hodnotových reťazcov:* Vytvorenie nového hodnotového reťazca z mnohých samostatných firiem by bolo jednoduchšie ak by existovala otvorená architektúra a náklady na jej implementáciu by boli akceptovateľné. Cieľový výskum by sa mal zamerať na zvládnutie tejto zložitej úlohy ako aj potreby neustáleho prispôsobovania zmenám v hodnotovom reťazci. Napr. zaujímavou témou je digitálne spracovanie ukazovateľa celkovej účinnosti zariadení (overall equipment effectiveness OEE) v podmienkach zosieťovaného hodnotového reťazca.



## 8. Doménové znalosti a kľúčové technológie

Už samotný základný pilier inteligentného priemyslu – kyber-fyzické systémy – naznačuje, že problematika inteligentného priemyslu zasahuje viacero domén poznania, z technického sveta minimálne mechaniku, elektroniku a informačné technológie. Hoci toto znie jednoducho, úspešná implementácia priemyslu 4.0 vyžaduje bude veľmi komplexná vzhľadom na kvalitatívne aj kvantitatívne požiadavky v týchto disciplínach. Ďalej bude úspech implementácie v každej firma silne závislý na dostupnosti procesného know-how. Toto poznanie je v prenesenom zmysle slova žriedlom hnacej sily pre zavedenie inteligentnej výroby. Obnáša skúsenosti a poznanie metód výrobných procesov a činností, za ktoré zodpovedajú jednotliví zamestnanci firmy ako aj znalosť závislostí na predradených a nasledujúcich výrobných operáciach, resp. operáciach, ktoré sú v hodnotovom reťazci pred a za procesmi danej firmy.

Čo to vlastne znamená ilustruje veľmi dobre príklad, ktorý bol spomenutý v prednáške zástupcu oceliarne VOEST-Alpine: spustili projekt na báze big-data, ktorého cieľom bolo zvýšiť kvalitu valcovania plechov. Zo skúsenosti je jasné, že čistota povrchu valcov má veľký vplyv na konzistentnú kvalitu povrchu valcovaného plechu. Ako sa však dá kvantifikovať „čistota“? Niekomu napadlo, zbierať nečistoty z valcov pomocou lepivých pásov, zhotovovať ich digitálne fotografie a z nich klasifikovať a vyhodnocovať mieru znečistenia. A tu nastupuje skúsenosť: niekto musí byť schopný stanoviť, ktoré typy nečistôt a aké množstvo nečistôt sú ešte prijateľné a kedy musí byť zaradené čistenie valcov.

Tento jednoduchý príklad jasne ilustruje, na čom záleží a kde sú deficity v doménových znalostiach. Umelej inteligencii bude treba definovať sústavu pravidiel pre rozhodovanie, bude sa musieť opierať na spoľahlivé matematické modely, založené na princípoch fyziky, mechaniky a elektrotechniky. Aký je osov zbierať stovky signálov z meracích bodov s vysokými vzorkovacími frekvenciami, keď pre nedostatok použiteľných modelov nikto nevymyslí, ako z týchto dát robiť použiteľné závery? Dá sa usudzovať, že ani výrobné stroje budúcnosti nebudú bez človeka fungovať. Vzájomné pôsobenie ľudskej a umelej inteligencie bude generovať ďalšie námety pre výskum.

Výskum a vývoj v oblasti doménových znalostí a kľúčových technológií by sa mal orientovať na tieto oblasti:

- *Technológia*: Profilované vzdelávanie orientované na silné rakúske technológie, s cieľom posilňovať silné stránky (Stärken stärken). Monitorovať technológie v perspektívnej oblasti fotoniky, aby sa využili pokroky laserovej techniky pre výrobné procesy ako aj možnosti prenosu dát optickými vláknami.
- *Miniaturizácia*: Výskum zameraný na miniaturizáciu a súvisiace otázky, napr. meranie a manipulácia s miniatúrnymi komponentmi.
- *Kvalifikácie a kompetencie*: Cílené vzdelávanie v kľúčových technológiach identifikovaných Európskou komisiou.
- *Spoločný postup*: Rešeršovať v rámci odborných združení a národných platforiem (pozn. P.P.: s cieľom identifikovať špecifické lokálne poznatky) aby sa výskum neorientoval na všeobecne známe „mainstreamové“ témy. Taktiež je nevyhnutná hlboká a trvalá koordinácia medzi základným výskumom a aplikovaným výskumom.
- *Manažment znalostí*: Systematické zhromažďovanie odborných poznatkov so všetkých hierarchických úrovní a oblastí poznania. Hľadať optimálnu kombináciu decentralizovaného zberu/validácie/spracovania nameraných dát a ich centrálného zhromažďovania a vyťažovania poznatkov technológiami big-data. Zakladanie „data-labs“ vo firmách, odborných vysokých školách (FH) univerzitách a školách vybavených špičkovými nástrojmi na analýzu, vizualizačnými nástrojmi, aby sa „doménové znalosti“ stali uchopiteľnými a dali sa zažiť na konkrétnych príkladoch.