



Ve Struhách 1076/27, 160 00 Praha 6

tel.: 234 006 100

fax: 220 922 251

e-mail: [tc@tc.cz](mailto:tc@tc.cz)

[www.tc.cz](http://www.tc.cz)

# Technologické trendy a výzkumný potenciál ČR

prosinec 2020

# **Technologické trendy a výzkumný potenciál ČR**

*prosinec 2020*

Zpracování této studie bylo podpořeno Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy v projektu Strategické informace pro mezinárodní výzkum (LT120006).

Autoři:

Ing. Michal Pazour, Ph.D.

Mgr. Ondřej Pokorný

Ing. Zdeněk Kučera, CSc.

RNDr. Tomáš Vondrák, CSc.

© Zdroj obrázku na úvodní straně: iStock

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Technologie a technologické trendy</b> .....	<b>5</b>
2.1	Key enabling technologies.....	5
2.2	Vymezení technologických trendů .....	6
2.3	Vzájemná vazba technologických a společenských trendů .....	6
<b>3</b>	<b>Metodický přístup k analýze a datové zdroje</b> .....	<b>8</b>
3.1	Přístup k analýze technologických trendů.....	8
3.2	Přístup k analýze výzkumného potenciálu ČR .....	9
<b>4</b>	<b>Pozice ČR v KETs v mezinárodním srovnání</b> .....	<b>12</b>
4.1	Publikační aktivita v KETs .....	12
4.2	Patentová aktivita.....	14
4.3	Veřejná podpora VaV a spolupráce VO s podniky v KETs.....	16
4.4	Zapojení do mezinárodní spolupráce ve VaV .....	18
<b>5</b>	<b>Technologické trendy a výzkumný potenciál ČR</b> .....	<b>20</b>
5.1	Pokročilé materiály a nanotechnologie.....	20
5.2	Pokročilé výrobní technologie .....	24
5.3	Biotechnologie.....	29
5.4	Umělá inteligence.....	33
5.5	Fotonika a Mikro- a nanoelektronika .....	38
5.6	Zabezpečení a konektivita .....	43
<b>6</b>	<b>Shrnutí</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Použité informační zdroje</b> .....	<b>51</b>

# 1 Úvod

Tato souhrnná výzkumná zpráva shrnuje výsledky studie technologických trendů a potenciálu ČR pro realizaci výzkumných a inovačních aktivit v jednotlivých oblastech technologických trendů. Cílem je ukázat, ve kterých oblastech nastupujících technologických trendů může český výzkum přispět k rozvoji nových znalostí a jejich uplatnění v inovacích. Tato studie tak může sloužit veřejné správě odpovědné za strategické řízení výzkumu, vývoje a inovací při nasměrování intervencí na podporu výzkumných a inovačních aktivit, rozvoje mezinárodní spolupráce a navazování strategických partnerství mezi výzkumnou a aplikační sférou.

Předkládaná souhrnná výzkumná zpráva staví na předchozích analýzách a výzkumných výstupech realizovaných Technologickým centrem AV ČR. Prvním východiskem je studie „Trendy v klíčových umožňujících technologiích“ [1] zpracovaná v projektu „Horizon Scanning pro odpovědný výzkum, vývoj a inovace“ (TL02000487). V této studii byly s využitím text miningu analyzovány rozsáhlé soubory strukturovaných a nestruturovaných dat z velkého množství veřejně dostupných informačních zdrojů a identifikovány technologické trendy a nově vznikající technologie v oblastech tzv. klíčových umožňujících technologií (KETs). Výsledkem byla identifikace 163 technologií seskupených do 39 vývojových trendů.

Druhým východiskem je studie „Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+“ [2] zpracovaná pro Ministerstvo průmyslu a obchodu, jejímž cílem bylo vyhodnotit současnou strukturu výzkumu a vývoje (VaV) v ČR, posoudit pozici ČR v oblastech KETs a identifikovat technologické směry, kde je realizován v mezinárodním srovnání kvalitní VaV a kde zároveň existuje potenciál pro využívání nových poznatků VaV v inovačních aktivitách podniků působících v jednotlivých odvětvích české ekonomiky.

Průnikem identifikovaných technologických trendů a nově vznikajících technologií a výzkumného potenciálu ČR je tato studie, která poukazuje na technologické směry, kterým je účelné věnovat pozornost při realizaci strategických rozhodnutí ve veřejné politice VaV a s ohledem na budoucí technologický vývoj, výzkumný potenciál ČR a potenciál pro aplikaci nových technologií v inovacích.

Výše uvedeným cílům je přizpůsobena struktura studie. Ve druhé kapitole jsou nejprve uvedena základní koncepční východiska pro analýzu technologických trendů a ve třetí kapitole je popsán metodický přístup k analýze technologických trendů a k analýze výzkumného potenciálu ČR v KETs. Čtvrtá kapitola představuje souhrnné postavení ČR ve výzkumu v jednotlivých oblastech KETs v mezinárodním srovnání. Tato mezinárodní komparace je důležitá pro zasazení dále detailněji studovaných kapacit VaV v ČR v jednotlivých KETs do mezinárodního kontextu. Stěžejní výstupy analýzy výzkumného potenciálu ČR v KETs a technologických trendů jsou uvedeny v páté kapitole. Šestá kapitola shrnuje výsledky provedené analýzy.

## 2 Technologie a technologické trendy

### 2.1 Key enabling technologies

Key Enabling Technologies (KET), neboli klíčové umožňující technologie, jsou průřezové technologie založené na pokročilých znalostech, přinášející vysokou přidanou hodnotu do nových výrobků a služeb v různých oblastech. Podle pojetí Evropské komise, která s konceptem KETs přišla, se jedná o technologie „náročné na znalosti a spojené s intenzivním VaV, rychlými inovačními cykly, vysokými kapitálovými náklady a vysoce kvalifikovanými pracovními místy. Umožňují inovace výrobních postupů, zboží a služeb v rámci celého hospodářství a mají systémový význam. Jsou multidisciplinární povahy a zasahují do mnohých oblastí technologií s tendencí ke konvergenci a integraci. Klíčové technologie mohou těm, kdo jsou v čele dalších odvětví technologií, pomoci těžit z jejich úsilí v oblasti výzkumu“<sup>1</sup>.

KETs jsou zařazeny i ve Strategii Evropa 2020 v její vlajkové iniciativě Integrovaná průmyslová politika pro éru globalizace, kde je mj. navrženo vytvoření pilotních iniciativ podporujících rozvoj KETs, včetně využívání výsledků VaV. EK zařadila KETs také do priority Vedoucí postavení průmyslu rámcového programu Horizont 2020, kde je v oblasti nazvané Vedoucí postavení v umožňujících a průmyslových technologiích (Leadership in enabling and industrial technologies) podporován výzkum, vývoj a inovace (VaVal) a rozvoj průmyslových kapacit

Definice jednotlivých KET byla provedena na základě analýzy globálních výzkumných a tržních trendů a EK původně označila jako KET pětici technologií: nanotechnologie, mikro- a nanoelektroniku, fotoniku, pokročilé materiály a biotechnologie, které byly později doplněny o šestou oblast – pokročilé výrobní systémy. Realizace podpory KET se promítla do prvního pracovního programu nového rámcového programu Horizont 2020 na roky 2014–2015, kdy se KET staly osou jeho průmyslového pilíře Leadership in enabling and industrial technologies a byla na ně vyčleněna finanční podpora ve výši asi 6.6 mil. €, tedy zhruba 8,5 % celkového rozpočtu rámcového programu H2020. KET se staly základem záměrů a opatření ve významných oblastech politiky EU a výrazně přispěly i do formování nových trendů v pokročilých výrobních procesech, nazývaných Průmysl 4.0.

S přípravou budoucího rámcového programu Horizon Europe, se EK vrací k problematice KET ve zprávě High-Level Strategy Group on Industrial Technologies, nazvané Re-Finding Industry<sup>2</sup>. Zpráva přinesla kritický pohled na dosavadní implementaci KETs do evropské hospodářské politiky a navrhla jejich aktualizaci, která odráží hlavní výzvy, před nimiž stojí evropský průmysl. Jedná se především o rostoucí roli průmyslové výroby založené na pokročilých znalostech, digitalizaci úzce související s touto proměnou charakteru průmyslové výroby a konkurencí rozvíjejících se tržních ekonomik v čele s Čínou.

V návaznosti na tyto výzvy je nově mezi KETs zařazeno následujících šest technologických oblastí:

- Mikro- a nanoelektronika a fotonika
- Pokročilé materiály a nanotechnologie
- Pokročilé výrobní technologie
- Life-science technologie (biotechnologie)
- Umělá inteligence
- Zabezpečení a konektivita

V této studii stavíme na vymezení KETs v souladu se strategickou orientací Evropské komise a tuto klasifikaci využíváme pro analýzu trendů i výzkumného potenciálu ČR. Orientace na KETs pro účely této studie byla zvolena jednak s ohledem na průřezový charakter těchto technologií a jejich uplatnitelnosti

---

<sup>1</sup> <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/societal-challenges>

<sup>2</sup> [https://ec.europa.eu/research/industrial\\_technologies/pdf/re\\_finding\\_industry\\_022018.pdf](https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/re_finding_industry_022018.pdf)

v celém spektru odvětví a ekonomických činností, a dále z důvodu jasného a mezinárodně srovnatelné vymezení jednotlivých technologických oblastí.

## 2.2 Vymezení technologických trendů

Vymezení pojmů technologie a technologický trend naráží na neustálenost v jejich chápání. Pro identifikaci technologických trendů a nově se objevujících se technologií v rámci KETs byla technologie chápána nikoliv jako artefakt, ale jako souboru znalostí a postupů, které vytváří určitý nástroj, proces či organizační praxi. Z hlediska potřeb identifikace tedy technologie představuje aplikaci dovedností či know-how pro řešení určité situace či problémů. Přirozeně nejvýznamnější jsou však pokročilé technologie v podobě rozvinutých přístrojů a dalších technologických celků.

Technologické trendy ze své podstaty stimulují nové způsoby produkce zboží a služeb a ve svém důsledku i chování obyvatel a vyvolávají změnu v celkové organizaci společnosti. Řada současných globálních technologických trendů paradoxně neposiluje kontinuální trend globalizace, ale spíše směřuje k procesu individualizace, zdůrazňující autonomii a soběstačnost uživatele technologie v lokálním i regionálním kontextu. Nové technologie tedy snižují závislost na centralizovaných zdrojích, podpůrných sítích a infrastrukturách a veřejných intervencích.

Za současných podmínek se jeví pro budoucí aplikaci jako nejslibnější ty technologie, které autonomizují uživatele, přináší mu vyšší míru nezávislosti a snižují náklady na jejich provoz a degradaci prostředí v důsledku jejich využívání. Pravděpodobně nejvýznamnější jsou technologie z oblasti informačních a komunikačních technologií, které přímo ovlivňují inovační byznys modely a otvírají prostor i pro jiné společenské využití s přímým dopadem na organizaci společnosti. Technologie internetu, výpočetní kapacity, digitálních komunikací, síťových organizačních struktur apod. již do praxe pronikly a radikálně mění chování celé společnosti.

## 2.3 Vzájemná vazba technologických a společenských trendů

Vedle dynamiky, s níž jsou nové technologické trendy a nové technologie přijímány, je důležité chápat jejich komplexitu a vzájemnou provázanost se společenským vývojem. Současná společnost směřuje k vysoké míře individualizace svých požadavků na využívání nových technologií. Charakter technologických změn naznačuje, že budoucí vývoj nebude založen na převažujícím dlouhodobém modernizačním trendu, ale spíše na souboru menších a variabilních změn, které budou průběžně a dlouhodobě měnit organizaci společnosti a způsoby využití dostupných zdrojů. Schopnost reagovat na kvalitativní technologické transformace vyžaduje posun v celém společenském a inovačním systému. Zároveň nestačí tyto trendy jen pochopit, ale je nutné jejich předpokládaný vývoj integrovat do aktivit strategického plánování, a to v různých časových horizontech a na geografických i sektorových úrovních.

Technologické trendy jsou velmi úzce provázané se společenskými a ekonomickými změnami. V mnoha případech zůstává obtížné odlišit, která ze sfér představuje původce změny a která se na nové podmínky adaptuje, resp. zda nové technologie reagují na proměny společnosti, nebo je primárně vyvolávají. Převažující povaha nových technologií navíc obvykle nevyvolává extenzivní přímé dopady na konkrétní socioekonomické aktivity, ale často působí zprostředkovaně právě prostřednictvím vlivu na vzorce chování jejich uživatelů. Zásadní je proto hledat průsečík obou domén - technologické i socioekonomické - a uvažovat jejich možném společném působení.

Při uvažování dopadů technologií na výzkumný a inovační systém i na společnost je nutné uvést hlavní charakteristiky jejich působení - přímého dopadu i zprostředkovaného efektu vyvolaného souvisejícími společenskými změnami. Hlavní charakteristiky současných i budoucích technologických trendů je možné popsat následovně.

- Rozptýlené (distribuované) vytváření nových technologií - Charakteristické je využívání dostupných ICT technologií, otevřených systémů (open source) a postupné navyšování přidané hodnoty výsledné technologie, nových produktů a služeb. Častým průvodním projevem je vznik samostatné komunity zákazníků, kteří radí a informují dalším potenciálním uživatelům. Systém „outsourcing to customer“ se stává jedním z dominantních trendů současné doby a bude posilovat i v budoucnu.
- Síťová organizace - Současné systémy vytváření nových technologií jsou organizovány na základě sítí, ne na základě hierarchické produkční formy. Flexibilita produkčních sítí je patrná v řízení organizace, kde umožňuje větší prostupnost tradičních hranic izolujících podnik od prostředí. Technologie se tak může v prostoru snadněji šířit.
- Kvalifikovaní pracovníci a organizační kapitál - Znalostní pracovníci jsou klíčovou hodnotou podniků, jejich fyzická účast ale může být nahrazena moderními komunikačními technologiemi. Otevřená spolupráce na realizaci nových technologiích zvyšuje jejich inovativnost. Schopnosti, kapacity a možnosti spolupráce na vytváření nových technologií představují organizační kapitál, který se stále rozvíjí.
- Udržitelnost technologií (self-sustainability) - Dlouhodobá udržitelnost se rychle stává další z metrik technologické kvality. Míra přímého dopadu technologie na okolní prostředí je postupně v co největší míře integrována do hodnocení její přínosnosti. I když je technologie zdrojem škodlivých emisí a konzumentem energie (zvláště elektrické), může zároveň jiné škodlivé dopady snižovat využíváním ICT, chytrých energetických sítí, nebo při efektivní logistice. Inteligentní technologie jsou dnes velmi propojené a často využívají recyklaci starších produktů.
- Technologie jako služba - Tvůrci inovačních technologií mohou jejich přijímání monitorovat s vysokou přesností a dále je upravovat. Mohou tak vytvářet službu navázanou na všechny dřívější produkty daného výrobce. Spolupráce na bázi sítí B2B upřednostňuje vysoce flexibilní nabídku doprovodných služeb, což umožňuje technologii nakoupit jako službu a vyhnout se jednorázovým kapitálovým investicím.
- Veřejné služby - Bude třeba vytvořit řadu nových a dostupných veřejných služeb, které nelze produkovat bez pomoci nových technologií a účasti veřejné správy. Obzvláště zvládnutí a koordinace dopravního přetížení, spotřeby energií a recyklace zdrojů bude využívat chytré objekty pro automatické řízení. Na významu budou také posilovat služby bezpečnosti a veřejné ochrany, například u složek integrovaného záchranného systému.

Nových technologických trendů je samozřejmě celá řada, přičemž jejich dopady nejsou zdaleka jednoznačné, ani z pohledu primární úrovně. Výše byly popsány pouze jejich obecné charakteristiky, na kterých byla snaha demonstrovat vysokou míru individualismu, komplexity a variability dopadů současných i budoucích technologií.

## 3 Metodický přístup k analýze a datové zdroje

### 3.1 Přístup k analýze technologických trendů

Objem veřejně dostupných informačních zdrojů, které se tematicky věnují popisu technologických trendů a nově se objevujících technologií, v posledních letech kontinuálně roste. Pro správnou identifikaci technologických trendů a nově se objevujících technologií je proto nezbytné sledovat, zpracovávat a vyhodnocovat velké množství textových dat z různých informačních zdrojů. Z tohoto důvodu je nutné využívat nové nástroje pro zpracování velkého množství textu a jeho analýzu tak, aby z něj bylo možné extrahovat znalosti o hlavních směrech technologického vývoje.

Pro vyhledávání vhodných dokumentů jsou využité informační zdroje rozděleny do následujících kategorií.

#### Výzkumné informační zdroje

Nature<sup>3</sup> - prestižní vědecký časopis se všeobecným zaměřením vydávaný od roku 1869 ve Velké Británii (dnes nakladatelstvím Nature Publishing Group). Uveřejňovány jsou nejdůležitější vědecké práce z astronomie, biologie, geověd, jaderné fyziky a dalších vědeckých oborů. Pro předplatitele jsou vydané články dostupné online.

Science<sup>4</sup> - akademický časopis Americké asociace pro vědecký pokrok je považován za jeden ze světově nejprestižnějších vědeckých časopisů. Publikovány jsou výsledky vědeckých výzkumů, ale i jiné zprávy a názory související s vědou. Science pokrývá celé spektrum vědeckých disciplín. Pro předplatitele jsou vydané články dostupné online.

#### Socioekonomické informační zdroje

Economist<sup>5</sup> - britský týdeník zaměřující se na nejnovější socioekonomické, politické, obchodní události. Pravidelně se v něm objevují i rubriky zaměřené na vědu a techniku. Pro předplatitele jsou vydané články dostupné online.

#### Sociální sítě

Reddit<sup>6</sup> – otevřená internetová sociální síť, založenou na principu předkládání obsahu uživateli a jeho následného hodnocení pomocí hlasování. Reddit má celosvětovou komunitu čítající každý měsíc více než 540 milionů jedinečných uživatelů z více než dvou set zemí. Každý zaregistrovaný uživatel Redditu (redditor) má možnost vkládat na stránku obsah ve formě textu nebo odkazu. Obsah se vkládá do tematických kategorií zvaných subreddity, kde uživatelé mají možnost o obsahu hlasovat nebo k němu psát vlastní komentáře. Každý uživatel má vždy možnost dát každému příspěvku jeden hlas, a to buď pozitivní (upvote), nebo negativní (downvote). Příspěvky s větším hodnocením mají pak vyšší prioritu při zobrazení dalším uživatelům.

Twitter<sup>7</sup> - je poskytovatel sociální sítě a mikrobloggeru, který umožňuje uživatelům posílat a číst příspěvky zaslané jinými uživateli, známé jako tweety. Pro stahování a analýzu tweetů byly vybrány relevantní účty respektovaných organizací.

#### Novinové informační zdroje

Webhose<sup>8</sup> – pokročilá DaaS (Data as a Service) platforma s přístupem ke strukturovaným datům z jiných zpravodajských serverů, blogů a on-line diskuzních platform. Pracuje s technologií pro sběr

---

<sup>3</sup> <https://www.nature.com/>

<sup>4</sup> <https://www.sciencemag.org/>

<sup>5</sup> <https://www.economist.com/>

<sup>6</sup> <https://www.reddit.com/>

<sup>7</sup> <https://twitter.com/>

<sup>8</sup> <https://webhose.io/>



informací pomocí crawlování a scrapování webových stránek. Získaná data pak služba nabízí prostřednictvím definovaných endpointů, kterých se uživatelé mohou dotazovat. Data je možné pomocí základních filtrů rozdělit na business informace, publicistiku, audiovizuální média, recenze a darknet.

### Metodika analýzy textových dat

Pro účely spravování velkého množství textových informací jsou využívány nástroje souhrnně nazývané text-mining. Text mining (TM) lze popsat jako proces objevování (získávání) znalostí, které jsou obsaženy v analyzovaných textech, a které jsou pro uživatele zajímavé. Jiná definice popisuje TM jako netriviální extrakci implicitních, předem neznámých informací z textových dat. Předem neznámými informacemi jsou myšleny informace, které znal autor dokumentu a které nejsou implicitně viditelné. Identifikace úplně nových informací je složitý úkol, který se realizuje v souborech textů, které umožňují analýzu vzájemných vazeb a souvislostí mezi jednotlivými texty.

Samotný proces TM je zpravidla dvoufázový. První fáze procesu předzpracovává textové dokumenty, extrahuje čistý text, který je normalizován. Zachovává se struktura textu, která pomáhá kvalitnějšímu určení významu extrahovaných termů (objektů, s nimiž se provádí další analýza). Dále jsou z tohoto čistého textu vyjmuta obvyklá slova, která nemají žádný podstatný význam (spojky, častá slova, aj.).

Druhá fáze TM představuje identifikaci znalostí, které jsou extrahovány z předzpracované formy textu. V této části procesu dochází podle účelu procesu k analýze vygenerovaných termínů a k rozhodovacímu procesu vedoucímu k poskytnutí požadovaných výsledků. Základní kroky druhé fáze TM jsou popsány v následujícím textu.

Kategorizace textů je úkol, při němž jsou dokumenty automaticky zařazovány do předem dané množiny předdefinovaných tříd. Ty mohou být děleny podle obsahu (tématu, klíčových slov, názvů, aj.), žánru, autora, atd. Kategorizace slouží především k organizaci textů, vytvoření indexované knihovny dokumentů, eliminace spam a vyřazování nevhodných dokumentů.

Shlukování textů je automatický proces, který rozdělí soubor dokumentů do skupin, které jsou si obsahově podobné. Skupiny jsou v textech nalezeny pomocí hledání skupin objektů, které jsou si více podobné mezi sebou než s členy ostatních skupin. Proto je cílem shlukovací analýzy rozlišit množinu skupin (clusterů), ve kterých je podobnost s jinými clustery minimální a vnitřní podobnost dokumentů maximální.

Úkolem extrakce znalostí z textu je převést nestrukturovaný text do strukturovaného formátu podle jeho obsahu s cílem přípravy obsažených informací dalším metodám v procesu zpracování textu. Nejčastěji se jedná o zpracování nestrukturovaného textu s celými větami, pro jehož vytěžení se užívá metoda zpracování přirozeného jazyka (NLP - Natural language processing). Vzory pro zpracování přirozeného jazyka jsou získávány na základě jejich syntaktické a sémantické analýzy.

Důležité je i rozpoznávání pojmenovaných entit, což představuje automatickou identifikaci a klasifikaci výrazů, které popisují osoby, zeměpisné lokality, produkty, organizace, společnosti atd. Úloha tedy většinou zahrnuje jak lokalizaci entit v textu (named entity identification), tak jejich klasifikaci (named entity classification).

## 3.2 Přístup k analýze výzkumného potenciálu ČR

Pro posouzení pozice ČR v KETs byly využity informace uvedené ve studiích ([3] až [2]) zpracovaných pro přípravu Národní výzkumné a inovační strategie pro inteligentní specializaci (Národní RIS3 strategie, NRIS3) [5] v rámci projektu Komplexní analýza východisek a návrh implementace revidovaných opatření Národní RIS3 strategie 2021+, jehož příjemcem bylo Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR [6]. Z výše uvedených studií byly využity zejména některé závěry z analýz publikační a patentové aktivity, zapojení podniků a výzkumných organizací (VO) do projektů VaV podpořených

v programech účelové podpory VaV a účasti ČR v mezinárodních VaV projektech realizovaných v programu Horizont 2020 [7]. V těchto analýzách byly využity zejména následující datové zdroje:

- Databáze publikací Clarivate Analytics Web of Science (WoS) [8];
- Databáze patentových přihlášek Evropského patentového úřadu PATSTAT (EPO Worldwide Patent Statistical Database) [9];
- Centrální evidence projektů Informačního systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (CEP IS VaVal) [10];
- Informační databáze Evropské komise eCORDA (COmmon Research DATawarehouse) [11] o projektech podpořených v rámcových programech EU (eCORDA).

Vymezení KETs vycházelo z údajů uvedených ve studiích [12] až [14] zpracovaných v letech 2012 – 2013 pro Evropskou komisi (EK). Pro vymezení nově zařazených/rozšířených KETs (umělá inteligence, digitální bezpečnost a propojenost, biotechnologie) byly využity studie [15], [16] a [17].

Pro identifikaci projektů a publikací v databázích CEP IS VaVal, eCORDA a WoS byl využit soubor klíčových slov (v anglickém jazyce), které byly vyhledávány v názvech a abstraktech projektů a publikací. V případě patentové analýzy bylo pro přiřazení patentových přihlášek ke KETs kromě klíčových slov využito také jejich oborové zaměření v Mezinárodním patentovém třídění (International Patent Classification, IPC) [18], které je u patentových přihlášek uváděno v databázi PATSTAT.

Při analýze publikační aktivity byl vyhodnocen podíl publikací v jednotlivých KETs v celkovém počtu publikací ČR a jejich změna mezi dvěma lety 2015 a 2018. Dále byla vyhodnocena oborově normalizovaná citovanost těchto publikací, které do jisté míry charakterizuje jejich kvalitu i kvalitu realizovaného výzkumu. Posouzena byla také spolupráce v tvorbě publikací se zahraničními výzkumnými pracovišti a aplikačním sektorem (podniky). Údaje byly porovnány s údaji pro vybrané evropské země (viz dále).

V případě analýzy patentové aktivity byly odděleně sledovány patentové přihlášky s přihlašovatelem z ČR (subjektem, který „vlastní“ patent) a původcem z ČR (pracovníkem, který se na vývoji nového řešení podílel). Podobně jako v případě publikační aktivity byl vyhodnocen podíl patentových přihlášek v jednotlivých KETs v celkovém počtu patentových přihlášek a jejich vývoj mezi dvěma obdobími 2010 – 2012 a 2015 – 2017. Zjištěné údaje byly porovnány s údaji ve stejném vzorku evropských zemí jako v analýze publikační aktivity.

V analýze projektů zaměřených na VaV KETs podpořených v programech účelové podpory VaV a v programu Horizont 2020 (H2020) byly sledovány počty projektů v jednotlivých KETs, celkové náklady těchto projektů a podpora přidělená ze státního rozpočtu, případně podpora poskytnutá Evropskou komisí (v případě programu H2020). Dále bylo vyhodnoceno zapojení podniků do těchto projektů. V případě projektů podpořených v programech účelové podpory byl také posouzen vývoj veřejné podpory přidělené na řešení projektů zaměřených na jednotlivé KETs mezi dvěma dvouletými obdobími 2015 - 2016 a 2017 – 2018.

Pro mezinárodní porovnání publikační a patentové aktivity v KETs byl vytvořen reprezentativní vzorek evropských zemí, které zahrnoval všechny původní členské státy EU (EU-15, včetně Spojeného království). Ze zemí mimo EU bylo do vzorku zemí pro mezinárodní srovnání zařazeno Švýcarsko a Norsko. Blíže jsou datové zdroje a použitá metodika popsány ve studiích [4] a [2].

Při interpretaci údajů uvedených v následujících kapitolách si je nutné uvědomit, že zjištěné absolutní hodnoty nejsou zcela porovnatelné, neboť do značné míry reflektují „velikost“ dané technologické oblasti (pokročilé materiály a nanotechnologie jsou daleko „širším“ oborem než digitální bezpečnost a propojenost). Vhodnější je proto porovnávat relativní údaje, jako změna mezi dvěma obdobími nebo zastoupení publikací/patentových přihlášek v jejich celkových počtech v ČR a ve vzorku zahraničních zemí. Při posuzování dat je také nutné mít na zřeteli, že hranice mezi některými KETs nejsou zcela ostré

a některé záznamy mohou být zařazeny ve více KETs (například záznamy z fotoniky a mikro-/nanoelektroniky mohou být i v pokročilých materiálech a nanotechnologiích).

## 4 Pozice ČR v KETs v mezinárodním srovnání

### 4.1 Publikační aktivita v KETs

Zastoupení publikací v jednotlivých KETs v celkovém publikačním výstupu ČR, které do značné míry charakterizuje, jak se VaV ve výzkumných organizacích<sup>9</sup> zaměřuje na danou technologickou oblast, se výrazně liší (viz první sloupec tab. 1). Nejvyšší podíl publikací vytvořených v letech 2015 až 2018 byl zaměřen na oblast pokročilých materiálů a nanotechnologií (na pokročilé materiály a nanotechnologie bylo zaměřeno více než 10 % publikací vytvořených v tomto období). Poměrně vysoké zastoupení mají také publikace zaměřené na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku (téměř 5 % z celkového počtu publikací ČR). Naopak nejnižší podíl mají publikace zaměřené na pokročilé výrobní technologie a digitální bezpečnost a propojenost<sup>10</sup>.

Tab. 1 Publikační aktivita v KETs v letech 2015 až 2018. V prvním sloupci je uvedeno zastoupení publikací, které se podařilo přiřadit ke KETs, v celkovém počtu publikací ČR vytvořených v období 2015 – 2018, ve druhém sloupci o kolik procent se zastoupení publikací v ČR liší od hodnoty ve vzorku vybraných evropských zemí (viz metodická část studie). Ve druhé části tabulky je uvedena procentuální změna počtu publikací v jednotlivých KETs mezi rokem 2015 a 2018 a změna jejich zastoupení v celkovém počtu publikací v procentních bodech. Zdroj: Clarivate Analytics Web of Science

KET	Zastoupení v celkovém počtu publikací		Změna v ČR období 2015 - 2018	
	ČR	Ve srovnání se zahraničím	Počet publikací (%)	Zastoupení v celkovém počtu (% body)
Fotonika a mikro-/nanoelektronika	4,7%	-46%	16%	0,2%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	10,4%	75%	10%	-0,2%
Pokročilé výrobní technologie	0,5%	-53%	113%	0,4%
Biotechnologie	2,7%	-79%	-4%	-0,4%
Umělá inteligence	1,5%	-32%	45%	0,4%
Digitální bezpečnost a propojenost	0,9%	-69%	91%	0,4%

Ve srovnání se zahraničím se VaV v ČR daleko více zaměřuje na oblast pokročilých materiálů a nanotechnologií, neboť jejich zastoupení v celkovém počtu publikací je ve srovnání se vzorkem zahraničních zemí přibližně o 75 % vyšší (viz tab. 1). V ostatních KETs je zastoupení publikací nižší než v zahraničí, největší rozdíly jsou v biotechnologiích a digitální bezpečnosti a propojenosti (a domácí VaV se na tyto technologické oblasti soustředí méně než v zahraničí).

Jak je patrné z pravé části tab. 1, publikační aktivita v ČR ve většině KETs roste (s výjimkou biotechnologií). Nejvyšší nárůst je patrný v pokročilých výrobních technologiích, jejichž počet se v období 2015 až 2018 více než zdvojnásobil. Téměř na dvojnásobnou hodnotu narostl také počet publikací v digitálních technologiích a propojenosti.

<sup>9</sup> Autoři naprosté většiny vědeckých publikací jsou výzkumní pracovníci z výzkumných organizací

<sup>10</sup> Při tomto srovnání si je však nutné uvědomit, že počet publikací je ovlivněn „velikostí“ technologické oblasti (pokročilé materiály a nanotechnologie jsou daleko širším oborem než digitální bezpečnost a propojenost)

Z posledního sloupce tab. 1 je patrné, že zastoupení KETs v národním publikačním výstupu doznalo v období 2015 až 2018 jistých změn. Mírně se snižuje zastoupení publikací v biotechnologiích, mírně klesá i podíl publikací zaměřených na problematiku pokročilých materiálů a nanotechnologií. Zastoupení ostatních KETs se v celkovém počtu publikací ČR zvyšuje. Pozitivní je, že narůstá podíl publikací zaměřených na digitální bezpečnost a propojenost a umělou inteligenci, což svědčí o tom, že domácí VaV se stále více soustředí na progresivní technologie, které budou hrát významnou roli v blízké budoucnosti (viz tab. 1).

Oborově normalizovaná citovanost publikací, která do značné míry charakterizuje i kvalitu realizovaného výzkumu, je nad světovým průměrem nebo se světovému průměru blíží (viz tab. 2). Nejcitovanější publikace (a tedy v mezinárodním srovnání nejvyšší kvalita výzkumu) jsou v digitální bezpečnosti a propojenosti, které mají citovanost o 43 % vyšší, než je světový průměr a v pokročilých výrobních technologiích, jejichž citovanost je o 11 % vyšší než světový průměr. Mírně nad světovým průměrem je citovanost publikací v biotechnologiích a umělé inteligenci. Publikace v ostatních KETs jsou citované méně, než je tomu ve světovém průměru. Relativně nejnižší citovanost mají publikace zaměřené na pokročilé materiály a nanotechnologie, tedy z oboru, na který se výrazně soustředí domácí VaV (viz tab. 2).

Tab. 2 Publikační aktivita v KETs v letech 2015 až 2018 – porovnání kvality publikací v KETs a spolupráce se zahraničními výzkumnými pracovišti a průmyslem (podniky). Ve dvojicích sloupců je vždy uvedena hodnota pro jednotlivé KETs v ČR a procento, o kolik se tato hodnota liší od hodnoty ve vzorku vybraných evropských zemí (bývalá EU-15, Norsko a Švýcarsko). Zdroj: Clarivate Analytics Web of Science

KET	Oborově normalizovaná citovanost		Podíl publikací v mezinárodní spolupráci		Podíl publikací ve spolupráci s průmyslem	
	ČR	Ve srovnání se zahraničím	ČR	Ve srovnání se zahraničím	ČR	Ve srovnání se zahraničím
Fotonika a mikro-/nanoelektronika	0,99	-20%	67,0%	-5%	2,3%	-60%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	0,91	-33%	58,5%	-19%	2,0%	-65%
Pokročilé výrobní technologie	1,11	-39%	57,2%	-9%	3,5%	-52%
Biotechnologie	1,05	-25%	51,7%	-23%	2,4%	-69%
Umělá inteligence	1,03	-38%	51,8%	-25%	2,4%	-53%
Digitální bezpečnost a propojenost	1,43	-18%	59,5%	1%	4,2%	-27%

I když je citovanost publikací ve čtyřech KETs světově nadprůměrná, ve srovnání s citovaností publikací ve vzorku výzkumně vyspělých evropských zahraničních zemí je poněkud nižší (viz tab. 2). Nejvíce se těmto zemím blíží citovanost publikací v digitální bezpečnosti a propojenosti.

Většina publikací v KETs byla vytvořena ve spolupráci domácích a zahraničních výzkumníků (viz prostřední dva sloupce v tab. 2). Největší podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci je ve fotonice a v mikro-/nanoelektronice (v mezinárodní spolupráci byly vytvořeny přibližně dvě třetiny publikací). Ve srovnání se vzorkem zahraničních zemí je však podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci nižší. V tomto srovnání je nejnižší mezinárodní spolupráce ve VaV zaměřeném na umělou inteligenci a biotechnologie. Pouze v digitální bezpečnosti a propojenosti je podíl mezinárodních publikací srovnatelný s podílem těchto publikací ve vzorku zahraničních zemí, což koreluje i s vysokou kvalitou VaV v tomto oboru (atraktivnost pro mezinárodní spolupráci, viz tab. 2).

Přibližně 2 % až 4 % publikací v KETs má spoluautora z podnikového sektoru. Největší podíl publikací ve spolupráci s průmyslem je v digitální bezpečnosti a propojenosti a pokročilých výrobních technologiích (viz tab. 2), což souvisí zřejmě s tím, že VaV v těchto oblastech je aplikačně zaměřen.

Zastoupení publikací vzniklých ve spolupráci s partnery z průmyslu je však v mezinárodním srovnání nízké (viz tab. 2). Ve všech KETs je podíl publikací s průmyslem méně než poloviční, pouze v digitální bezpečnosti a propojenosti je jeho hodnota přibližně na úrovni 75 % hodnoty v zahraničních zemích.

## 4.2 Patentová aktivita

Podíl patentových přihlášek v jednotlivých KETs s alespoň jedním přihlašovatelem z ČR podaných v letech 2015 – 2017 v celkovém počtu patentových přihlášek s přihlašovatelem z ČR je uveden v prvním sloupci tab. 3. Ve dvou KETs podíl patentových přihlášek přesáhl 5 % - ve fotonice a mikro-/nanoelektronice a pokročilých materiálech. V další dvou KETs, v pokročilých výrobních technologiích a biotechnologiích, se jejich podíl 5% hranici přiblížil. Necelá 3 % patentových přihlášek spadají do digitální bezpečnosti a propojenosti a přibližně 1 % patentových přihlášek s přihlašovatelem z ČR chránilo nová řešení v oblasti umělé inteligence.

Tab. 3 Porovnání patentové aktivity v ČR a ve vzorku vybraných zahraničních zemí (bývalá EU-15, Norsko a Švýcarsko) v KETs v letech 2015 až 2017. V první části tabulky je porovnán podíl přihlášek v jednotlivých KETs v celkovém počtu patentových přihlášek s přihlašovatelem z ČR, resp. vzorku zahraničních zemí, a změna podílů mezi obdobími 2010 – 2012 a 2015 – 2017. Ve druhé a třetí části tabulky je porovnán podíl VO a podniků<sup>11</sup> v přihlašovatelích patentových přihlášek v jednotlivých KETs v ČR a ve vzorku zahraničních zemí. Zdroj: EPO Worldwide Patent Statistical Database – podzim 2019 (PATSTAT 2019b).

KET	Podíl KETs v celkovém počtu patentových přihlášek				Podíl podniků na patentových přihláškách		Podíl VO na patentových přihláškách	
	ČR	Podíl ČR / zahraničí	Změna v ČR	Změna v zahraničí	ČR	Zahraníčí	ČR	Zahraníčí
Fotonika, mikro-/nanoelektronika	5,4%	2,4%	16,8%	2,4%	57,7%	83,4%	23,6%	10,7%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	5,3%	10,9%	7,9%	0,9%	36,7%	86,1%	53,4%	7,9%
Pokročilá výroba	4,9%	12,7%	2,4%	5,0%	51,7%	80,9%	39,0%	11,8%
Biotechnologie	4,9%	18,7%	11,2%	7,2%	31,1%	69,0%	60,7%	22,7%
Umělá inteligence	1,2%	-44,8%	7,2%	72,4%	50,0%	85,2%	27,0%	6,9%
Digitální bezpečnost a propojenost	2,9%	-35,9%	-41,5%	21,4%	70,0%	90,1%	8,0%	2,6%
<b>Celkem všechny přihlášky s přihlašovatelem z ČR</b>					<b>55,4%</b>	<b>84,6%</b>	<b>24,5%</b>	<b>5,9%</b>

Zastoupení patentových přihlášek zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie, pokročilé výrobní technologie a biotechnologie v patentových přihláškách je v ČR oproti vzorku zahraničních zemí vyšší. Mírně vyšší zastoupení než v zahraničních zemích mají také patentové přihlášky zaměřené na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku. Naopak v umělé inteligenci a digitální bezpečnosti a propojenosti je zastoupení patentových přihlášek v ČR ve srovnání se zahraničními zeměmi (výrazně) nižší (viz tab. 3).

Ze třetího sloupce tab. 3 je patrné že zastoupení patentových přihlášek s přihlašovatelem z ČR ve fotonice a mikro-/nanoelektronice a biotechnologiích mezi obdobími 2010 – 2012 a 2015 – 2017

<sup>11</sup> Údaje o sektoru působnosti přihlašovatele z ČR byly převzaty z Registru ekonomických činností ČSÚ [19] a seznamu VO vedeného MŠMT [20]. U zahraničních subjektů byly údaje o sektoru převzaty z databáze PATSTAT. Pro zajištění srovnatelnosti údajů byly do podniků v případě ČR zahrnuty všechny subjekty podnikatelského sektoru (tedy i VO a soukromé neziskové společnosti).

vzrostlo, a u ostatních KETs se naopak snížilo. Největší pokles byl v digitální bezpečnosti a propojenosti, jejichž zastoupení se v tomto období snížilo o více než 40 % (viz tab. 3).

V zahraničních zemích je vývoj opačný – v patentových přihláškách se nejvíce zvyšuje zastoupení progresivních digitálních technologií – mezi obdobími 2010 až 2012 a 2015 až 2017 se zastoupení přihlášek zaměřených na umělou inteligenci zvýšilo o více než 70 % a zastoupení přihlášek zaměřených na digitální bezpečnost a propojenost o více než 20 % (viz tab. 3). To znamená, že v KETs, která jsou perspektivní z hlediska budoucího rozvoje konkurenceschopnosti, ČR za zahraničními zeměmi stále více zaostává.

Z dalších sloupců tab. 3 je patrné, že v ČR se na tvorbě patentových přihlášek daleko více než v zahraničí podílejí VO (v detailnějším pohledu zejména VŠ) - zatímco v ČR se VO podílejí přibližně na čtvrtině patentových přihlášek, v zahraničí je to přibližně 6 %. Podíl podniků na tvorbě patentových přihlášek je v ČR proto výrazně nižší – v ČR jsou podniky přihlašovatelé cca 55 % patentů, v zahraničních zemích jejich podíl činí přibližně 85 %.

Nejvyšší zastoupení VO mezi přihlašovatelé patentových přihlášek je v biotechnologiích a pokročilých materiálech a nanotechnologiích, kde jsou tyto instituce přihlašovatelé více než poloviny patentových přihlášek. Nejnižší zastoupení mají VO mezi přihlašovatelé patentů v digitální bezpečnosti a propojenosti (zde je podíl podniků mezi přihlašovatelé vyšší než podíl VO). Podniky mají vyšší zastoupení ještě ve fotonice a mikro-/nanoelektronice a umělé inteligenci (viz tab. 3).

Vyšší zastoupení podniků mezi přihlašovatelé patentů je tak v technologických oblastech, které mají výraznější vazbu na aplikace (fotonika a mikro-/nanoelektronika) a v oblastech, kde je do budoucna zřejmý potenciál pro aplikace (umělá inteligence a digitální bezpečnost a propojenost). VO v patentových přihláškách naopak převládají v technologických oblastech, kde mohou být některé aplikované výsledky VaV ještě značně vzdáleny tržnímu uplatnění nebo kde se předpokládá náročnější VaV (biotechnologie, pokročilé materiály a nanotechnologie).

Poněkud jiný pohled na patentovou aktivitu v KETs je uveden v tab. 4, kde je v podobné struktuře vyhodnocen počet patentových přihlášek v KETs s alespoň jedním původcem z ČR (tj. vynálezcem, resp. pracovníkem, který se na novém řešení podílel). Zastoupení čtyř KETs – fotonika a mikro-/nanoelektronika, pokročilé materiály a nanotechnologie, pokročilé výrobní technologie a biotechnologie – je v patentových přihláškách v ČR nižší než v zahraničí. Zastoupení umělé inteligence a digitální bezpečnosti a propojenosti je v ČR naopak vyšší než v zahraničí. V umělé inteligenci navíc počet patentových přihlášek s původcem z ČR výrazně roste (a výrazně rychleji než v zahraničí, viz tab. 4), což znamená, že v této oblasti existuje značný potenciál pro aplikovaný VaV a tvorbu poznatků využitelných v praxi.

Ve druhé části tab. 4 je uvedeno, jakými subjekty jsou přihlašovány patenty, na jejichž vzniku se jako původci podíleli pracovníci z ČR. Z této tabulky je patrné, že značná část z nich je přihlašována podniky se sídlem v zahraničí (zejména mateřskými firmami poboček působících v ČR). Toto je nejvíce patrné u technologií, které jsou perspektivní a které mají značný potenciál do budoucna, jako je umělá inteligence a digitální bezpečnost a propojenost. V těchto dvou KETs jsou domácí podniky přihlašovatelé pouze 12 %, resp. 22 %, patentových přihlášek s původcem z ČR (počítáno frakčně). V ostatních KETs je „únik“ znalostí do zahraničí nižší (viz tab. 4).

Z tab. 3 a tab. 4 je dále patrné, že se podíl umělé inteligence a digitální bezpečnosti v přihláškách s přihlašovatelem z ČR snižuje, zatímco v přihláškách s původcem z ČR zvyšuje. To naznačuje, že stále větší část patentových přihlášek s původcem z ČR je přihlašována subjekty ze zahraničí, a tedy únik znalostí v těchto perspektivních technologických oblastech se stále zvyšuje.

Tab. 4 Porovnání patentové aktivity v ČR a ve vzorku vybraných zahraničních zemí (bývalá EU-15, Norsko a Švýcarsko) v KETs v letech 2015 až 2017. V první části tabulky je porovnán podíl přihlášek v KETs v celkovém počtu patentových přihlášek s alespoň jedním původcem z ČR a změna tohoto podílu mezi obdobími 2010 až 2012 a 2015 až 2017. V pravé části tabulky je uvedeno, jaký podíl z nich je přihlašován domácími VO, domácími podniky a podniky se sídlem v zahraničí. Údaj je stanoven frakční metodou (přihlašovatel zbyvajících podílu přihlášek jsou fyzické osoby z ČR a zahraničí). Zdroj: EPO Worldwide Patent Statistical Database – podzim 2019 (PATSTAT 2019b).

KET	Patentové přihlášky s původcem z ČR			Přihlašovatel		
	Podíl	Podíl ČR / zahraničí	Změna v ČR	VO z ČR	Podniky z ČR	Zahraníční subjekty
Fotonika, mikro-/nanoelektronika	4,5%	16,0%	15,8%	17,6%	39,8%	34,1%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	4,1%	15,3%	25,3%	46,1%	24,6%	23,7%
Pokročilé výrobní technologie	3,7%	17,0%	22,1%	35,2%	39,3%	20,3%
Biotechnologie	3,3%	20,6%	18,5%	58,7%	23,5%	13,6%
Umělá inteligence	2,8%	24,5%	98,0%	7,4%	12,7%	74,8%
Digitální bezpečnost a propojenost	5,3%	14,2%	5,7%	3,8%	21,8%	67,7%
<b>Celkem všechny patentové přihlášky s původcem z ČR</b>				<b>16,6%</b>	<b>29,7%</b>	<b>43,9%</b>

### 4.3 Veřejná podpora VaV a spolupráce VO s podniky v KETs

Počet projektů podpořených v letech 2015 až 2018 v programech účelové podpory VaV<sup>12</sup> řešících problematiku KETs byl poměrně vysoký. Mezi jednotlivými KETs jsou, podobně jako v počtu publikací a patentových přihlášek, značné rozdíly (viz tab. 5). Více než tisíc projektů podpořených v uvedeném období bylo zaměřeno na pokročilé materiály a nanotechnologie. Takto zaměřené projekty získaly také nejvyšší veřejnou podporu (více než 13 mld. Kč v období 2015 – 2018, tj. téměř 40 % veřejné podpory přidělené projektům řešícím problematiku KETs v uvedeném období).

Poměrně vysoký počet projektů byl zaměřen také na problematiku fotoniky a mikro-/nanoelektroniky a biotechnologií (viz tab. 5). Projekty zaměřené na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku získaly přibližně 20 % z celkové veřejné podpory projektů řešících problematiku KETs, projekty zaměřené na biotechnologie přibližně 18 %. Podniky se na veřejné podpoře poskytnuté na řešení VaV projektů v KETs podílely v rozmezí od 50 % do 65 %. Největší účast podniků podle podílu na veřejné podpoře byla v pokročilých výrobních technologiích, kde se podniky účastnily téměř poloviny realizovaných projektů a čerpaly pětinu veřejné podpory. Naopak nejnižší podíl veřejné podpory získaly podniky v projektech zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie a biotechnologie, což zřejmě souvisí s náročností a charakterem VaV (VaV produktů ještě vzdálených tržnímu uplatnění).

<sup>12</sup> Projekty financované z národních programů účelové podpory VaV i z operačních programů (OP VVV a OP PIK)



Tab. 5 Počet projektů, jejich celkové náklady a veřejná podpora v jednotlivých KETs v součtu za období 2015 až 2018. Hodnoty nejsou počítány frakční metodou. Zdroj: Úřad vlády ČR, Informační systém VaVal (Centrální evidence projektů / CEP).

KET	Celkem				Podíl podniků		
	Počet projektů	Celkové náklady projektů (mil. Kč)	Veřejná podpora (mil. Kč)	Počet účastníků	Počet projektů	Veřejná podpora	Počet účastníků
Fotonika a mikro-/ nanoelektronika	670	6 804	5 011	286	23%	16%	58%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	1 106	13 698	9 475	401	18%	14%	64%
Pokročilé výrobní technologie	186	1 978	1 401	185	46%	20%	51%
Biotechnologie	431	6 740	4 512	254	19%	9%	50%
Umělá inteligence	219	2 613	1 886	139	29%	18%	64%
Digitální bezpečnost a propojenost	219	3 780	2 462	149	34%	13%	62%

Spolupráce podniků a VO v projektech VaV v jednotlivých KETs je porovnána v tab. 6. Nejvyšší podíl projektů řešených ve spolupráci z celkového počtu projektů zaměřených na KETs i podíl veřejné podpory byl v pokročilých výrobních technologiích. V této KET byla přibližně třetina projektů řešena ve spolupráci podniků a VO, což svědčí o tom, že podniky často využívají VaV kapacity VO pro realizaci projektů souvisejících přímo s výrobními procesy. Vyšší podíl veřejné podpory projektům řešeným ve spolupráci podniků a VO byl alokován ve fotonice a mikro-/nanoelektronice a umělé inteligence, což rovněž svědčí o důležitosti společných projektů podniků a VO realizovaných v těchto oblastech.

Tab. 6 Projekty řešené ve spolupráci podniků a VO v období 2015-2018. Zdroj: Úřad vlády ČR, Informační systém VaVal (Centrální evidence projektů / CEP)

KET	Projekty řešené ve spolupráci podniků a VO					
	Podíl projektů	Podíl celkových nákladů	Podíl veřejné podpory	Počet zapojených subjektů		
				Podniky	VO	
Fotonika a mikro-/ nanoelektronika	17,3%	27,7%	25,6%	130	42	
Pokročilé materiály a nanotechnologie	15,0%	21,2%	20,9%	219	43	
Pokročilé výrobní technologie	31,2%	33,2%	32,1%	64	19	
Biotechnologie	17,2%	16,9%	18,1%	114	50	
Umělá inteligence	18,7%	26,1%	25,6%	73	13	
Digitální bezpečnost a propojenost	20,5%	21,5%	22,4%	74	16	

Vývoj veřejné podpory přidělené na řešení projektů zaměřených na jednotlivé KETs mezi dvěma dvouletými obdobími 2015 - 2016 a 2017 - 2018<sup>13</sup> je zachycen v tab. 7. Z tabulky je zřejmé, že objem podpory KETs se v tomto krátkém časovém úseku významně zvýšil – u všech subjektů téměř o 65 %,

<sup>13</sup> Vzhledem k tomu, že veřejná podpora mezi jednotlivými roky kolísá, bylo porovnání vývoje veřejné podpory provedeno ve dvou dvouletých časových oknech.

u podniků o 42 %. K nejvyššímu procentuálnímu nárůstu došlo v pokročilých výrobních technologiích a umělé inteligenci.

Tab. 7 Veřejná podpora v KETs a její změna mezi obdobími 2015-2016 a 2017-2018. Kromě celkové veřejné podpory projektům řešícím VaV v KETs je uvedena veřejná podpora podniků. Zdroj: Úřad vlády ČR, Informační systém VaVal (Centrální evidence projektů / CEP)

KETs	Celkem (mil. Kč)			Podniky (mil. Kč)		
	2015 -16	2017 - 18	Změna	2015 -16	2017 - 18	Změna
Fotonika a mikro-/ nanoelektronika	2 010,2	3 000,5	49,3%	347,3	431,1	24,1%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	3 673,4	5 801,4	57,9%	558,2	723,8	29,7%
Pokročilé výrobní technologie	347,3	1 053,9	203,4%	62,0	222,9	259,7%
Biotechnologie	1 845,6	2 666,2	44,5%	195,2	204,3	4,7%
Umělá inteligence	543,5	1 342,1	146,9%	94,3	235,4	149,6%
Digitální bezpečnost a propojenost	934,4	1 527,2	63,5%	140,4	169,5	20,7%
<b>Celkem</b>	<b>9 354,4</b>	<b>15 391,2</b>	<b>64,5%</b>	<b>1 397,4</b>	<b>1 986,9</b>	<b>42,2%</b>

#### 4.4 Zapojení do mezinárodní spolupráce ve VaV

Zapojení ČR v mezinárodních projektech VaV podpořených v programu H2020, v nichž byla řešena problematika KETs<sup>14</sup>, je uvedeno v tab. 8. Z tabulky je patrné, že nejvíce českých účastníků z veřejné i soukromé sféry bylo zapojeno do projektů zaměřených na digitální bezpečnost a propojenost. Poměrně vysoký počet účastníků z ČR byl také v projektech zaměřených na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku a pokročilé materiály a nanotechnologie. Přibližně polovinu účastníků ve většině KETs tvořily podniky (viz tab. 8). Výjimkou byla oblast fotoniky, kde byl podíl podniků poněkud nižší (přibližně 35 %).

Tab. 8 Počty účastníků z ČR účastnících se projektů v jednotlivých KETs, počty řešených projektů a příspěvek získaný subjekty z ČR na jejich řešení. U každého údaje je zároveň uvedeno, jaký byl podíl podniků. Hodnoty nejsou počítány frakční metodou, jejich součty tedy neodpovídají celkovému počtu účastníků, projektů a objemu prostředků získanému z programu Horizont 2020. Zdroj: eCORDA.

KETs	Počet účastníků z ČR	Podíl podniků na počtu účastníků	Počet projektů	Podíl projektů s účastí podniků	Příspěvek EK (mil. €)	Podíl příspěvků podnikům
Fotonika a mikro-/ nanoelektronika	78	34,6%	99	37,4%	30,3	21,4%
Pokročilé materiály a nanotechnologie	64	43,8%	95	45,3%	32,2	25,5%
Pokročilé výrobní technologie	34	50,0%	38	57,9%	23,4	20,3%
Biotechnologie	46	45,7%	68	47,1%	25,8	23,4%
Umělá inteligence	39	53,8%	52	42,3%	27,3	16,2%
Digitální bezpečnost a propojenost	90	53,3%	121	45,5%	38,5	35,4%

<sup>14</sup> Vzhledem k tomu, že počty projektů, účastníků a získaných prostředků nebyly stanoveny frakční metodou (některé projekty spadaly svým zaměřením do více oblastí KETs a některé subjekty se účastnily více projektů), neodpovídají součty za všechny KETs celkovým počtům projektů, účastníků z ČR a jimi získaným prostředkům v programu H2020.

Nejvyšší počet projektů byl zaměřen na digitální bezpečnost a propojenost (viz tab. 8). Poměrně vysoký počet projektů byl také zaměřen na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku a pokročilé materiály a nanotechnologie. Nejnižší počet projektů byl zaměřen na pokročilé výrobní technologie. Podíl projektů s účastí českých podniků v projektech H2020 s účastí ČR se u jednotlivých KETs pohyboval kolem 40 %. Výjimku představovaly pokročilé výrobní technologie, kde byl sice počet českých projektů i účastníků nejnižší, ale téměř 60 % z těchto projektů se účastnily podniky (což zřejmě souvisí se zaměřením projektů na řešení potřeb podniků).

Celková výše příspěvku Evropské komise (EK) na řešení projektů v jednotlivých oblastech KETs se pohybovala kolem 30 mil. € (viz tab. 8). Příspěvek, který na řešení projektů získaly podniky, byl však poměrně nízký. Největší částku získaly podniky v digitální bezpečnosti a propojenosti, což svědčí o tom, že jejich role zde byla poměrně významná. Vysoká účast subjektů z ČR v projektech zaměřených na digitální bezpečnost a propojenost a vysoký příspěvek EK mohou souviset s mezinárodně srovnatelnou kvalitou VaV v této technologické oblasti (viz tab. 2).

## 5 Technologické trendy a výzkumný potenciál ČR

### 5.1 Pokročilé materiály a nanotechnologie

Pokročilé materiály<sup>15</sup> zahrnují velmi širokou oblast materiálů s obtížně definovatelnými hranicemi. Na obecné úrovni lze za pokročilé materiály považovat materiály s požadovanými vlastnostmi a funkcemi. Typickým příkladem jsou lehké materiály, materiály pro extrémní podmínky, materiály, které slouží jako ochranné povlaky (proti různým vlivům, například proti extrémním podmínkám), nebo materiály, které mají „inteligentní funkce (inteligentní materiály). Příkladem mohou být pokročilé kovy, pokročilé syntetické polymery, pokročilá keramika, nové kompozity, pokročilé biopolymery a další materiály. Cílem výzkumu v oblasti pokročilých materiálů je porozumět vztahům mezi složením a mikrostrukturou materiálů a jeho technickými vlastnostmi, tj. jak mikrostruktura ovlivňuje chování v různých aplikacích, jak je toho možné dosáhnout a jak modifikovat chování materiálů různými výrobními technologiemi.

Stěžejním trendem v oblasti pokročilých materiálů je uplatnění nanotechnologií<sup>16</sup>. Za nanotechnologie lze považovat technologie pro struktury s rozměry do 100 nanometrů alespoň v jednom rozměru. Jedná se o vysoce multidisciplinární a průřezovou technologii využívající nové techniky zaměřené například na vývoj nových materiálů, struktur se specifickými vlastnostmi, komponent a zařízení v této velikosti, které jsou využitelné v řadě oborů, jako je například elektronika, lékařství, materiálové vědy, energetika, transport a další odvětví. Mezi typické příklady nanotechnologií patří například uhlíková nanovlákna, grafeny a kvantové tečky.

#### Výzkumný potenciál ČR

Publikační aktivita v pokročilých materiálech a nanotechnologiích je v ČR ze všech KETs nejvyšší. VaV se na tuto oblast zaměřuje daleko více než v zahraničí, neboť zastoupení takto zaměřených publikací v národním publikačním výstupu je v ČR zhruba o 75 % vyšší než ve vzorku zahraničních zemí. Publikační aktivita ČR v pokročilých materiálech a nanotechnologiích sice roste, avšak méně než v jiných oborech. Kvalita VaV měřená citovaností publikací je však mírně pod světovým průměrem. Ve srovnání s jinými KETs je zde relativně nízký podíl publikací vytvořených spoluprací VO s podnikovým sektorem (ve srovnání se zahraničím je podíl společných publikací pouze třetinový).

Také patentová aktivita je vysoká a zastoupení patentových přihlášek řešících problematiku pokročilých materiálů a nanotechnologií v celkovém počtu přihlášek je vyšší než ve vzorku zahraničních zemí. VO (zejména VŠ) jsou přihlašovatelé téměř 60 % patentových přihlášek, což je výrazně více než v zahraničí (v zahraničí jsou podniky dominantními přihlašovatelé).

---

<sup>15</sup> <https://www.idtechex.com/en/research-article/trends-in-advanced-functional-materials/15927>

<http://crosstalk.cell.com/blog/the-editor-of-matter-on-5-materials-trends-to-watch>

<https://www.3dprintingmedia.network/advanced-materials-additive-manufacturing/>

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04500-5\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04500-5_1)

<https://www.sciencedirect.com/book/9780128141304/nanomaterials-for-food-applications>

<sup>16</sup> [http://www.tntconf.org/2019/TNT2019\\_abstractsbook.pdf](http://www.tntconf.org/2019/TNT2019_abstractsbook.pdf)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128140291000119>

<https://www.longdom.org/open-access/nanomedicine--an-evolving-research-2155-983X-1000160.pdf>

[https://books.google.cz/books?hl=en&lr=&id=6PqIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=DNA+computing&ots=1ZpczKc5I-&sig=HuoljnxHyHp4d-Mo52Y6DwDrds5Y&redir\\_esc=y#v=onepage&q=DNA%20computing&f=false](https://books.google.cz/books?hl=en&lr=&id=6PqIDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=DNA+computing&ots=1ZpczKc5I-&sig=HuoljnxHyHp4d-Mo52Y6DwDrds5Y&redir_esc=y#v=onepage&q=DNA%20computing&f=false)

O významu tohoto oboru svědčí i výše veřejné podpory přidělená projektům řešícím problematiku pokročilých materiálů a nanotechnologií (projekty zaměřené na pokročilé materiály a nanotechnologie získaly téměř 40 % celkové podpory projektů zaměřených na KETs). Veřejná podpora VaV zaměřeného na problematiku pokročilých materiálů a nanotechnologií mezi obdobím 2015 – 2016 a 2017 – 2018 vzrostla o více než polovinu. Výraznou roli ve VaV hrají VO, které získaly výraznou většinu z veřejné podpory. Pouze 15 % z celkového počtu projektů bylo řešeno ve spolupráci VO a podniků. VO se často zapojují do projektů bez účasti podniků, podniky naopak zpravidla v projektech spolupracují s VO (pouze menší část podniků je schopna realizovat takto zaměřený VaV samostatně bez spolupráce s VO).

I když je podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci nižší než v zahraničí, subjekty z ČR se aktivně zapojují do mezinárodních projektů VaV zaměřených na problematiku pokročilých materiálů a nanotechnologií v programu Horizont 2020. Projektů se často účastní podniky, řada z nich byla zapojena do více projektů, což svědčí o kvalitě realizovaného VaV (resp. potenciálu využít získané poznatky v inovacích). Přehled silných a slabých stránek VaV v oblasti pokročilých materiálů a nanotechnologií je uveden v tab. 9.

V projektech podpořených v programech účelové podpory VaV a patentových přihláškách zaměřených na oblast pokročilých materiálů a nanotechnologií jsou patrná následující významná témata VaV:

- pokročilé kovové materiály – oceli, slitiny oceli, zirkoniové, hliníkové a další slitiny, alkalické kovy, přechodové kovy a jejich vlastnosti;
- pokročilé nekovové materiály - kompozitní materiály, oxidy, polymery a kopolymery, polymerové kompozity, makromolekulární látky, keramické materiály a další materiály pro speciální využití a jejich vlastnosti;
- výroba a zpracování materiálů – zařízení pro výrobu, depozici (substráty), tepelné zpracování, plasmové technologie apod.
- nanomateriály a nanotechnologie (nanočástice, nanotrubice, apod.);
- tenké vrstvy a povrchy, modifikace povrchů;
- analytické metody a technika pro charakterizaci materiálů.

Tab. 9 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na pokročilé materiály a nanotechnologie

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velmi vysoká veřejná podpora projektům zaměřeným na pokročilé materiály a nanotechnologie – silný VaV v této technologické oblasti</li> <li>- Intenzivní zapojení VO (zejména VŠ) do řešení projektů – rozvinuté VaV aktivity ve VO</li> <li>- Vysoký počet podniků zapojených do projektů, svědčící o potenciálu podniků využívat výsledky VaV</li> <li>- Veřejná podpora v programech VaV roste, zejména podpora získávaná VO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší podíl veřejné podpory získaný podniky</li> <li>- Nižší podíl projektů realizovaných ve spolupráci VO a podniků ve srovnání s ostatními KETs</li> <li>- Veřejná podpora získávaná podniky roste méně než podpora získávaná VO</li> <li>- Omezený počet podniků je schopen realizovat VaV projekty bez spolupráce s VO</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Počet publikací je velmi vysoký a svědčí tak o vysokém počtu výzkumných týmů realizujících VaV zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Publikační aktivita roste pomaleji než v jiných KETs</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- V mezinárodním srovnání vysoké zastoupení publikací v celkovém počtu publikací - VaV se v ČR soustředí na oblast materiálů více než v zahraničí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší citovanost publikací a zastoupení publikací mezi světově nejcitovanějšími, a tedy i nižší kvalita publikací a VaV</li> <li>- V národním a zejména mezinárodním srovnání nízký podíl publikací vytvořených ve spolupráci s pracovníky podniků</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký počet patentových přihlášek</li> <li>- V mezinárodním srovnání vysoké zastoupení patentových přihlášek zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie v celkovém počtu přihlášek</li> <li>- Vysoký podíl patentových přihlášek přihlašovaných VO (zejména VŠ) – potenciál VO pro tvorbu aplikačně zaměřených výsledků VaV je vysoký</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastoupení patentových přihlášek zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie klesá</li> <li>- V mezinárodním srovnání velmi nízký podíl patentových přihlášek přihlašovaných podniky – kapacity/schopnosti podniků realizovat náročnější VaV jsou zřejmě omezené</li> </ul>
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poměrně vysoké zapojení subjektů z ČR do projektů rámcového programu H2020 – existence týmů s mezinárodně konkurenceschopným VaV</li> <li>- Vysoká účast podniků v projektech H2020 zaměřených na pokročilé materiály a nanotechnologie – existují podniky realizující mezinárodně konkurenceschopný VaV nebo s potenciálem využít jeho poznatky</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízký podíl publikací VO vytvořených v mezinárodní spolupráci</li> </ul>

## Aktuální světové trendy

### *Materiály pro nanovýrobu*

Nanotechnologie umožňují vývoj nových generací kompozitů s vylepšenou funkcí a širokou škálou aplikací. V současnosti nanokompozity představují mnoho aplikací v mnoha průmyslových oborech. Užité vlastnosti nanomateriálů vyplývají z jejich výjimečných fyzikálních a chemických vlastností, velikosti, tvaru či povrchové morfologii. Velikostní efekt (size effect) umožňuje výrazně zlepšovat užité vlastnosti konvenčních materiálů. Nanotechnologie díky svému inovačnímu potenciálu již dnes výrazně ovlivňují moderní průmyslové produkty.

- Samočistící materiály
- Uhlíkové nanobudy
- Grafenové kvantové tečky
- Nanofabric
- Metamateriály
- Uhlíkové nanotrubic
- Grafenové tranzistory

### Environmentální materiály

Kritéria environmentálních materiálů představují především šetrnost k energiím, šetrnost k přírodním zdrojům, opakované využití, recyklovatelnost, chemickou stabilitu (dlouhodobá využitelnost bez chemické degradace) a biologickou bezpečnost. Kromě známé kategorie zakládající svou strukturu na dřevě a jeho odpadu současné technologie vyvíjejí umělé nepoměrně složitější materiály – silikony, ultra lehké kovy, polyester, cement, chemická aditiva apod. Množství environmentálně akceptovatelných materiálů vzrůstá a jejich běžné užití v praktickém životě získává stále reálnějších obrysů. V rámci konkrétních diferencí se dělí do několika podskupin určujících způsob výroby či využitelnost.

- Optické biosenzory
- Biologicky rozložitelná elektronika
- Akustická filtrace
- Hydrogely
- Bateriové a kondenzátorové polymery
- Protipožární biokompozity
- Aktivní a inteligentní obaly

### Smart materiály

Díky novým technologiím a novým výzkumným poznatkům jsou materiály stále vyspělejší a chytřejší. Inteligentní materiály se přizpůsobují novým okolním podmínkám a tím rozšiřují škálu vlastností materiálu. Pokročilé materiály jsou navíc nejen výkonnější, ale často také levnější než jejich předchůdci.

- Neuromorfni čip
- Termoelektrická barva
- Samoopravitelné materiály
- Mikroporézní fluidní vstřikování
- Spektroskopické zobrazování
- Auxtetický materiál
- Termochromní bioobaly

### Široce uplatnitelné materiály

Materiály, které jsou zabudovány do elektronických komponentů nebo byly vyrobeny pomocí inteligentních materiálů a nabízejí vysokou přidanou hodnotu. Materiály mají stále lepší mechanické i chemické vlastnosti. Trendem je zároveň možnost využití techno materiálů v bioinženýrských a nanoinženýrských oborech.

- Spintronika
- 2D materiály
- Grafen
- Laserové svařování pro výrobu plastových 3D komponent
- Polymerové elektronické vrstvy
- Bioelektrický plast

### Příležitosti pro ČR

V ČR existuje značný potenciál pro VaV v oblasti pokročilých materiálů a nanotechnologií, což souvisí s širokou znalostní základnou v oblasti materiálových a chemických věd, která je jak ve VŠ sektoru, tak i ve vládním a podnikatelském sektoru, i dlouhodobou tradicí v materiálovém výzkumu. To vytváří předpoklady pro vývoj pokročilých i zcela nových materiálů se specifickými vlastnostmi, které mohou mít široké uplatnění v řadě produktů. Příležitostí je i VaV inteligentních materiálů, které se přizpůsobují novým okolním podmínkám a rozšiřují tak možnosti svého uplatnění.

V souvislosti s aktuálními technologickými trendy je v ČR perspektivní oblastí i VaV nanomateriálů se specifickými vlastnostmi, které umožní jejich nasazení v širokém spektru aplikací. Další příležitostí může být VaV tenkých vrstev a povlaků, které přispějí ke zlepšení užitečných vlastností produktů využitelných v různých odvětvích národního hospodářství. Pro realizaci náročného VaV produktů ještě vzdáleným tržnímu uplatnění, jeho výsledky budou základem pro přelomové inovace, bude hrát



významnou roli i rozvinutá spolupráce mezi VO a podniky, kde existuje potenciál pro využívání výsledků VaV v inovacích.

Další perspektivní oblastí je VaV zaměřený na oblast biomateriálů a materiálů, které budou šetrné k životnímu prostředí a přispějí tak k dlouhodobé udržitelnosti výroby a zlepšení životního prostředí. Zde je příležitostí „propojení“ výzkumných kapacit z oblasti materiálového výzkumu a výzkumu zaměřenému na biotechnologie. Vzhledem k tomu, že ČR patří mezi země s vysokou energetickou náročností výroby, příležitostí může být i využití environmentálních materiálů v některých oblastech energetiky, jako je například akumulace energie.

V mezinárodním srovnání velmi silný VaV pokrývající širokou oblast materiálů vytváří předpoklady pro vývoj produktů s vyšší přidanou hodnotou, které mohou přispět ke zvýšení mezinárodní konkurenceschopnosti domácích podniků působících v řadě odvětví hospodářství. Potenciál pro využití pokročilých materiálů a technologií je nejen v tradičních segmentech hospodářství ČR podílejících se výraznou měrou na tvorbě HDP, jako strojírenství a výroba dopravních prostředků, ale i v oblastech, které mají značný potenciál do budoucna, jako je například elektronika a optoelektronika, digitální technologie, informační a komunikační technologie či technologie pro zdravotní účely.

## 5.2 Pokročilé výrobní technologie

Za Pokročilé výrobní technologie<sup>17</sup> lze považovat výrobní systémy a související služby, procesy, provozy a zařízení pro ostatní KETs. Pokročilé výrobní technologie zahrnují široké spektrum technologií, které lze rozdělit do několika skupin:

- „čisté“ výrobní technologie umožňující fyzikální konverzi materiálů do požadovaných produktů;
- podpůrné technologie, jako je například počítačové modelování a simulace výrobních procesů;
- „soft“ aktivity, jako jsou inovace výrobního procesu.

Mezi pokročilé výrobní technologie lze například zařadit aditivní výrobu (například 3D tisk), litografii, technologie umožňující zvyšování rozměrů křemíkových desek při výrobě čipů, automatizaci, robotiku, měřicí systémy, zpracování signálu a informace, kontrolu výroby a další procesy.

### Výzkumný potenciál ČR

Zastoupení publikací zaměřených na pokročilé výrobní technologie je ve srovnání s evropskými zeměmi přibližně poloviční. Počet publikací se však mezi lety 2015 – 2016 a 2017 – 2018 zdvojnásobil, což může souviset i s vysokým nárůstem veřejné podpory v této technologické oblasti.

I když je počet publikací nižší než v ostatních KETs, jedná se o kvalitní práce s oborově normalizovanou citovaností převyšující světový průměr citovanosti. Ve srovnání se vzorkem evropských zemí je však

---

<sup>17</sup> [https://www.cbinsights.com/reports/CB-Insights-Advanced-Manufacturing-2019-Trends.pdf?utm\\_campaign=iot-trends\\_2018-11&utm\\_medium=email&hsenc=p2ANqtz-Xq0iPfg837y1p2o47-6ET0H4pN3N-NtYeSArwjY7lmq0MHPD2BzN6SvIvj6wbWefzBfLKQhXFVwkeB3BEIyP4HQDQ&hsmi=67895772&utm\\_content=67895772&utm\\_source=hs\\_automation&hsCtaTracking=b9bfbe04-111c-4c3b-a267-4d412a869d75%7C4f8799c3-c19f-4741-b2b5-299aa9419bb6](https://www.cbinsights.com/reports/CB-Insights-Advanced-Manufacturing-2019-Trends.pdf?utm_campaign=iot-trends_2018-11&utm_medium=email&hsenc=p2ANqtz-Xq0iPfg837y1p2o47-6ET0H4pN3N-NtYeSArwjY7lmq0MHPD2BzN6SvIvj6wbWefzBfLKQhXFVwkeB3BEIyP4HQDQ&hsmi=67895772&utm_content=67895772&utm_source=hs_automation&hsCtaTracking=b9bfbe04-111c-4c3b-a267-4d412a869d75%7C4f8799c3-c19f-4741-b2b5-299aa9419bb6)  
<https://www.rewo.io/en/manufacturing-technology-trends-future/>  
<https://us.hitachi-solutions.com/blog/top-manufacturing-trends/>  
<https://www.zdnet.com/pictures/7-technologies-that-will-transform-advanced-manufacturing-in-2019/2/>  
<https://www.autodesk.com/redshift/manufacturing-trends-2019/>  
<https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/5-manufacturing-technology-trends-watch-2019-0>  
<https://internetofbusiness.com/complete-guide-10-smart-factory-trends-to-watch-in-2019/>



citovanost publikací stále nízká. I když je podíl publikací vytvořených ve spolupráci s pracovníky podniků v národním srovnání poměrně vysoký, v evropských zemích je jejich podíl dvojnásobný.

Počet patentových přihlášek zaměřených na pokročilé výrobní technologie je naopak poměrně vysoký a jejich zastoupení v celkovém počtu patentových přihlášek je vyšší než ve vzorku evropských zemí. Zastoupení pokročilých výrobních technologií v patentových přihláškách se však mírně snižuje. Na počtu patentových přihlášek se významně podílejí podniky, které jsou přihlašovatelem přibližně poloviny patentových přihlášek. I přesto se na počtu patentových přihlášek v pokročilých výrobních technologiích v daleko větší míře než v zahraničí podílejí VO (zejména VŠ). Podniky se sídlem v zahraničí je přihlašována přibližně pětina patentových přihlášek s původcem z ČR, což je méně než ve většině ostatních KETs.

Počet projektů zaměřených na VaV pokročilých výrobních technologií je ve srovnání s ostatními KETs nižší. V téměř polovině podpořených projektů (nejvíce ze všech KETs) byly zapojeny podniky. Podniky však získaly pouze 20 % podpory přidělené na řešení projektů, což může svědčit o významnější roli VO ve společných projektech. Kromě VO z veřejného sektoru (zejména VŠ) hrají v projektech VaV významnou roli i VO z podnikatelského sektoru. Veřejná podpora projektům zaměřeným na pokročilé výrobní technologie mezi obdobími 2015 – 2016 a 2017 – 2018 výrazně vzrostla. Vysoký nárůst byl patrný u podniků, které získaly více než trojnásobnou podporu oproti předcházejícímu období.

Podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci je přibližně na 90 % průměru evropských zemí, což se příliš neliší od ostatních KETs. Počet projektů rámcového programu H2020 zaměřených na problematiku pokročilých výrobních technologií není příliš vysoký. Více než polovinu účastníků z ČR tvoří podniky. Většina z nich byla však zapojena pouze do řešení jednoho projektu. Přehled silných a slabých stránek VaV v oblasti pokročilých výrobních technologií je uveden v tab. 10.

V projektech podpořených v programech účelové podpory VaV a patentových přihláškách zaměřených na pokročilé výrobní technologie jsou patrné následující výzkumné směry:

- stroje a strojní zařízení (textilní stroje, obráběcí stroje a další);
- monitorování, kontrola a řízení výrobních procesů (kontrola pohybu, procesní kontrola, kontrolní platformy, spolehlivost a bezpečnost, sensory a senzomotorické prvky apod.);
- pokročilé materiály a jejich využití (polymery, kompozity a další), technologie výroby materiálů (polovodiče, polymery, kovové materiály, oxidy, kompozity a další materiály);
- design, rychlé prototypování, příprava modelů, vývoj prototypů apod.
- pokročilé výrobní technologie a zařízení, jako jsou například:
  - o aditivní technologie a 3D tisk,
  - o počítačově řízené stroje,
  - o robotika a technologie využívající umělou inteligenci (automatizace, strojové učení, zpracování obrazu a další),
  - o laserové technologie (svěťování, řezání slinování apod.);
  - o technologie pro chemickou výrobu (výroba sloučenin a chemických látek);
  - o technologie pro výrobu elektronických prvků, desek, elektronických a optoelektronických zařízení;

Tab. 10 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na pokročilé výrobní technologie

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poměrně vysoká veřejná podpora získaná VO (zejména VŠ)</li> <li>- Poměrně vysoká účast VO z podnikatelského sektoru</li> <li>- Vysoký podíl projektů realizovaný ve spolupráci podniků a VO</li> <li>- Výrazný nárůst veřejné podpory v programech VaVal, zejména v případě podniků – aktivita podniků ve VaV pokročilých výrobních technologiích se zvyšuje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší počet projektů zaměřených na problematiku pokročilých výrobních technologiích ve srovnání s jinými oblastmi</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Citovanost publikací je nad světovým průměrem a je vyšší než v ostatních KETs</li> <li>- Počet publikací výrazně roste – VaV aktivity zaměřené na oblast pokročilé výroby se zvyšují</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ve srovnání s jinými KETs nižší počet publikací VaV</li> <li>- Zastoupení publikací v celkovém počtu publikací je v mezinárodním srovnání nízké - VaV se na problematiku výrobních technologiích zaměřuje méně než v zahraničí nebo je zaměřen výhradně na aplikace.</li> <li>- I když je citovanost nad světovým průměrem, ve srovnání s evropskými zeměmi je nižší</li> <li>- V mezinárodním srovnání nízký podíl publikací vytvořených ve spolupráci s podniky</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoká patentová aktivita, podíl patentových přihlášek v této KET v celkovém počtu přihlášek je v mezinárodním srovnání nadprůměrný – výsledky VaV mají potenciál pro aplikace</li> <li>- V mezinárodním srovnání vysoký podíl patentů přihlašovaných VO – vysoký potenciál pro tvorbu poznatků s využitím v aplikacích ve VO (zejména ve VŠ)</li> <li>- Podíl patentových přihlášek s původcem z ČR přihlašovaných zahraničními podniky je nižší než ve většině ostatních KETs - relativně nízký únik znalostí do zahraničí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastoupení patentových přihlášek zaměřených na pokročilé výrobní technologie se snižuje</li> </ul>
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podniky se zapojují do projektů řešených v rámcovém programu Horizont 2020 – existují podniky s mezinárodně konkurenceschopným VaV nebo potenciálem pro využití poznatků VaV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci je v mezinárodním srovnání nižší</li> <li>- Počet projektů realizovaných v programu Horizont 2020 je ve srovnání s jinými KETs nižší</li> </ul>

## Aktuální světové trendy

### Inteligentní výroba

Koncept inteligentní výroby se v čase neustále mění, nicméně ji lze definovat jako stále rostoucí integraci špičkové umělé inteligence a pokročilých výrobních technologií a procesů. Inteligentní výroba pomáhá společnostem, kromě efektivnější výroby, optimalizovat organizační systémy, zlepšovat kvalitu produktů, zvyšovat efektivní alokaci zdrojů a lépe poskytovat zákaznický servis. Pokroky v digitálních technologiích, které jsou ve výrobě aplikovány, dlouhodobě umožňují nárůst inteligentní výroby. Očekává se, že budou vznikat integrované systémy, které umožní komunikaci a spolupráci mezi zařízeními a lidmi a budou umožňovat produkci customizovaných výrobků ve stejné efektivitě, kterou poskytuje běžná výroba. Díky stále rostoucímu podílu inteligentní výroby mohou být do výrobního procesu zapojeni i zákazníci.

- Rychlý internet věcí
- Edge computing v rámci 5G sítí
- Nositelné zařízení
- Molekulární robotika
- Nový 3D tisk
- 4D tisk
- Spintronika
- Kompilátory robotů
- Rychlý internet věcí
- Holografický 3D tisk
- Molekulární tisk

### Rostoucí využití dat

Schopnost efektivně analyzovat a využívat data generovaná během výrobních procesů pro získání informací o jednotlivých produkčních procesech ke strategickému rozhodování představuje silně rostoucí trend. Využití dat znamená schopnost data shromažďovat, vytvářet ekosystém pro jejich analýzu (firemní inteligence pro podporu organizačního hodnocení a analýzy). Nejdynamičtější firmy dnes vytvářejí procesy a investují do nástrojů, které pomáhají zvyšovat zisky i produktivitu. S vývojem nových technologií se vyvíjí i příležitosti pro ještě více efektivní využíváním produkovaných dat.

- Využití AI a pokročilé analytiky
- Automatizace robotických procesů
- Paměť umožňující výpočty
- Kvantové počítače

### Propojení produkčních objektů

Propojení produkčních objektů pomocí senzorů představuje jeden z nejvýznamnějších transformačních trendů v průmyslové výrobě. Neustále se rozvíjející internet věcí změnil nejen tradiční dodavatelské řetězce na vzájemně propojené a dynamické systémy, ale také umožnil zásadně změnit způsob výroby produktů, umožnil zvýšit efektivitu výroby a její bezpečnost, a umožnil snížit organizační náklady a složitost řízení produkce. Pokračování trendu lze očekávat ve vytváření nových obchodních modelů, zejména k pronajímání produkčních kapacit továren. Očekává se, že výrobní stroje budou prodávány jako služba a jejich vlastníci by je tak mohli dálkově monitorovat a automaticky zajišťovat údržbu, opravy a nezbytné aktualizace.

- Spolupracující roboty
- Robotika jako služba
- Autonomní robotické týmy
- Průmyslový internet věcí
- Edge Computing
- Flexibilní elektronika

### *Aplikace umělé inteligence*

Růst využití jednotlivých technologií na bázi umělé inteligence je patrný ve všech lidských činnostech, takže začíná být stále více začleňována do výrobních procesů. V blízké budoucnosti budou výrobní zařízení síťově propojené s lidmi, s aktivy dodavatelského řetězce, s konstrukčními týmy, s řízení výroby a kvality. Všechny komponenty výroby budou integrované do vysoce inteligentního ekosystému, který bude monitorovat jednotlivé procesy a bude sbírat a analyzovat data. Umělá inteligence může mít v rámci výroby mnoho podob a lze očekávat, že její přítomnost ve výrobních zařízeních bude stále více rozvíjet v oblastech jako je virtuální realita, automatizace, internet věcí, robotika apod.

- Cloudová robotika řízená přes API
- Cloudová robotika
- Digitální dvojče
- Virtuální a rozšířená realita
- Virtualizace a simulace výroby
- Měkká robotika
- Komunikační rozhraní robotů
- Neuronová síť

### *Zvyšující se nároky na kybernetickou bezpečnost*

Kybernetická bezpečnost se stane jednou z významných strategických priorit výrobních podniků využívající technologie internetu věcí. Komponenty inteligentní výroby, práce průmyslových robotů a dalších komponent Průmyslu 4.0 bude využívat internetu věcí a dalších datových služeb, což bude vyžadovat eliminaci rizik jejich ztráty pomocí zvýšené kybernetické bezpečnosti. Lze očekávat, že subjekty budou muset přistoupit k vysoce integrované kybernetické bezpečnosti. Integrovaná kybernetická bezpečnost musí mít schopnost detekce a prevence narušení novými generacemi kybernetických hrozeb, sledování integrity výroby, virtuální opravování případných narušení sítě, strojové učení, analýzu chování subjektů připojených na síť, detekci rizik, inteligentní zhodnocení zranitelnosti, bránu firewall nové generace a technologie obrany úniku dat.

- Zabezpečení digitální transformace
- Inteligentní Endpoint Detection and Response
- UEBA (User and Entity Behavior Analytics)
- SIEM (Security Information and Event Management)

### **Příležitosti pro ČR**

S ohledem na strukturu české ekonomiky a související silné výzkumné zázemí v oblasti strojírenství existuje značný potenciál pro výzkum pokročilých výrobních technologií a souvisejících procesů založených na automatizaci a robotizaci výroby. Výhodou ČR je na jedné straně rozvinutá znalostní základna především na technicky zaměřených vysokých školách a dalších VO, a na straně druhé rozvinuté VaV aktivity ve veřejném i podnikovém sektoru v oblasti digitálních technologií a ICT. Příležitostí je i zapojení výzkumných center působících v oblasti digitálních technologií, ICT a robotiky do realizace náročných VaV projektů směřujících k disruptivním inovacím. S ohledem na současné trendy v pokročilé výrobě bude nezbytné klást důraz na vývoj technologií pro optimalizaci organizačních systémů, zvyšování kvality produkce, efektivní alokaci zdrojů a bezpečnost a spolehlivost výrobních procesů.

Další perspektivní oblastí je výzkum nástrojů pro efektivní analýzu a využívání dat produkovaných během výrobních procesů pro získání informací o jednotlivých produkčních procesech. Zde bude nabývat na významu pokročilá analytika využívající algoritmy umělé inteligence a vývoj komunikačních systémů v automatizovaných produkčních sítích. Související oblastí je pak výzkum v oblasti sensoriky, která napomůže řízení výrobních procesů a optimalizaci výroby a zároveň umožní propojování produkčních objektů, včetně zavádění průmyslového internetu věcí. Zvyšující se automatizace výrobních procesů a propojenost bude zároveň stupňovat nároky na kybernetickou bezpečnost výroby

a jejich jednotlivých komponent. Výzkum v oblasti vysoce integrované kybernetické bezpečnosti je další příležitostí pro český výzkum.

V oblasti pokročilých výrobních technologie existuje rovněž značný prostor pro mezinárodní spolupráci. Výzkum pokročilých výrobních technologií a procesů patří mezi prioritní témata nového programu Horizont Evropa. Konkrétně v klastru „Digitální oblast a průmysl“ bude kladen důraz na podporu digitalizace evropské ekonomiky, robotizace průmyslové výroby a využití umělé inteligence, s tím související rozvoj výpočetních kapacit a internetových sítí nebo vývoj nových a pokročilých materiálů.

### 5.3 Biotechnologie

Life-science technologie<sup>18</sup> zahrnují především průmyslové biotechnologie a medicínské biotechnologie. Průmyslové (též „bílé“) biotechnologie obsahují aplikace biotechnologií pro průmyslové zpracování a výrobu bioproduktů, chemikálií, materiálů a paliv, které využívají mikroorganismy nebo enzymy, v sektorech, jako je chemický průmysl, materiálová výroba, energetika (biopaliva), potravinářství/výživa, zdravotní péče, textilní průmysl, papírenský průmysl apod.

Další skupinu tvoří biotechnologie z oblasti lékařských a přírodních věd (též „červené“ biotechnologie), jako je genomika, genové inženýrství, buněčné a tkáňové inženýrství, syntetická biologie, biosensory, bioaktivátory, „Lab on Chip“, neurotechnologie a další.

#### Výzkumný potenciál ČR

I když počet publikací v biotechnologiích je vysoký, jejich zastoupení v celkovém počtu publikací je v mezinárodním srovnání nízké. Počet publikací zaměřených na biotechnologie v ČR navíc mírně klesá a jejich zastoupení v národním publikačním výstupu se snižuje. Citovanost publikací je mírně nad světovým průměrem, ale ve srovnání se vzorkem evropských zemí je podprůměrná. Podíl publikací vytvořených ve spolupráci s podniky se od ostatních KETs příliš neliší, ale ve srovnání s evropskými zeměmi je přibližně třetinový.

Počet patentových přihlášek zaměřených na biotechnologie je poměrně vysoký a jejich zastoupení v celkovém počtu patentových přihlášek je větší než v evropských zemích. Přihlašovatelé téměř dvou třetin patentových přihlášek jsou VO, zejména ústavy AV ČR a další výzkumné ústavy. Podíl patentových přihlášek VO je téměř třikrát vyšší než ve vzorku evropských zemí. Patentová aktivita se v ČR zvyšuje rychleji než v evropských zemích. Biotechnologie jsou zároveň KET, kde je nejnižší únik znalostí do zahraničí (tj. nejnižší podíl přihlášek s původcem z ČR je přihlašovaný podniky se sídlem v zahraničí).

Počet projektů zaměřených na VaV biotechnologií je poměrně vysoký. Také celkové náklady projektů a získaná veřejná podpora jsou ve srovnání s některými KETs poměrně vysoké. Většina projektů se účastní pouze VO. Ve srovnání s jinými KETs je v řešení projektů zapojen poměrně vysoký počet VO

---

<sup>18</sup> <https://www.futransolutions.com/biotechnology-2019-where-does-pharma-marketing-stand-in-the-middle-of-the-year/>

<https://www.forbes.com/sites/quora/2018/01/16/four-biotech-trends-to-watch-for-in-2018/#652446ba4d96>

<https://www.labitech.eu/interviews/european-biotechnology-2019/>

<https://www.3dprintingmedia.network/advanced-materials-additive-manufacturing/>

<https://medium.com/datadriveninvestor/5-biotech-trends-shaping-the-future-68279160f707>

<https://www.genengnews.com/a-lists/5-biopharma-trends-to-watch-in-2019/>

z vládního sektoru i VO z podnikatelského sektoru. Většina podniků se do řešení projektů zapojuje pouze ve spolupráci s VO (nejvíce ze všech KETs). Veřejná podpora projektům zaměřeným na biotechnologie se sice zvyšuje, ale méně, než je tomu v jiných KETs.

Zapojení do mezinárodní výzkumné spolupráce je ve srovnání s jinými KETs poněkud nižší. Podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci je mezi KETs nejnižší a ve srovnání se vzorkem evropských zemí je jejich podíl zhruba tříčtvrtinový. Také zapojení do projektů zaměřených na biotechnologie v programu Horizont 2020 je ve srovnání s jinými KETs poměrně nízké. Příspěvek, který na řešení projektů zaměřených na biotechnologie získali účastníci z ČR, je poměrně nízký. Přehled silných a slabých stránek VaV v biotechnologiích je uveden v tab. 11.

V projektech podpořených v programech účelové podpory VaV a patentových přihláškách zaměřených na biotechnologie jsou patrné následující výzkumné směry:

- biotechnologie a jejich využití ve zdravotnictví – tkáňové inženýrství, kostní tkáň, genová exprese, DNA, apod.;
- medicína a zdravotní/ farmaceutické přípravky (proteiny, enzymy, dendritické buňky, kmenové buňky, aminokyseliny, nukleové kyseliny, mastné kyseliny apod.);
- nemoci (nádorová a další onemocnění);
- lékařské technologie, regenerativní medicína, podávání léků apod.;
- analytické a měřicí metody využívané v biotechnologiích (hmotová spektroskopie, detekční sondy, zobrazování apod.);
- materiály a jejich využití (organické sloučeniny, syntetické kopolymery, bioaktivní látky, slitiny, materiály pro 3D tisk, apod.);
- povrchy a jejich úpravy (biofilmy, modifikace povrchů apod.);
- klimatická změna a životní prostředí;
- nakládání s odpady (odpadní voda, biologicky aktivní látky, biodegradace, environmentální technologie apod.);
- biomasa.

Tab. 11 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na biotechnologie

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký počet projektů a vysoká veřejná podpora projektům zaměřeným na biotechnologie</li> <li>- Vysoká aktivita VŠ i ústavů z vládního sektoru</li> <li>- Veřejná podpora získávaná VO roste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízká účast podniků v projektech zaměřených na biotechnologie</li> <li>- Nízký počet projektů řešených ve spolupráci VO a podniků (většiny projektů se účastní pouze VO)</li> <li>- Většina podniků se zapojuje do řešení projektů pouze ve spolupráci s VO – nedostatečné kapacity/zkušenosti podniků s takto zaměřeným VaV</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ve srovnání s ostatními KETs průměrná citovanost (mírně nad světovým průměrem citovanosti)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- V mezinárodním srovnání velmi nízké zastoupení publikací zaměřených na biotechnologie v celkovém počtu publikací - VaV se na oblast Biotechnologií soustředí méně než v zahraničí</li> <li>- Publikační aktivita v ČR klesá</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- I když je citovanost nad světovým průměrem, za evropskými zeměmi zaostává – kvalita publikací je v těchto zemích vyšší</li> <li>- I když je podíl publikací ve spolupráci s podniky na národní úrovni průměrný, za evropskými zeměmi zaostává</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoká patentová aktivita, v mezinárodním srovnání vysoké zastoupení patentových přihlášek zaměřených na biotechnologie v celkovém počtu přihlášek – relativně silný aplikovaný VaV s potenciálem pro využití v aplikacích</li> <li>- Patentová aktivita roste, nárůst je vyšší než v zahraničí – VaV aktivity s výsledky využitelnými v aplikacích se zvyšují</li> <li>- Vysoký podíl VO na patentové aktivitě – potenciál VO pro aplikovaný VaV</li> <li>- Nízký únik znalostí do zahraničí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízký podíl podniků na patentové aktivitě – v podnicích vzniká méně poznatků s vyšším potenciálem pro aplikace</li> </ul>
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Více než třetina podniků se účastnila více než jednoho projektu – existují podniky s mezinárodně konkurenceschopným VaV v Biotechnologiích</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízký podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci – vazby se zahraničními pracovišti nejsou dostatečně rozvinuty</li> <li>- Ve srovnání s jinými KETs nižší příspěvek získaný na řešení projektů v programu Horizont 2020</li> <li>- Nižší počet podniků zapojených v řešení projektů v programu Horizont 2020</li> </ul>

## Aktuální světové trendy

### Environmentální technologie

Biotechnologie se prolíná širokou škálou sektorů. Označuje proces výroby šetrný k životnímu prostředí. Nejedná se tedy o trend vycházející z charakteru komodit, ale o trend vycházející ze způsobu produkce a využití. Velký potenciál do budoucna má biotechnologie zaměřená na průmysl. Předpokládá se, že do roku 2020 bude více než 20 % všech výrobků zpracovávaných v rámci chemického průmyslu vyráběno za použití biotechnologických postupů.

- Biosenzory
- Poloumělá fotosyntéza
- Biologický materiál pro textilní průmysl
- Využívání bioproduktů pro syntézu chemických specialit
- Umělá fotosyntéza
- Bioluminiscence
- Sběr energie
- Mikrobiální palivové články
- Fotosyntetické palivo



### Úprava genomu a genová terapie

Úprava genomu je lékařský postup v genetickém inženýrství, při kterém je DNA organismu nahrazena nebo upravena. Aplikace úpravy genomu umožní řešit specifické zdravotní onemocnění a syndromy. Očekává se, že další posun v úpravě genomu přinese další kroky ve zlepšování lidského těla. Vývojově se dále bude posouvat úprava genomu díky metodě CRISPR. Rozvoj metody a její další očekávané rozšiřování umožní její aplikace v potravinářském a zemědělském průmyslu tak, aby bylo možné modifikovat potraviny a rostliny tak, aby bylo možné zajistit bezpečné a stabilní zásobování na globální úrovni. Významný vývoj lze očekávat také v oblasti genové terapie. Hlavním trendem je vývoj genové terapie v oblasti neurověd. Tento trend by mohl posunout léčbu neurodegenerativních a neuropatogenních onemocnění. Využívat se budou zejména léky na bázi RNA.

- Zapisování biologických informací
- Přenos informací z DNA
- Umělé buňky
- Bio Brick
- Syntetická biologie
- Škálovatelná precizní medicína
- Screening DNA

### Využití digitálních technologií

Významným trendem je vývoj řešení pro interakci digitální výrobků s lidským tělem. Tato řešení tak kombinují aditivní výrobu, výpočetní design, syntetickou biologii a materiálového inženýrství.

- Bioelektronický plast
- Exoskelet
- Nanoboti
- Chytré tetování
- Neuromorfní čip
- Rozhraní mozku a stroje
- Rozpoznávání molekul
- Laboratoř na čipu
- Bioinformatika
- Biologicky rozložitelné senzory

### Nanobiotechnologie a nanomedicína

Využití nanotechnologií v biologických oblastech se neustále vyvíjí a má široké spektrum uplatnění již dnes. Zahrnuje oblasti od diagnostiky s přesahem do nano a optoelektroniky a fotoniky až po cílený transport léčiv na molekulární úrovni. Klíčové jsou také při výzkumu činnosti lidského mozku. Vývoj a rozšíření nanobiotechnologií se očekává též v oblasti zpracování potravin a zemědělství (výroba inteligentních obalů, nových typů potravin, nové způsoby používání pesticidů apod.). Očekává se vývoj nových optických senzorů, fotoluminiscenčních materiálů, katalyzátorů, léčiv a obalových materiálů.

- Aktivní a inteligentní obaly
- Nanodiagnostika
- Nanodistribuce léčiv a nanonosiče
- Optické biosenzory
- Molekulární robotika
- Fotoluminiscenční nanomateriály

### Příležitosti pro ČR

ČR má dobré předpoklady pro zachycení trendů v oblasti biotechnologií, a to jak průmyslových biotechnologií, tak i biotechnologiích z oblasti lékařských a přírodních věd. Potenciál je zejména ve veřejném výzkumu, kde působí značný počet výzkumných pracovišť ve VŠ i vládním sektoru.

V souvislosti s klimatickou změnou a ochranou životního prostředí představuje významnou příležitost VaV zaměřený na technologie, které jsou environmentálně šetrné a snižují negativní dopady výroby (resp. lidské činnosti) na životní prostředí. Výhodou ČR je silný VaV v oblasti přírodních věd, který je soustředěn zejména ve veřejném sektoru, i existence resortních pracovišť realizujících aplikačně zaměřený VaV, která působí v oblasti zemědělství, ochrany krajiny a ekologie. Problematika



environmentálních technologií nabývá na významu i souvislosti s tím, že ČR patří mezi země s vysokou energetickou náročností výroby, která má negativní dopady na životní prostředí.

Další perspektivní oblastí výzkumu je genomika a genová terapie. Příležitostí je zejména využití výzkumných kapacit nacházejících se ve VŠ i výzkumných pracovištích vládního a neziskového sektoru. Výhodou pro realizaci takto zaměřeného výzkumu je i existence výzkumných center disponujících moderní výzkumnou infrastrukturou, které byly v uplynulém období vybudovány s využitím prostředků ESIF. O vysokém potenciálu výzkumného sektoru svědčí i intenzivní zapojení těchto institucí v projektech VaV zaměřených mj. na tkáňové inženýrství, genovou expresi, dendritické a kmenové buňky apod. Vzhledem k tomu, že absorpční potenciál podniků pro výsledky takto zaměřeného výzkumu nebude příliš vysoký, je příležitostí podporovat vznik nových firem založených na poznatcích VaV a jejich počáteční rozvoj.

ČR má dobré předpoklady pro VaV systémů s využitím ve zdravotní péči, v nichž budou integrovány progresivní digitální technologie. Zde je příležitostí podporovat náročné multidisciplinárně zaměřené projekty, ve kterých budou zapojeny nejen výzkumné instituce působící v lékařských vědách, ale i VO a výzkumně aktivní podniky působící v elektronice a optoelektronice, digitálních technologiích a softwaru i podniky z oblasti přístrojové techniky.

Další velmi perspektivní oblastí je využívání nanomateriálů a nanotechnologií v biotechnologiích a medicíně. Výhodou ČR je na jedné straně silný VaV v lékařských a přírodních vědách, a rozvinutý VaV v oblasti nanomateriálů a nanotechnologií na straně druhé. Jelikož lze očekávat, že nanobiotechnologie a zejména nanomedicína budou mít i přesah do fotoniky a optoelektroniky, příležitostí z tohoto pohledu je zapojení excelentních multidisciplinárně zaměřených výzkumných center pokrývajících VaV v širokém spektru relevantních disciplín, jako jsou nanotechnologie, materiálové vědy i lékařské a přírodovědně zaměřené obory.

## 5.4 Umělá inteligence

Pro termín Artificial Intelligence (AI)<sup>19</sup> – umělá inteligence neexistuje jedna přesná definice. Obecně se o AI hovoří jako o souboru algoritmů, výzkumných metod a jejich aplikací, a to v různém stupni obecné aplikovatelnosti. Existují „humanitně“ orientované definice, kdy je AI volně definována jako počítačový systém, který vykazuje chování, které je obvykle považováno za vyžadující inteligenci. Další definují AI jako systém schopný racionálně řešit složité problémy nebo přijmout vhodná opatření k dosažení svých cílů v jakémkoli reálném světě, se kterým se setkávají. Pro účely této studie jsme nepoužívali volné definice, zaměřili jsme se na AI, která je definována výzkumnými přístupy, metodami a algoritmy.

---

<sup>19</sup> [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_1055.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf)

<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/artificial-intelligence-ai4eu-project-launches-1-january-2019>

<https://appinventiv.com/blog/ai-technology-trends/>

<https://hackernoon.com/top-10-trends-in-artificial-intelligence-that-will-dominate-2019-48a07e0f5fe6>

<https://enterpriseproject.com/article/2018/12/ai-trends-2019?page=1>

<https://www.cbinsights.com/research/ai-trends-2019/>

<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/ai-automation-and-the-future-of-work-ten-things-to-solve-for#part4>

<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/ai-automation-and-the-future-of-work-ten-things-to-solve-for#part4>

<https://techinsight.com.vn/language/en/10-artificial-intelligence-trends-to-watch/>

AI je dále vymezena z hlediska její aplikovatelnosti a rozsahu úloh, které řeší. V současnosti je nasazována tzv. specializovaná AI. Ta řeší konkrétní problém, je na něj připravena a mimo tento problém nefunguje a není schopna žádného jiného autonomního rozhodování. Na druhé straně je obecná AI, která se blíží chápání problémů tak, jak by je vnímal člověk.

### Výzkumný potenciál ČR

Domácí VaV se zatím na problematiku umělé inteligence zaměřuje poněkud méně než v zahraničí, o čemž svědčí v mezinárodním srovnání nízké zastoupení vědeckých publikací zaměřených na umělou inteligenci v národním výstupu. Citovanost, a tedy i kvalita, publikací je sice na úrovni světového průměru, ale ve srovnání s vyspělými evropskými zeměmi výrazně zaostává. Orientace VaV na tuto oblast se však postupně zvyšuje a počet publikací zaměřených na tuto problematiku výrazně narůstá.

Také veřejná podpora projektů zaměřených na VaV umělé inteligence výrazně narůstá. Z VO byly do řešení projektů nejvíce zapojeny VŠ, VO z vládního i podnikatelského sektoru byly zapojeny daleko méně. Jelikož je počet VO, které byly zapojeny ve společných projektech, je nižší než v jiných KETs, v ČR zatím působí ve srovnání s jinými technologickými oblastmi relativně omezený počet VO realizujících VaV v této oblasti. Do projektů se však poměrně aktivně zapojují podniky, které tyto projekty realizují většinou ve spolupráci s VO.

Patentová aktivita je v mezinárodním srovnání nízká - zastoupení patentových přihlášek subjektů z ČR zaměřených na problematiku umělé inteligence v jejich celkovém počtu je ve srovnání s evropskými zeměmi přibližně poloviční. Počet patentových přihlášek s přihlašovatelem z ČR se navíc snižuje a klesá i jejich zastoupení v celkovém počtu patentových přihlášek ČR. Zastoupení patentových přihlášek s původcem z ČR zaměřených na umělou inteligenci je v mezinárodním srovnání nadprůměrné, což svědčí o tom, že v ČR je poměrně vysoký potenciál lidských zdrojů pro takto zaměřený aplikovaný VaV.

V mezinárodním srovnání nízká patentová aktivita souvisí s tím, že domácí VaV se na tuto oblast zatím zaměřuje poněkud méně než v zahraničí. V mezinárodním srovnání nízký počet patentových přihlášek VO a podniků z ČR souvisí i s tím, že přibližně tři čtvrtiny patentových přihlášek zaměřených na umělou inteligenci, na jejichž vzniku se jako původci podíleli pracovníci z ČR, je přihlašováno podniky se sídlem v zahraničí. Tento „unik“ znalostí se navíc zvyšuje, neboť podíl přihlášek s přihlašovatelem z ČR klesá.

Zapojení do mezinárodního VaV a mezinárodních projektů zaměřených na problematiku umělé inteligence je ve srovnání s ostatními KETs poněkud nižší a je i nízké ve srovnání se vzorkem evropských zemí. To naznačuje, že vazby domácích VO se zahraničními pracovišti nejsou zatím dostatečně rozvinuté. Přehled silných a slabých stránek VaV v oblasti umělé inteligence je uveden v tab. 12.

V projektech podpořených v programech účelové podpory VaV a patentových přihláškách zaměřených na oblast umělé inteligence jsou patrná následující významná témata VaV:

- metody, postupy a nástroje využívané v umělé inteligenci (strojové učení, neuronové sítě, multiagentní systémy, fuzzy logika, soft computing, hluboké učení, teorie her a další);
- algoritmy a softwarové nástroje;
- využití metod a nástrojů umělé inteligence v aplikacích:
  - o zpracování a analýza obrazových informací, počítačové vidění;
  - o analýza a rozpoznávání hlasu a lidské řeči, syntéza řeči
  - o velká data a analýza textových dat (data mining)
  - o kyberfyzikální problémy
  - o podpora rozhodování apod.
  - o identifikace osob a předmětů, autentizace ( biometrika a otisky prstů apod.), kontrola pohybu;
- robotika a využití robotických zařízení;

- autonomní vozidla a doprava.

Tab. 12 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na problematiku umělé inteligence

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velmi vysoký nárůst veřejné podpory – VaV zaměřený na AI posiluje</li> <li>- Vysoká veřejná podpora získaná podniky, výše podpory získaná podniky roste – vyšší aktivita podniků ve srovnání s jinými KETs (ve VaV nebo ve využívání výsledků VaV)</li> <li>- Vysoký počet projektů řešen ve spolupráci VO a podniků, většina podniků byla zapojena v projektu s VO – rozvinutá spolupráce mezi podniky a VO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší počet realizovaných projektů a nižší veřejná podpora na projekty zaměřené na umělou inteligenci – menší „šíře“ oboru</li> <li>- Omezený počet subjektů (i VO) realizujících takto zaměřený VaV ve srovnání s jinými KETs</li> <li>- Nízká aktivita VO z podnikatelského a vládního sektoru – ve většině těchto VO není realizován VaV zaměřený na AI</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký nárůst počtu publikací – VaV aktivity VO v této oblasti posilují</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízká publikační aktivita VO, v mezinárodním srovnání nižší zastoupení publikací zaměřených na umělou inteligenci v národním výstupu – VaV ve VO se na problematiku umělé inteligence soustředí méně než v zahraničí</li> <li>- Citovanost publikací sice odpovídá světovému průměru, ale ve srovnání s evropskými státy je výrazně nižší – kvalita publikací a do jisté míry i realizovaného VaV je ve srovnání s těmito státy nižší</li> <li>- V mezinárodním srovnání nízký podíl publikací vytvořených ve spolupráci s podniky – vazby s podniky nejsou tak intenzivní jako v zahraničí</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativně vyšší podíl patentových přihlášek přihlašovaných VŠ – potenciál pro tvorbu aplikačně zaměřených výsledků ve VŠ</li> <li>- Vysoký potenciál ve výzkumných pracovnících působících v podnicích v zahraničí nebo v pobočkách zahraničních firem v ČR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízký počet patentových přihlášek VO a podniků z ČR, v mezinárodním srovnání nízké zastoupení patentových přihlášek v KET v celkovém počtu přihlášek</li> <li>- Počet patentových přihlášek klesá</li> <li>- Vysoký únik znalostí do zahraničí, který se postupně zvyšuje</li> </ul>
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ve více než polovině projektů zaměřených na AI s účastí ČR realizovaných v programu Horizont 2020 byly zapojeny podniky</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- V národním a zejména mezinárodním srovnání nižší podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci – vazby se zahraničními pracovišti nejsou dostatečně rozvinuty</li> <li>- Nižší počet účastníků v projektech rámcového programu Horizont 2020</li> <li>- Nízký podíl podniků na příspěvku EK – nevýznamná role podniků v projektech</li> </ul>

## Aktuální světové trendy

### *AI jako prostředek k posilování digitální transformace*

Umělá inteligence (AI) bude vytvářet předpoklady ke zrychlování procesu digitalizace a rychlejší transformaci produkčních a obchodních procesů k chytrým řešením. Aplikace AI a její efektivní využívání bude hlavním faktorem růstu konkurenceschopnosti subjektů. Zřejmý je posun o větší přiblížení AI pro koncové spotřebitele. Snahou je vyvíjet jednodušší a uživatelsky přívětivější aplikace. Nové automatizované platformy strojového učení umožňují laikům vytvářet a zavádět jednoduché modely a aplikace založené na AI. Očekává se, že tyto modely a aplikace budou v blízké budoucnosti využívány ke každodenní práci.

- Cloud AI
- Automatizovaná tvorba virtuálních prostředí
- Strojové učení v reálném čase
- Porozumění přirozenému jazyku
- Porozumění strojovému čtení
- Generování přirozeného jazyka
- Rozpoznávání řeči
- Robotický roj
- Neuromorfní čip

### *AI jako bezpečnostní prvek*

AI a zejména strojové učení umožní řešení kybernetických hrozeb a zvyšování bezpečnosti obecně. Očekává se, že AI bude vyhodnocovat využívání kybernetické bezpečnosti a navrhopat nová řešení zabezpečení. Předpokládá se, že vzhledem k nutnosti analýzy velkého množství dat bude AI, vzhledem k jejímu předpokládanému výkonu, velmi efektivní. V nejbližších letech se očekává využití AI jako nástroje kybernetické ochrany v oblasti ochrany automatizovaných provozů. V delším časovém horizontu se očekává automatizovaná kybernetická bezpečnost fungující na bázi AI.

- Inteligentní ochrana osobních dat
- Algoritmy pro rozhodování AI
- Blockchain

### *AI jako prostředek k precizní analýze velkých dat*

Využití AI v oblasti analýzy se bude stále zvyšovat. Důvodem je zejména neustálé zvyšování objemu dat. Očekává se, že AI bude data nejen analyzovat, ale i spravovat. V tomto smyslu se tedy očekává zejména rozvoj strojového a hlubokého učení. Nebude se ale jednat o jednorázové analýzy, rekoalice či vyhledávání, ale o náročné datové operace, organizaci dat a samostatné modelování úkolů, což bude mít vliv na novou formu systému správy dat.

- Čipové sady pro AI
- Hluboká neuronová síť

### *AI jako nástroj pro lékařské zobrazování a diagnostiku*

Využití AI ve zdravotnictví se bude zvyšovat. Na straně spotřebitele pronikání chytrých telefonů a pokročilé rozpoznávání obrázků mění telefony na výkonné domácí diagnostické nástroje. Jedním z nejlivnějších trendů AI bude schválení a přijetí AI pro lékařské a diagnostické aplikace.

- Hyperspektrální zobrazení

### *Prediktivní údržba*

Algoritmy prediktivní údržby používají neustálý sběr dat k předpovídání poruch zařízení dříve, než k nim dojde. Díky klesajícím nákladům na senzory, zdokonalením umělé inteligence a posunu směrem k hraničním výpočetním technikám je prediktivní údržba stále dostupnější.

- Prediktivní strojové vidění
- Mnohem rychlejší hluboké učení
- Průběžné strojové učení

### *Konvergence AI a dalších technologií a personalizace AI*

Produkty založené na AI budou stále častěji pronikat do oblasti běžné produkce. Zároveň bude nadále růst trend personalizace koncových produktů. Z tohoto důvodu lze předpokládat rozvoj customizovaných AI aplikací v personalizovaných koncových produktech. Tento vývoj bude podpořen přístupem výrobních společností k technologiím strojového učení, velkých dat a prediktivní analytiky.

- Virtuální asistenti
- Hybridní vidění člověka a počítače
- Generativní sítě AI
- Autoregresivní kvantilní sítě
- Chatbots
- Bezdotykové rozpoznávání gest

### **Příležitosti pro ČR**

Zachycení trendů souvisejících s digitální transformací a rozvojem technologií umělé inteligence je s ohledem na strukturu hospodářství ČR jedním z klíčových faktorů pro zajištění mezinárodní konkurenceschopnosti v budoucnosti. V těchto souvislostech je významnou příležitostí VaV nových metod, postupů a nástrojů využívaných v umělé inteligenci, jako je například strojové učení, neuronové sítě, fuzzy logika, hluboké učení a další, jejichž využívání napomůže k transformaci produkčních a obchodních procesů směrem k chytrým řešením, kde bude vytvářena vyšší přidaná hodnota, což se odrazí na růstu mezinárodní konkurenceschopnosti podniků.

V souvislosti s robotizací je příležitostí i VaV algoritmů a programových nástrojů pro zpracování a analýzu informací, podporu rozhodování, počítačové vidění, rozpoznání, analýza a syntézu řeči či řešení kyberfyzikálních problémů. Příležitostí je i vývoj algoritmů a technik pro prediktivní údržbu. Vhodné podmínky jsou i pro VaV algoritmů a nástrojů využívajících prvky umělé inteligence pro pokročilou analýzu velkých dat (data-mining), jejíž význam se bude v souvislosti s prudkým nárůstem informací a objemu dat neustále zvyšovat.

Potenciál pro VaV zaměřený na využití umělé inteligence je i v dalších technologických segmentech. S ohledem na narůstající hrozby v oblasti kybernetické bezpečnosti je významnou příležitostí například VaV nových řešení pro zabezpečení síťové komunikace, datových úložišť, kybernetické ochrany automatizovaných provozů, která budou využívat technologie umělé inteligence.

Perspektivní oblastí je i využití umělé inteligence ve zdravotnictví, jako je například pokročilé rozpoznávání obrazu či využití umělé inteligence pro lékařské a diagnostické aplikace. Příležitostí do budoucna může být i to, že umělá inteligence bude stále více pronikat do oblasti běžné produkce i života společnosti. I zde má ČR dobré předpoklady, neboť v ČR působí značný počet výzkumných pracovišť i podniků jak v oblasti elektroniky a digitální techniky, tak i v oblastech, kde budou tyto technologie využívány, jako je například zdravotnictví, strojírenství, automotive a doprava, zemědělství, potravinářství a další.

Z analýzy však vyplynulo, že nové znalosti, na jejichž vzniku se podíleli pracovníci z ČR, jsou ve značné míře využívány v zahraničních podnicích. Z tohoto důvodu je významnou příležitostí i podpora vzniku nových firem založených na poznatcích VaV v oblasti umělé inteligence. V programech zaměřených na problematiku umělé inteligence je proto zapotřebí podporovat také realizaci náročných VaV projektů, do kterých budou zapojena přední výzkumná pracoviště působící v této oblasti (včetně takto

zaměřených výzkumných center disponujících kvalitní infrastrukturou), kde budou vznikat poznatky s potenciálem pro disruptivní inovace, což vytvoří předpoklady pro dynamický rozvoj nově založených subjektů.

## 5.5 Fotonika a Mikro- a nanoelektronika

Fotonika<sup>20</sup> je považována za průřezovou technologii zahrnující generaci světla, jeho vedení, manipulaci se světlem, detekci světla, zesilování světla a jeho využívání v aplikacích. Za „světlo“ je chápáno nejen viditelné světlo, ale i mikrovlnná část spektra, ultrafialová část spektra a rentgenové záření (paprsky X). Z technologického hlediska fotonika zahrnuje celou řadu oblastí, jako jsou například fyzikální obory, nanotechnologie, materiálové vědy a elektronika.

Pod pojmem Mikro- a nanoelektronika<sup>21</sup> jsou chápány jak polovodičové komponenty, tak i vysoce miniaturizované elektronické subsystémy a jejich integrace do větších systémů a produktů, jako jsou například čipy, mikroprocesory (resp. komponenty pro zpracování informace), počítačové paměti, mikro-elektro-mechanické systémy (MEMS) apod. Termín nanoelektronika je široce definován a lze do něho zahrnout všechny oblasti elektroniky se strukturou na úrovni nanometrů. V užším smyslu lze nanoelektroniku omezit na technologie založené na křemíku (resp. polovodičích) a na struktury s rozměry menšími než 100 nm. Do nanoelektroniky lze zařadit i transistorové součástky s takovými rozměry, kdy se uplatňují jejich kvantově-mechanické vlastnosti. Mezi mikroelektronikou a nanoelektronikou není pevná hranice.

### Výzkumný potenciál ČR

I když je publikační aktivita ve fotonice a mikro-/nanoelektronice poměrně vysoká, zastoupení takto zaměřených publikací v celkovém počtu publikací je ve srovnání s technologicky vyspělými zeměmi přibližně poloviční. Zastoupení publikací ve fotonice a mikro-/nanoelektronice se však mírně zvyšuje, a tedy zaměření domácího VaV na tuto perspektivní oblast se postupně zvyšuje.

Citovanost publikací, a tedy i kvalita realizovaného výzkumu, je přibližně na hodnotě světového průměru. Ve srovnání s technologicky vyspělými zeměmi je však citovanost poněkud nižší (cca 80 %

---

<sup>20</sup> <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/12/2525>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8346955>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8456658>

<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/10/2294/htm>

<https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Europes-age-of-light-Photonics-Roadmap-C1.pdf>

<https://www.nature.com/articles/s41566-019-0532-1>

<https://world-of-photonics.com/en/newsroom/downloads/sustainability-study/>

<sup>21</sup> <http://www.grenoble-inp.fr/en/research/what-does-the-future-hold-for-the-microelectronics-industry>

<https://www.3dincites.com/2019/05/ectc-2019-will-go-back-to-basics-to-plan-for-the-future-of-microelectronics-and-packaging/>

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/microelectronics>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7756088>



průměru vybraných evropských zemí<sup>22</sup>). Podíl publikací vytvořených ve spolupráci s partnery z průmyslu je nízký nejen v národním, ale zejména v mezinárodním srovnání.

Patentová aktivita ve fotonice a mikro-/nanoelektronice je v mezinárodním srovnání nadprůměrná. Zastoupení fotoniky a mikro-/nanoelektroniky v celkovém počtu přihlášek se v ČR zvyšuje rychleji než v zahraničních zemích. Ve srovnání se zahraničím se na tvorbě patentových přihlášek daleko více podílejí VO (zejména VŠ).

Veřejná podpora projektům VaV zaměřeným na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku je poměrně vysoká. V letech 2015 – 2018 podpora poskytnutá projektům řešícím problematiku fotoniky a mikro-/nanoelektroniky přesáhla 5 mld. Kč. Největším příjemcem podpory byly VŠ, významný podíl podpory získaly také VO vládního sektoru. Veřejnou podporu získal také vysoký počet podniků (téměř 170 podniků), jejich podíl na veřejné podpoře byl však poměrně nízký. Celková veřejná podpora mezi obdobími 2015 - 2016 a 2017 – 2018 vzrostla o polovinu, což je poněkud méně než v průměru za všechny KETs.

Zapojení do mezinárodního VaV je ve srovnání s jinými KETs poměrně vysoké, podíl publikací vzniklých v mezinárodní spolupráci se blíží průměru v porovnávaných evropských zemích. Subjekty z ČR se také intenzivně zapojovaly do projektů řešených v programu H2020, které byly zaměřeny na problematiku fotoniky a mikro-/nanoelektroniky. Přehled silných a slabých stránek VaV v oblasti fotoniky a mikro-/nanoelektroniky je uveden v tab. 13.

V projektech podpořených v programech účelové podpory VaV a patentových přihláškách zaměřených na oblast fotoniky a mikro-/nanoelektroniky jsou patrná následující významná témata VaV:

- materiály pro fotoniku, (nano)elektroniku a optoelektroniku a jejich vlastnosti (monokrystaly, tenké vrstvy, nanomateriály, kvantové tečky, vodivé polymery, elektrolyty, materiály pro fotovoltaiku a další);
- komunikace a komunikační prvky (vlákna a světlovody, kvantová komunikace apod.);
- optické a optoelektronické prvky a zařízení (solární články, optické sensory apod.);
- světelné (optické) zdroje, lasery, kvantové zdroje, lampy, osvětlení, apod.;
- elektronické prvky (tištěné spoje/desky, kondenzátory a další);
- měřicí metody a přístrojová technika (elektronové mikroskopy, magnetooptika, hmotová spektrometrie, zpracování signálu apod.);
- numerické metody (simulace, modelování apod.).

Tab. 13 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na fotoniku a mikro-/nanoelektroniku. Zdroj: studie [2]

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poměrně vysoká veřejná podpora VaV projektům ve Fotonice a mikro-/nanoelektronice</li> <li>- Vysoký počet podniků získávajících veřejnou podporu v projektech VaV</li> <li>- Značný potenciál ve VO, zejména ve VŠ a výzkumných ústavech AV ČR (FÚ AV ČR)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší podíl veřejné podpory získaný podniky z celkové podpory poskytnuté na řešení projektů</li> <li>- Nižší nárůst veřejné podpory projektů ve srovnání s jinými KETs (zejména v případě podniků)</li> <li>- Nízká účast VO podnikatelského sektoru v realizovaných projektech</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	

<sup>22</sup> Členské státy EU-15 (včetně Spojeného království), Norsko a Švýcarsko

<ul style="list-style-type: none"> <li>- VaV ve VO zaměřený na problematiku fotoniky a mikro-/nanoelektroniky se zvyšuje (VaV se více zaměřuje na tuto oblast)</li> <li>- V národním srovnání vyšší zapojení do mezinárodní výzkumné spolupráce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- VaV se v ČR ve srovnání se zahraničím na problematiku fotoniky a mikro-/nanoelektroniky zaměřuje zatím poněkud méně.</li> <li>- Nižší kvalita publikací, a do jisté míry i realizovaného VaV.</li> <li>- Nižší spolupráce VO s aplikačním sektorem</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- V mezinárodním srovnání relativně vysoké zastoupení Fotoniky a mikro-/nanoelektroniky v celkovém počtu patentových přihlášek</li> <li>- Relativně vyšší počet přihlášek VO (potenciál VO pro tvorbu poznatků s využitím v aplikacích)</li> </ul>	
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoké zapojení subjektů z ČR do projektů H2020</li> <li>- Rozvinutá spolupráce výzkumných týmů z ČR se zahraničními partnery</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší účast podniků v projektech programu H2020</li> </ul>

## Aktuální světové trendy

### *Kvantová optika*

Využití poznatků kvantové fyziky je již nyní poměrně široké a tato oblast se stále rychle rozvíjí a objevují se nové aplikace a využití kvantových technologií. Jejich aplikace v souvislosti s fotonikou slibuje zejména mnohem výkonnější a rychlejší komunikační a výpočetní technologie, včetně bezpečnějších a obtížně prolomitelných bezpečnostních protokolů a využití kvantových technologií v kryptografii.

- Kvantové počítače
- Kvantové senzory
- Technologie Kvantové tečky
- Kvantová kryptografie

### *Transfer a uchování dat*

Digitální konektivita a okamžitý přístup k informacím je jedním ze základních pilířů vysoké produktivity v mnoha segmentech lidské činnosti. Optická řešení jsou již standardní součástí datových a komunikačních řešení, avšak nové aplikace počítají s výraznější škálovatelností (hyper-scalability), výrazně nižší spotřebou energie, násobně větší kapacitou a možností propojit řadu odlišných přístrojů a zařízení. Optická řešení směřují ke specifickým bezdrátovým sítím s využitím jak v domácnostech, tak ve vesmíru. Rozvoj optických technologií v ICT zvýší nejen celkovou kapacitu a efektivitu, ale považuje se též za klíč k řešení environmentálních výzev této stále energeticky náročnější oblasti lidské činnosti.

- Nová optická datová úložiště
- Laserová komunikace a přenos dat

### *Zobrazovací technologie a metrologie*

Pokročilá fotonika prostřednictvím zobrazovacích technologií a senzorů umožňuje rozvoj vysoce senzitivní personalizované medicíny propojené s každodenní osobní péčí o vlastní zdraví. Očekává se další rozvoj technologií, které významně posunou diagnostické (např. mobilní a miniaturní biokompatibilní senzory, rozvoje možnosti proteomiky v reálném čase) i léčebné a regenerativní metody (např. obnova buněk). Vývoj a aplikace technologií směřují k vytváření komplexnějších modulárních systémů, které

- Pokročilé displeje
- Spektroskopické zobrazování
- Optické biosenzory



umožní individuální, bezúdržbová, recyklovatelná (případně bio degradovatelná) a cenově dostupná multi-účelová uživatelská řešení.

### *Produkční technologie*

Jednou z velkých výzev současného průmyslu je rozvoj a aplikace technologií, které umožní výrazně omezit environmentální dopady výroby. Fotonika je považována za vlajkovou loď řešení nejen této velké výzvy. Nejedná se tedy jen o nové aplikace laserů, nebo dílčí využití možností kvantových technologií, senzorů a zobrazovacích metod, ale jde především o propojení celého výrobního a hodnotového řetězce za využití technologií z oblasti fotoniky, které umožní výraznou flexibilitu a reaktivitu ve výrobě, okamžitou kontrolu kvality při zachování metod nedestruktivního testování, rychlou zpětnou vazbu a celkovou kontrolu procesů.

- Spintronika
- Holografický 3D tisk
- Fotoluminiscenční nanomateriály

### *Pokročilé displeje*

Vývoj pokročilých zobrazovacích technologií reaguje na technologie, které využívají infrastrukturu pro zobrazení digitálního obrazu (zejména virtuální realitu). Vysoce inovativní trendy je možné sledovat v oblasti technologie LCD s vysokými charakteristikami zobrazení, technologie micro-LED s vysokým rozlišením pro zobrazovací zařízení, robustní technologie LCD displejů, technologie dotykových panelů pro aplikace technologie human-machine interface, či bezdrátové zobrazování heads-up pro průmyslové i osobní aplikace.

- Mini/Micro/NanoLED
- Technologie Quantum Dot
- Flexibilní displej
- Holografický displej

### *Bezdrátové nabíjení*

V současnosti bezdrátové nabíjení funguje na principu elektromagnetické indukce mezi dvěma cívkami. Pokud je podložka připojena ke zdroji, vytváří cívka magnetické pole. V nabíjeném zařízení je pak druhou cívkou indukován střídavý elektrický proud, který je následně usměrněn a přiveden do baterie nabíjeného zařízení. Nejrozšířenějším standardem bezdrátového nabíjení je Qi, které obsahuje i komunikační centrum – to například rozpozná úroveň nabití zařízení ležícího na podložce.

- Bezdrátové nabíjení na dlouhé vzdálenosti
- Induktivní bezdrátové nabíjení

### *Nová generace ukládání dat*

Ukládání a správa velkých souborů dat se stalo klíčovým pro vznik větších IT systémů. Velká data je potřeba efektivně a spolehlivě ukládat. Next-Generation Storage je pokročilé portfolio produktů a řešení, které podporuje ukládání dat koncových uživatelů, včetně IT společností, automobilového průmyslu, datových center atd., které se s rostoucí množstvím velkých a nestrukturovaných potýkají s mnoha problémy a jejich správou. Obrovské množství generovaných dat musí být snadno přístupné a analyzovatelné. Úložiště nové generace nabízí spolehlivá, zabezpečená a škálovatelná řešení.

- Přímě připojené úložiště
- Síťové úložiště (Net-Attached)

### Brain-computer interface

Rozhraní propojující mozek s počítačem (BCI). Na BCI je možné pohlížet jako na nástroj, ve kterém akce jedince neprocházejí obvyklými výstupy z mozku. BCI umožňuje díky nasnímaným signálům z mozku provádět vnější aktivitu. Jde o přímou komunikační cestu mezi mozkem a externím zařízením. BCI systémy jsou často zaměřeny na pomoc, rozšíření nebo opravu lidské kognitivní či smyslově-motorické funkce.

Praktické využití lze nalézt v mnoha aplikacích, např. rychlé odpovědi na jednoduché otázky, převod myšlenek na text, ovládání prostředí na monitoru a v neposlední řadě provoz neuro-protéz, které se zaměřují na obnovu poškozeného sluchu, zraku a pohybu.

- Systémy pro převod řeči
- Virtuální končetina
- Neuroprotetické náhrady

### Flexibilní a nositelná elektronika

Jako nositelná elektronika (neboli wearables) se označují miniaturizovaná elektronická zařízení, která jsou navržena tak, aby mohla být běžně nošena člověkem. Zatímco mobilní zařízení lze také nosit, součástí produktů nositelné elektroniky je návrh nějakého způsobu nošení (upevnění na tělo, část oblečení, případně je oblečení navrženo spolu s elektronickým zařízením).

Flexibilní elektronika je technologie uplatnitelná v širokém spektru oblastí. Její využití roste s vývojem internetu věcí a s ním spojenými senzory, mikropočítači a chytrou elektronikou aplikovatelnou i na lidské tělo. Klasický systém pevné konstrukce tak už v mnoha případech nelze použít, minimálně z pohledu ergonomie. Díky flexibilitě lze totiž chytře vytvořit i nové designy, které budou tenčí a lepší. V současné době se vyvíjí ohebné tranzistory, které slouží pro stavbu komplexnějších čipů, mezi které patří procesory, paměti, ale i senzory. Tranzistory jsou tvořeny jedнокrystalovou křemíkovou nanomembránou, která je umístěná na jednom kusu ohebného plastového substrátu. Většina chytrých objektů, které budeme v budoucnu nosit nebo spojovat s naším tělem, budou muset být flexibilní a z důvodu velikosti bude nutné nechat tu nejdůležitější aktivní část, která bude zahrnovat elektroniku a fotoniku. Technologie je škálovatelná i pro výkonnou elektroniku.

- Flexibilní elektronika v biomedicínských aplikacích
- Epidermální augmentační zařízení

### Příležitosti pro ČR

V ČR existuje značný potenciál pro další rozvoj v oblasti fotoniky a mikro/nanoelektroniky, což vytváří předpoklady pro zachycení klíčových trendů v této technologické oblasti. Výhodou je značně rozvinutá znalostní základna, moderní infrastruktura umožňující náročný VaV oblasti fotoniky a mikro/nanoelektroniky (vybudovaná zejména z prostředků ESIF) i dostatečný aplikační potenciál podniků působících v relevantních odvětvích. VaV v této perspektivní technologické oblasti má v ČR dlouhou tradici a existují zde pracoviště realizující v mezinárodním srovnání kvalitní výzkum i aplikačně zaměřená výzkumná a vývojová centra. Výhodou je i poměrně intenzivní zapojení některých pracovišť do mezinárodního výzkumu.

Značný potenciál do budoucna má zejména oblast VaV optických zdrojů světla (zejména lasery), kde pro takto zaměřený VaV existuje v ČR ve světovém měřítku unikátní výzkumná infrastruktura a působí výzkumné týmy s mezinárodní reputací. Značný prostor je i pro aplikace laserových technologií ve výrobních procesech, měřicí technice, zdravotnictví a v dalších oblastech. V těchto souvislostech mohou být perspektivní i některé kvantové technologie, jako jsou například kvantová komunikace, kvantové sensory a zdroje i jejich aplikace.

Významnou příležitostí do budoucna představují i pokročilé displeje a technologie pro zobrazování, které naleznou uplatnění v řadě oborů. Ve vazbě na aktuální trendy je perspektivní zejména jejich využití ve zdravotní technice, kde přispějí k dalšímu rozvoji diagnostiky a personalizované medicíny. Jejich role bude nabývat na významu i v souvislosti se stárnutím populace a péčí o starší generaci.

K rozvoji těchto technologií mohou kromě VO napomoci i výzkumně aktivní podniky působící v oblasti zdravotní péče a přístrojové techniky.

Z hlediska odvětvové struktury hospodářství je v ČR značný prostor pro nasazení fotonických prvků a systémů (včetně pokročilých zobrazovacích technologií) ve výrobních procesech. Jelikož lze očekávat, že se jejich uplatnění bude do budoucna v souvislosti s automatizací a robotizací dále zvyšovat, mezi perspektivní směry patří například optické zdroje, sensory různých veličin, optické komunikace, optické elementy pro rozhraní člověk-stroj, robustní LCD displeje apod. Dalšími perspektivními směry je VaV virtuální reality, jejíž uplatnění lze očekávat v řadě odvětví, včetně mediální tvorby.

Ve vazbě na současné technologické trendy jsou perspektivní pokročilé technologie pro ukládání dat a jejich analýzu. Pro takto zaměřený VaV zde existuje rozvinutá VaV základna ve veřejném výzkumu i v podnikovém sektoru, kde působí řada společností v oblasti vývoje softwarových aplikací (včetně aplikací využívajících umělou inteligenci). Příležitostí do budoucna je i rozhraní propojující mozek s počítačem. Využití lze spatřovat například ve zdravotnictví, kde tyto technologie mohou najít uplatnění v protetice nebo v systémech umožňujících zlepšení kognitivních a smyslově-motorických funkcí. V ČR pro tento multidisciplinární výzkum existuje kvalitní zdravotní výzkum i VaV zaměřený na digitální technologie a umělou inteligenci, což umožňuje realizovat náročné multidisciplinární projekty.

Další perspektivní oblastí, kde má ČR ve vazbě na technologické trendy potenciál pro zvýšení mezinárodní konkurenceschopnosti, jsou flexibilní a nositelná zařízení. Výhodou ČR je silná znalostní základna v široké oblasti materiálových věd, rozvinutý VaV v oblasti nanomateriálů a nanotechnologií (například nanovlákná) i dostatečné výzkumné kapacity v digitálních technologiích a biomedicíny.

## 5.6 Zabezpečení a konektivita

Technologická oblast sdružuje dvě oblasti – vývoj v oblasti e-government a vývoj v oblasti kybernetické bezpečnosti. Vzhledem k tomu, že aplikace potenciálních nových technologií je vázána na poskytování konkrétních digitálních služeb veřejnou správou, resp. na vzniklé kybernetické hrozby, byly analyzovány problémové oblasti v oblasti zabezpečení a konektivity poskytování veřejných služeb, které budou novými trendy ovlivňovány. Nižší popsané trendy tedy nepředstavují primárně nové technologie, ale tematické oblasti, které je nutné uvažovat při strategickém rozvoji digitalizace veřejné správy.

### Výzkumný potenciál ČR

Domácí výzkum na oblast digitální bezpečnosti a propojenosti zatím zaměřuje poněkud méně, neboť zastoupení publikací zaměřených na tuto oblast je v mezinárodním srovnání méně než třetinové. Publikáční aktivita se v posledních letech zvyšuje, a výzkumné aktivity v této oblasti se tedy rozvíjejí. VaV je v mezinárodním srovnání kvalitní, spolupráce VO a podniků je poměrně rozvinutá.

Podobně jako v případě umělé inteligence je i v této KET je patentová aktivita ve srovnání s evropskými zeměmi nižší. Počet patentových přihlášek se navíc snižuje. Podobně jako v umělé inteligenci i v digitální bezpečnosti a propojenosti je zastoupení patentových přihlášek s původcem z ČR v jejich celkovém počtu vyšší než ve vzorku evropských zemí. I zde je však patrný výrazný únik znalostí do zahraničí, neboť dvě třetiny patentových přihlášek s původcem (vynálezcem) z ČR jsou přihlašovány podniky se sídlem v zahraničí.

Veřejná podpora projektů VaV zaměřených na problematiku digitální bezpečnosti a propojenosti není zatím příliš vysoká. Do projektů se nejvíce zapojovaly VŠ, které získaly zhruba polovinu veřejné podpory. Ostatní VO se účastnily málo. Veřejná podpora VaV digitální bezpečnosti a propojenosti sice roste, ale její nárůst není tak výrazný, jako tomu je v umělé inteligenci. Podniky se do takto zaměřených projektů zapojují zejména ve spolupráci s VO. Počet VO, se kterými podniky spolupracují, je však poměrně omezený.

Zapojení do mezinárodního VaV je poměrně intenzivní, o čemž svědčí v mezinárodním srovnání vysoký podíl publikací vzniklých v mezinárodní spolupráci. V projektech zaměřených na digitální bezpečnost podpořených v programu Horizont 2020 byl zapojen vysoký počet subjektů z ČR, více než polovinu z nich tvořily podniky. Přehled silných a slabých stránek VaV je uveden v tab. 14.

Mezi směry VaV v oblasti digitální bezpečnosti a propojenosti patří:

- informační technologie a infrastruktura - sítě (včetně mobilních sítí), architektura sítí, kritická infrastruktura, síťový provoz;
- komunikační zařízení a prostředky – prostředky a zařízení pro vysokorychlostní komunikace a bezdrátovou komunikaci (mobilní sítě), servery, síťová zařízení, zařízení pro zpracování dat, zpracování signálu apod.;
- komunikace a služby - protokoly, sledování provozu na síti a komunikace, tok paketů, přístupové body apod.;
- integrace ICT a umělé inteligence do zařízení - IoT, smart home, smart integration, sensorové sítě apod.;
- kybernetické hrozby a ochrana proti těmto hrozbám - kybernetická bezpečnost, bezpečnost provozu (šifrování, hesla, účty a klíče, autentizace, digitální podpisy, bezpečnostní schránky apod.), kontrola přístupu, kontrolní platformy apod.;

Tab. 14 Silné a slabé stránky VaV zaměřeného na problematiku digitální bezpečnosti a propojenosti

Silné stránky	Slabiny
<b>Veřejná podpora a spolupráce podniků a VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký nárůst veřejné podpory – VaV zaměřený na problematiku digitální bezpečnosti a propojenosti posiluje</li> <li>- Poměrně vysoký výzkumný potenciál v (relativně omezeném) počtu VO, zejména VŠ</li> <li>- Vysoký počet projektů podniků byl řešen ve spolupráci s VO, většina podniků byla zapojena alespoň v jednom projektu s VO – rozvinutá spolupráce mezi podniky a VO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší počet realizovaných projektů a nižší veřejná podpora na projekty zaměřené na digitální bezpečnost a propojenost</li> <li>- Nízký nárůst veřejné podpory v případě podniků</li> <li>- Relativně nižší počet subjektů realizujících takto zaměřený VaV (podniků i VO) ve srovnání s jinými KETs</li> <li>- Nízká aktivita VO z podnikatelského a vládního sektoru</li> </ul>
<b>Publikační aktivita VO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký nárůst počtu publikací – VaV aktivity VO v této oblasti posilují</li> <li>- Citovanost publikací je z KETs nejvyšší – kvalita VaV ve VO je v národním srovnání vysoká</li> <li>- Podíl publikací vytvořených ve spolupráci s podniky je v národním srovnání vysoký – vazby VO s podniky jsou rozvinutější než v jiných KETs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízká publikační aktivita VO, v mezinárodním srovnání velmi nízké zastoupení publikací zaměřených na digitální bezpečnost a propojenost v národním výstupu – VaV ve VO se soustředí na jiné oblasti</li> <li>- Ve srovnání se evropskými státy podprůměrná citovanost</li> </ul>
<b>Patentová aktivita VO a podniků</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoký potenciál ve výzkumných pracovnících působících v podnicích v zahraničí nebo v pobočkách zahraničních firem v ČR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nízký počet patentových přihlášek VO a podniků z ČR, v mezinárodním srovnání nízké zastoupení patentových přihlášek v KET v celkovém počtu přihlášek</li> <li>- Počet patentových přihlášek klesá</li> <li>- Nízký počet patentových přihlášek VO</li> </ul>

	- Vysoký podíl patentů s původcem z ČR je přihlašován podniky pod zahraniční kontrolou nebo zahraničními podniky.
<b>Mezinárodní spolupráce a účast v rámcovém programu Horizont 2020</b>	
- Vysoký podíl publikací vytvořených v mezinárodní spolupráci - Vysoký počet účastníků z ČR zapojených v řešení projektů rámcového programu Horizont 2020 - Vysoký počet účastníků z podnikového sektoru a vysoký příspěvek získaný na řešení projektů podniky	

## Aktuální světové trendy

### Nárůst počtu a efektivitu kybernetických útoků

Data získaná z úniků a kombinovaná s dalšími veřejně i neveřejně dostupnými informacemi se stanou vstupem pro umělou inteligenci, rozpoznávání jazyků a povedou k nové vlně plně automatizovaných a velmi efektivních phishingových útoků založených na podstatně sofistikovanějším sociálním inženýrství.

S nárůstem konceptu "crimeware-as-a-service" bude stále jednodušší sofistikovaně útočit ransomware, který je doposud nejefektivnějším nástrojem pro hackery. Schopnost znemožnit chod firem, ale i veřejné infrastruktury, bude jedním ze zásadních cílů kybernetických útoků. Nebezpečným nástrojem bude i útok přes dodavatele služeb, ať už hardware či software, neboť subdodavatelský řetězec se jeví jako jeden z nejméně chráněných součástí celého systému. Bude docházet k řetězení útoků. Klasický DDoS útok poslouží pro krytí zkoumání otevřených portů a topologií firemních sítí, čímž zakryje skutečný pokus útočnicka o průnik do daného systému. S nárůstem podobných útoků lze očekávat také další růst poptávky po specialitech a odbornících, kteří budou schopni tyto informace správně vyhodnotit a na nedovolené vniknutí rychle reagovat.

Příchod 5G otevře nové pole pro kybernetické útoky. Extrémně rychlé mobilní sítě ještě více usnadní provedení útoků hackerů z hlediska rychlosti a kapacity. Zásadní ale bude stále rostoucí podíl 5G (i 4G) zařízení ve fixní podobě, tedy postupné nahrazování pevných datových linek (internetových připojení). Poroste také počet 5G IoT zařízení, které se tak přestěhují zpoza Wi-Fi routerů do přímo napadnutelné pozice.

Příchod 5G otevře nové pole pro kybernetické útoky. Extrémně rychlé mobilní sítě ještě více usnadní provedení útoků hackerů z hlediska rychlosti a kapacity. Zásadní ale bude stále rostoucí podíl 5G (i 4G) zařízení ve fixní podobě, tedy postupné nahrazování pevných datových linek (internetových připojení). Poroste také počet 5G IoT zařízení, které se tak přestěhují zpoza Wi-Fi routerů do přímo napadnutelné pozice.

V současnosti je IoT jednou z nejrychleji rostoucích oblastí v IT světě, zahrnující moderní přístroje, které je možné ovládat na dálku přes internet. Vzdálené ovládání, sledování a kontrolování nejrůznějších zařízení však bude představovat prostor pro kybernetické útoky. Očekává se, že útočník bude moci a dálku ovlivnit objektů IoT, nebo získat přístup k různým zařízením v domácnosti, která mohou být zneužívána pro sledování. Útoky na IoT, případně SCADA systémy budou vzhledem k tomu, že tyto systémy často nevyužívají šifrovaného spojení nebo jejich výrobci nemají zajištěnou dostatečnou kontrolu zabezpečení, ještě čtenější a případné odposlechy zařízení i přímé napadení se stane snadnějším.

Donedávna byly kybernetické útoky vedeny primárně přímo na servery obsahující kritická či jinak zajímavá data, případně poskytující kritické služby. Méně pak na koncové nástroje v podobě osobních počítačů. S výrazným nárůstem využití mobilních platforem, jako smartphony a tablety, představují

- Vzrůstající počet krádeží dat a manipulace s nimi
- Cílení útoků na spotřební zařízení
- Biometrický malware
- Útoky na kritickou infrastrukturu
- Větší zranitelnost aplikací s otevřeným zdrojovým kódem
- Rozvoj aktivit na darknetu a rozvoj potenciálu kryptoměn
- Zvýšená intenzita DDoS útoků

tyto lákavý cíl pro různé typy útočníků a různé typy útoků. A to zejména proto, že jsou využívány pro přímý přístup k citlivým firemním systémům (e-mail, intranet, stále častěji i CRM či ERP systémy apod.), a zároveň jsou na nich ukládána či zpracovávána další data včetně obchodních informací. Bezpečnost na mobilních zařízeních přitom často není řešena komplexně. Naopak je zde bezpečnostní prvek často podceňován. Uživatelé by si měli do budoucna dát pozor zejména na útoky typu podvodných wi-fi sítí, falešných mobilních aplikací, phishingové útoky pomocí SMS zpráv (tzv. SMishing) či chatovacích aplikací.

### *Zvyšování bezpečnosti digitálních služeb a infrastruktury*

Cloud je v dnešní době součástí firemní IT infrastruktury a je využíván i koncovými uživateli. Z tohoto důvodu lze očekávat nárůst důležitosti bezpečnosti cloudu a cloudových aplikací. Jedná se zejména o bezpečné a auditované ukládání a práce s daty i efektivní správu všech nasazených cloudů, které instituce mají. S tím, jak se stále množí masivní úniky hesel po napadení hackery, bude nutné cloudovou infrastrukturu více zabezpečit. Je tedy zřejmé, že od ní bude potřeba přejít na ochranu datacenter a databází s důrazem na ochranu koncových zařízení včetně mobilních telefonů a tabletů. I z těchto důvodů tak bude v budoucnu kladen velký důraz na pořizování logů a jejich vyhodnocování, které s dalšími technologiemi, jako je třeba sledování toku dat v síti, může odhalit potenciální hrozbu.

- Pojištění kybernetického rizika
- AI obrana proti hackování
- Globální pakt o kybernetické bezpečnosti
- Trvalý zvukový dohled

Bezpečí online účtů a služeb založené na klasickém přihlašování pomocí uživatelského jména a hesla je zásadním bezpečnostním problémem. Nutným standardem se tak stane nasazení dvoufaktorového ověřování a další pokročilejší metody přihlašování včetně biometrických metod či kryptograficky založených hardwarových klíčů. Očekává se, že bude i nadále docházet k únikům hesel a údajů o uživateli, včetně kompletních údajů o platebních kartách a dalších údajích, které budou zneužívány pro krádeže identit a phishingové útoky.

S rostoucí výpočetní kapacitou i lepší dostupností potřebného software i hardware budou tvůrci virů a malware ještě využívat umělou inteligenci, zejména strojové a hluboké učení, a analýza velkých, k ochraně vlastního odhalení. Stejně technologie budou využívat i všechny nové systémy ochrany. Očekává se, že cílovými segmenty bude oblast platebních karet, online plateb a online reklamy.

Útoky na IoT zařízení, infrastrukturu a přenášená data

### *Integrované služby a politiky prostřednictvím elektronické veřejné správy*

Vývoj digitalizace veřejných služeb směřuje k rozvoji integrovaných online služeb provozovaných na otevřených platformách. Služby různých veřejných agentur jsou sdruženy na jedné platformě a na jednom kontaktním místě, což usnadňuje interakci občanů s veřejnou správou. Elektronická veřejná správa by měla přispět k propojení jednotlivých subsystémů a vládních funkcí, veřejných služeb, do jedné platformy, která umožní poskytování integrovaných služeb. Jednotné platformy a integrované elektronické služby inherentně vyžadují určitou úroveň standardizace, konvergence a propojení jednotlivých systémů služeb. Tato technologická integrace se pak může přenést do lepšího institucionálního propojení a integrace veřejných služeb. Zároveň může přispět k lepší analýze poskytovaných služeb a k návrhům přepracování a zlepšení stávajících rozhodovacích procesů.

- Výchozí nastavení digitálních služeb
- Digitální dovednosti
- End-to-End služby



### *Otevřená veřejná data*

Roste bezplatné zpřístupnění dat veřejných institucí, které umožňuje veřejnosti a dalším organizacím jejich opětovné použití pro jakýkoli účel. Nová interpretace dat může potenciálně vést k inovacím či novým službám. Veřejné instituce se zároveň stávají, z pohledu veřejnosti, více odpovědné a transparentní. Díky kombinaci otevřených dat veřejné správy s novými technologiemi (analýza velkých dat, internet věcí) mohou veřejné instituce přispět k lepšímu strategickému řízení veřejných služeb. Určitý limit představují legislativní otázky, nastavení zásad správy a ochrany dat, správy a ochrany osobních dat a kybernetické bezpečnosti. Nutné je také vytvářet dostatečné kapacity a nástroje pro využívání otevřených dat.

- Otevřená primární data
- Veřejná služba založená na využití dat

### *Podpora elektronického participativního rozhodování*

S rostoucím přístupem k internetu a k sociálním médiím stále více veřejných institucí aktivně využívá příležitosti k navazování kontaktů s veřejností a roste tak možnost využít k veřejné správě metody participativního rozhodování prostřednictvím online konzultací. Roste počet aplikací a nástrojů elektronické účasti veřejnosti v různých oblastech činnosti veřejné správy, jejichž cílem je ověření efektivity zacílení veřejných služeb a reagovat tak na zjištěné potřeby široké veřejnosti. Tento proces může přispět k rozvoji nových forem partnerství mezi veřejnou správou a veřejností a posílit zacílení veřejných politik na konkrétní potřeby veřejnosti.

- Spoluvytváření veřejných služeb
- Elektronická účast

### *Pokročilé online služby*

S rostoucím využíváním digitálních technologií veřejná správa přizpůsobuje své služby pro jednotlivé elektronické mobilní platformy a umožňuje tak flexibilní poskytování veřejných služeb. Příkladem je podpora mobilních aplikací v oblasti zdravotnictví, vzdělání, sociálního zabezpečení apod. Limitem rozvoje takovýchto služeb je dostupnost širokopásmového připojení na internet.

## **Příležitosti pro ČR**

Významnou hrozbu do budoucna představuje nárůst počtu a efektivity kybernetických útoků i jejich zacílení na významné prvky zajišťující chod hospodářství (kritickou infrastrukturu) a život společnosti. Z tohoto důvodu je významnou příležitostí VaV nástrojů umožňující tyto kybernetické hrozby včas identifikovat a odpovídajícím způsobem na ně efektivně reagovat a eliminovat. Jak vyplynulo z analýzy, mezi směry VaV v oblasti kybernetické bezpečnosti patří například bezpečnost síťového provozu, šifrování, autentizace a digitální podpisy, bezpečnostní schránky, kontrola přístupu a kontrolní platformy. Významnou roli v těchto souvislostech budou hrát i technologie umělé inteligence (viz též informace ke KET Umělá inteligence v kap. 5.4).

V souvislosti s rozvojem digitálních služeb a rozšiřujícím se využíváním občanů i firmami je významnou příležitostí i VaV nových nástrojů pro zajištění kybernetické bezpečnosti firemní IT infrastruktury, datových center, datových (cloudových) úložišť a cloudových aplikací. Jelikož do budoucna lze očekávat další rozvoj v oblasti internetu věcí (IoT), významnou příležitostí je i VaV hardwarových prvků i softwarových nástrojů, které budou eliminovat možnosti kybernetických útoků na tyto přístroje a objekty IoT.

ČR má potenciál i pro VaV nástrojů využitelných pro digitalizaci veřejných služeb. Příležitostí je například vývoj integrovaných online služeb pro interakci občanů s veřejnou správou provozovaných na otevřených platformách. S tím souvisí i vývoj aplikací pro participativní rozhodování na základě



online konzultací se zástupci občanské společnosti. Potenciál je i ve VaV mobilních platforem a příslušných služeb umožňujících flexibilní poskytování veřejných služeb, nebo nástrojů a služeb umožňujících efektivní využití otevřených dat.

Podobně jako ve VaV technologií umělé inteligence i ve VaV zaměřeném na problematiku kybernetické bezpečnosti je patrný značný „únik“ znalostí, na jejichž vzniku se podíleli pracovníci z ČR, do zahraničí. Proto i zde je nezbytné podporovat vznik nových firem založených na poznatcích VaV, zejména výsledcích VaV z veřejného sektoru.

## 6 Shrnutí

Rychlý technologický vývoj a kontinuální aplikace nových technologií formují dlouhodobé socioekonomické struktury relativně omezeně. Z podstaty nových technologií a technologických trendů je zřejmé, že se často nejedná o zásadní paradigmatické změny, ale o postupný technologický vývoj. Je zřejmé, že nové technologie jsou nejčastěji vytvářeny se záměrem maximálního využití stávající infrastruktury, případně jejího kvalitativního vylepšení. Rozšíření nových technologií je tedy součástí systémově nadřazeného problému dostupné poptávky (resp. socioekonomických kapacit v území a koncentrací uživatelů nové technologie) i vhodných (dostupných) infrastrukturních podmínek, které jsou zpravidla dostupné v oblastech s významnou dynamikou změn. Nejedná se tedy pouze o modernizaci technické infrastruktury nutné k zavádění nových technologií, ale obecnější modernizaci veřejné infrastruktury včetně občanské vybavenosti.

Nové technologie jsou také implementovány v souvislosti s dalšími ekonomickými aktivitami a často vyžadují nebo zprostředkovávají kontinuální interakce v reálném čase. Tato charakteristika v zásadě odpovídá současnému trendu vytváření individualizovaných technologií s nižšími nároky na zdroje a prostor, které budou moci být v co největší míře ovládnuty vzdáleným přístupem, což je zásadní kvalitativní posun. Dřívější technologické inovace však měly v porovnání s identifikovanými technologickými trendy významnější kvantitativní dopad na ekonomiku i společnost.

Uvedené technologické trendy, jejich popis i expertní diskuze naznačují nepříliš velké přímé dopady na socioekonomický systém, a to zejména ve vymezeném krátkodobém horizontu. Hodnocené technologické trendy jsou již často v určité fázi vývoje (či realizace), nevyžadují zásadní infrastrukturní zásahy, resp. ty, s jejichž realizací je již v současných strategických dokumentech počítáno (5G sítě, digitalizace veřejné správy apod.). Lze říci, že budoucí technologie budou využívat převážně současné kapacity, které budou v případě potřeby modernizovány a dimenzovány na nové požadavky, ovšem bez významnějších socioekonomických nároků, ale naopak, s kvalitativně rozdílným způsobem využití. Ve střednědobém časovém horizontu a dlouhodobém horizontu, budou mít přímé dopady nových technologií na socioekonomické aktivity prokazatelně vyšší efekt. Většina zaváděných technologií bude stále využívat převážně současnou veřejnou infrastrukturu. Implementace radikálnějších inovací však bude vyžadovat vytvoření nové infrastruktury s patřičnými nároky na výkon a stabilitu na všech uvažovaných úrovních. V dlouhodobém časovém horizontu lze předpokládat, že přímý i zprostředkovaný dopad těchto technologií bude vyžadovat nové přístupy ve strategickém řízení a plánování a důslednější kroky v procesech sledování, vyhodnocování a regulování směru a intenzity technologických trendů a souvisejících socioekonomických procesů.

Bezprostřední vlivy nových technologií v různých typech socioekonomických aktivit budou vždy do určité míry modifikovány jejich vlastními charakteristikami. Identifikované a hodnocené technologie představují převážně ekonomicky náročné inovace, které budou realizovány v institucích (či regionech) s dostatečným kapitálem a s vysokou pravděpodobností návratnosti investic. Rozdílná schopnost adopce nových technologií vzhledem k socioekonomickému statusu návazně přispěje k prohloubení diferenciací subjektů, které budou tyto technologie ochotné a schopné implementovat. Funkční provázanost socioekonomických aktivit na národní úrovni ale narušena nebude.

Rychlý technologický vývoj a aplikace nových technologií generují následující výzvy pro český ekonomický a inovační systém:

- Vznik a implementace nových technologií je výrazně provázán s vývojovou dynamikou některých socioekonomických trendů, které působí na chování firem, institucí a společnosti. Tím nové technologie zprostředkovávají změnu ekonomické specializace a vzájemné vztahy nových výrobních odvětví a výzkumu, vývoje a inovací. Nelze jednoznačně rozlišit, zda je změna ve specializaci ekonomických odvětví vyvolána novou technologií, nebo je vytvářena technologie na základě nové poptávky ve společnosti.

- Nové technologie budou posilovat převážně individualizaci autonomních uživatelů, lokální a regionální specializaci a snižování závislosti ekonomických subjektů na centrálních zdrojích, podpůrných sítích, infrastrukturách a veřejných intervencích. Tímto způsobem nové technologie stimulují nové způsoby ekonomického chování a vyvolávají změnu organizace společnosti.
- Charakter technologických změn naznačuje, že budoucí vývoj nebude založen na převažujícím dlouhodobém modernizačním megatrendu, ale spíše na souboru menších a variabilních změn, které budou průběžně a dlouhodobě měnit ekonomické preference a investiční zacílení do nových technologií.
- Identifikované nové technologie budou mít významně větší dopad v ekonomických oblastech, které mají větší vývojovou dynamiku. Schopnost implementovat technologie bude představovat na úrovni firem hlavní konkurenční výhodu.
- V řadě ekonomických odvětví mohou nové technologie pozitivně působit na kvalitativní transformaci jednotlivých funkcí v těchto odvětvích. Povaha nových technologií ale nebude vyvolávat extenzivní přímé dopady na výstupy ekonomických odvětví, ale často bude působit zprostředkovaně prostřednictvím vlivu na socioekonomické vzorce jejich uživatelů.
- Nové technologie jsou nejčastěji vytvářeny se záměrem maximálního využití stávající infrastruktury, případně jejího kvalitativního vylepšení. Rozšíření nových technologií je tedy součástí systémově nadřazeného problému dostupné poptávky.
- Nové technologie jsou také implementovány v souvislosti s dalšími ekonomickými aktivitami a často vyžadují nebo zprostředkovávají kontinuální interakce v reálném čase. Tato charakteristika v zásadě odpovídá současnému trendu vytváření individualizovaných technologií s nižšími nároky na vstupní zdroje.
- Implementace technologií a s ní spojené změny budou v řadě případů silně ovlivněny nastavením regulačního rámce a tedy i politickými rozhodnutími na úrovni ČR i na úrovni EU.
- Některé z identifikovaných technologií budou vyžadovat radikální technologické a infrastrukturní inovace a často budou vyvolávat nutnou adaptaci systému jejich řízení.

Vedle toho představují identifikované technologické trendy a související společenské změny příležitost pro výzkumné, vývojové a inovační aktivity realizované v ČR. Jak ukázala analýza výzkumného potenciálu v jednotlivých oblastech KETs, v ČR existují výzkumné kapacity v dílčích technologických oblastech s potenciálem pro realizaci vysoce kvalitního výzkumu a zapojení do mezinárodní výzkumné spolupráce. Z analýzy také vyplynulo, že ČR má dostatečný potenciál pro zachycení většiny klíčových technologických trendů, které jsou v současné době patrné. Zároveň byly identifikovány příležitosti, jejichž využití může napomoci k transformaci ekonomiky ČR směrem k produktům s vyšší přidanou hodnotou a posunu podniků do vyšších úrovní dodavatelských řetězců. Včasná reakce na identifikované trendy zároveň napomůže řešení výzev, před něž bude společnost v budoucnosti postavena.

Příležitosti pro ČR identifikované v této studii vycházejí ze zpracovaných analýz využívajících statistických dat v dostupných databázích a z textové analýzy strukturovaných a nestrukturovaných dat z veřejně dostupných informačních zdrojů. Významným prvkem odborného posouzení příležitostí vyplývajících z těchto analýz pro výzkumné a inovační aktivity v ČR je expertní diskuse. Věříme, že tato studie vytváří pro takovou diskusi strukturovaný rámec a dostatečně analyticky podložený podklad.

## 7 Použité informační zdroje

- [1] Pokorný, O.; Meislová, K.; Pazour, M. (2019): Trendy v klíčových umožňujících technologiích. Analytická zpráva o technologických trendech a nově vznikajících technologiích. Souhrnná výzkumná zpráva, Technologické centrum AV ČR.
- [2] Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+. Analýza KETs a jejich vazeb na aplikační odvětví NRIS3. Zpráva byla vypracovaná v rámci veřejné zakázky Ministerstva průmyslu a obchodu „Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+“. Technologické centrum AV ČR (2020). <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/projekty-na-podporu-ris3/operacni-program-technicka-pomoc/projekt-komplexni-analyza-vychodisek-a-navrh-implementace-revidovanych-opatreni-narodni-ris3-strategie-2021--248427/>
- [3] Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+. Souhrnná zpráva. Zpráva vypracovaná v rámci veřejné zakázky Ministerstva průmyslu a obchodu „Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+“. Technologické centrum AV ČR (2020). <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/projekty-na-podporu-ris3/operacni-program-technicka-pomoc/projekt-komplexni-analyza-vychodisek-a-navrh-implementace-revidovanych-opatreni-narodni-ris3-strategie-2021--248427/>
- [4] Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+. Odvětvová analýza VaV v ČR se zaměřením na vertikální domény specializace. Zpráva vypracovaná v rámci veřejné zakázky Ministerstva průmyslu a obchodu „Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+“. Technologické centrum AV ČR (2020). <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/projekty-na-podporu-ris3/operacni-program-technicka-pomoc/projekt-komplexni-analyza-vychodisek-a-navrh-implementace-revidovanych-opatreni-narodni-ris3-strategie-2021--248427/>
- [5] Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci (Národní RIS3 strategie, NRIS3) <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/>
- [6] Projekt Komplexní analýza východisek a návrh implementace revidovaných opatření Národní RIS3 strategie 2021+. Ministerstvo průmyslu a obchodu (2019). <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/ris3-strategie/projekty-na-podporu-ris3/operacni-program-technicka-pomoc/projekt-komplexni-analyza-vychodisek-a-navrh-implementace-revidovanych-opatreni-narodni-ris3-strategie-2021--248427/>
- [7] Rámcový program pro výzkum a inovace EU HORIZONT 2020. <https://www.h2020.cz/cs>
- [8] Web of Science, Clarivate Analytics. <https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science/>
- [9] EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT). <https://www.epo.org/searching-for-patents/business/patstat.html#tab1>
- [10] Informační systém výzkumu, experimentálního vývoje a inovací, Centrální evidence projektů. Úřad vlády ČR, Rada pro výzkum, vývoj a inovace. <https://www.rvvi.cz/cep>
- [11] E-CORDA (COmmon Research DAatawarehouse)
- [12] Production and trade in KETs-based products: The EU position in global value chains and specialization patterns within the EU. European Commission, DG Enterprise (2013). [http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ECR\\_KETS2014.pdf](http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/ECR_KETS2014.pdf)
- [13] Feasibility study for an EU Monitoring Mechanism on Key Enabling Technologies. European Commission, DG Enterprise and Industry by IDEA Consult, Brussels, Belgium Center for European

- Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany TNO, Delft, Netherlands CEA, Grenoble, France (2012). [https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/kets-tools/sites/default/files/library/final\\_report\\_kets\\_observatory\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/kets-tools/sites/default/files/library/final_report_kets_observatory_en.pdf)
- [14] Exchange of good policy practices promoting the industrial uptake and deployment of Key Enabling Technologies. Prepared by IDEA Consult, Brussels, Belgium; Center for European Economic Research (ZEW), Mannheim, Germany; Austrian Institute of Economic Research (WIFO), Vienna, Austria. European Commission, DG Enterprise and Industry (2012). <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/4667/attachments/1/translations/en/renditions/native>
- [15] Re-Finding industry. Report of the independent High Level Group on industrial technologies. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Directorate D—Industrial Technologie (2018). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/28e1c485-476a-11e8-be1d-01aa75ed71a1>
- [16] Artificial Intelligence. WIPO Technology Trends 2019. [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_1055.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_1055.pdf)
- [17] Výzkum potenciálu rozvoje umělé inteligence v České republice. Výzkumné, technologické a podnikové zázemí v ČR, Analýza pozice České republiky v oblasti technologického rozvoje umělé inteligence. Úřad vlády ČR, ČVUT v Praze, Technologické centrum AV ČR (2018). <https://www.vlada.cz/assets/evropske-zalezitosti/aktualne/AI-technologie-2018.pdf>
- [18] International Patent Classification. World Intellectual Property Organization. <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>
- [19] Registr ekonomických subjektů. Český statistický úřad ([https://www.czso.cz/csu/res/registr\\_ekonomickyh\\_subjektu](https://www.czso.cz/csu/res/registr_ekonomickyh_subjektu))
- [20] Seznam výzkumných organizací. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (<https://www.msmt.cz/vyzkum-a-vyvoj-2/seznam-vyzkumnych-organizaci>)