

EVOLUCE VÝROBY, ZPRACOVÁNÍ A DISTRIBUCE POTRAVIN V ZÁVISLOSTI NA TECHNOLOGICKÉM POKROKU: POTRAVINÁŘSTVÍ 1.0 AŽ 5.0

EVOLUTION OF FOOD PRODUCTION, PROCESSING AND DISTRIBUTION DEPENDING ON TECHNOLOGICAL PROGRESS: FOOD INDUSTRY 1.0 TO 5.0

Miroslav Jůzl¹ – Jan Slováček¹ – Aneta Kocandová¹

Martin Fajman² – Jiří Čupera² – Jindřich Svoboda³ – Miroslav Bajbár⁴

**¹ Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika**

**² Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika**

³ PRANTL Masný průmysl s.r.o., Havlíčkovo náměstí 46, 394 68 Žirovnice, Česká republika

**⁴ Ing. Miroslav Bajbár, Ph.D., Broker Operační skupiny, Nopova 3926/71,
615 00 Brno, Česká republika**

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-100-6-0144>



ABSTRAKT

Cílem tohoto příspěvku a posterového sdělení je poskytnout vstupní informace k problematice digitalizace a automatizace a etapám vývoje potravinářského průmyslu. Ty lze postavit na etapách vývoje v rámci průmyslové revoluce. Jsou označovány čísly a v současnosti můžeme slyšet a číst o páté etapě. Potravinářství 1.0: Mechanizace a pára (konec 18. stol. – 19. stol.) tato fáze ukončila éru čistě ruční a domácí výroby. Hlavním motorem byla průmyslová revoluce a přechod od řemeslné výroby k prvním továrnám. Využití parního stroje pro mletí obilí nebo pohon lisů. Můžeme sem zařadit i objev konzervace v plechovkách (Nicolas Appert) a stavbu a provoz prvních velkých cukrovarů. Potravinářství 2.0: Masová výroba a rozvoj užití elektřiny (konec 19. stol. – polovina 20. stol.). S příchodem elektřiny a pásové výroby se potraviny staly průmyslovým výrobkem. Zavedení montážních linek (inspirováno jatkami v Chicagu). Rozvoj chladírenských technologií umožnil přepravu potravin na velké vzdálenosti. Pasterizace, masové balení potravin, rozvoj světové známých značek položil základy marketingu a začal mít výrazně ekonomický a společenský aspekt. Potravinářství 3.0: Automatizace spojená s informačními technologiemi (70. léta 20. stol. – počátek 21. století). Tato éra je spojena s nástupem počítačů a elektroniky do výroby. První roboti na linkách, automatizované balicí systémy a řízení zásob pomocí softwaru. Rozšíření geneticky modifikovaných organismů (GMO), mikroprocesory řídící teplotu a tlak při zpracování, vznik globálních logistických řetězců. Potravinářství 4.0: Digitalizace a chytré výrobní podniky. Označuje se rovněž jako Smart Food Manufacturing. Vše je propojeno internetem věcí (IoT). Stroje spolu komunikují v reálném čase. Vhodná, robustní a aktuální data umožňují předpovídat poptávku. Využívá se blockchain pro sledování původu potravin od farmáře až na stůl. Rozvíjí se precizní zemědělství (drony, senzory v půdě), 3D tisk potravin, vertikální farmy. Potravinářství 5.0: Trend provázání personalizace a udržitelnosti. Zatímco Průmysl 4.0 byl o strojích, 5.0 má být o příklonu k člověku, planetě a zdraví. Mluví se o spolupráci lidí a kolaborativních robotů (tzv. koboty). Důraz na cirkulární ekonomiku (bezezbytkové zpracování, minimalizace nebo i zásadní zpracování vedlejších produktů při výrobě). Vizionáři a investoři prostřednictvím nových firem razí cestu pro potraviny na míru podle DNA (personalizovaná výživa), kultivované (laboratorní) maso, využití alternativních proteinů (hmyz, řasy).

Klíčová slova: masný průmysl, robot, automatizace, práce, technologie, systém

ABSTRACT

The aim of this paper and poster presentation is to provide introductory information on the issues of digitalization and automation and the stages of development of the food industry. These can be built on the stages of development within the industrial revolution. They are indicated by numbers, and we can currently hear and read about the fifth stage. Food industry 1.0: Mechanization and steam (late 18th century – 19th century). This phase ended the era of purely manual and home production. The main driver was the industrial revolution and the transition from artisanal production to the first factories. The use of a steam engine for grinding grain or driving presses. We can also include the discovery of canning (Nicolas Appert) and the construction and operation of the first large sugar factories. Food industry 2.0: Mass production and the development of the use of electricity (late 19th century – mid-20th century). With the advent of electricity and assembly line production, food became an industrial product. Introduction of assembly lines (inspired by the slaughterhouses in Chicago). The development of refrigeration technologies enabled the transportation of food over long distances. Pasteurization, mass packaging of food, the development of world-famous brands laid the foundations of marketing and began to have a significant economic and social aspect. Food Industry 3.0: Automation combined with information technology (1970s – early 2000s). This era is associated with the introduction of computers and electronics into production. The first robots on lines, automated packaging systems and inventory management using software. The spread of genetically modified organisms (GMOs), microprocessors controlling temperature and pressure during processing, the emergence of global logistics chains. Food Industry 4.0: Digitalization and smart manufacturing plants. It is also referred to as Smart Food Manufacturing. Everything is connected by the Internet of Things (IoT). Machines communicate with each other in real time. Appropriate, robust and up-to-date data allows for forecasting demand. Blockchain is used to track the origin of food from the farmer to the table. Precision agriculture (drones, soil sensors), 3D food printing, vertical farms are developing. Food Industry 5.0: The trend of linking personalization and sustainability. While Industry 4.0 was about machines, 5.0 is supposed to be about focusing on people, the planet and health. There is talk of cooperation between people and collaborative robots (so-called cobots). Emphasis on the circular economy (residue-free processing, minimization or even substantial processing of by-products during production). Visionaries and investors are paving the way for food tailored to DNA (personalized nutrition), cultured (laboratory) meat, and the use of alternative proteins (insects, algae).

Keywords: meat industry, robot, automation, work, technology, system

ÚVOD

Lidstvo se vyvíjí, ale s tím se také, jak je obecně známo, zvyšuje počet lidí na planetě. A ty je nutné uživit. Rozevírající se nůžky na čistě kvantitativní úrovni nestačí sklápnout nebo tlačít k sobě pouze množstvím produkovaných potravin, zvláště, když se zdroje mohou vyčerpat nebo být zasaženy neočekávanými událostmi. Tzv. „*potravinové řetězce*“, někdy se lze setkat s názvem „*systémy zajišťování potravin*“, v angličtině se hovoří o tzv. „*food systems*“, se stále častěji potýkají s řadou výzev, včetně změny klimatu, tlaku na přírodní zdroje, demografického růstu a geopolitické nestability, které ovlivňují jak potravinovou bezpečnost, tak udržitelnost. V této souvislosti se digitalizace stala klíčovou transformační cestou, která formuje způsob, jakým potravinové systémy tyto výzvy fungují, koordinují se a reagují na ně (Palmisano a Rocchi, 2026).

V současné době WHO uvádí aktuální počet lidí 8,3 miliardy k roku 2024 (WHO, 2024). Během jednotlivých epoch z hluboké minulosti do současnosti se vědci na mnoha úrovních touto problematikou intenzivně zabývají. Zejména s rozvojem průmyslu a intenzifikací výroby, ale na druhou stranu i s rozvojem znalostí a biotechnologií, šlechtěním na vyšší odolnost a výnos, aplikací konzervačních technik se umožnilo vypěstovat, více zpracovat k okamžité spotřebě nebo i pro delší časové období více potravin, a přitom

minimalizovat ztráty na surovině nebo výrobku. Podstatnou měrou se stalo kombinování všech faktorů ke kýženému výsledku. V naší době je hnací silou ekonomika a šetření času, což je spojeno zejména s náhradou drahé lidské síly při výrobě, ale i ostatních fázích výroby. Pojem „*food security*“, neboli zabezpečení potravinami, byl do období, než došlo k restrikcím spojeným s pandemií způsobenou SARS-CoV-2, významně převyšován významem a tlakem na „*food safety*“ (zdravotní nezávadnost). Jinými slovy, opatření byla vedena k maximální bezpečnosti potravin při výrobě a distribuci, než že by podniky řešily nedostatek suroviny. Provozní komplikace plynoucí s nedostatkem personálu, drahými vstupy, nebo jejich nestabilní (měnící) se cenou byly a jsou brány spíše jako již tradiční problém, který ale o to více zasahuje rozvoj firem. Nicméně, i přes všechny znepokojující produkční vize, země Evropské unie přecházejí z lineární na cirkulární ekonomiku s postupem směrem krok za krokem k udržitelnému rozvoji, tak jak jej chápou. Ten je dle vytýčení chápán více do ekologické oblasti (Galbreath et al., 2026).

ETAPY INDUSTRIALIZACE

Industrializace (česky zprůmyslnění) je historický proces, během kterého se zásadně mění společnost z převážně zemědělské (agrární) na společnost průmyslovou. Z lidského a ekonomického hlediska je tento proces definován třemi hlavními rysy:

- Změna práce: Ruční řemeslná výroba a práce na polích je nahrazena hromadnou strojírenskou výrobou v továrnách.
- Stěhování lidí: Dochází k masivní urbanizaci, kdy se lidé stěhují z venkova do měst za prací.
- Využití energie: Lidská a zvířecí síla je nahrazena fosilními palivy (uhlí, ropa) a novými technologiemi (pára, elektřina).

V širším slova smyslu industrializace odstartovala moderní věk a vytvořila svět, jak ho známe dnes – se všemi jeho výhodami (vyšší životní úroveň, rychlá doprava, dostupnost zboží) i negativy (znečištění životního prostředí, sociální nerovnosti).

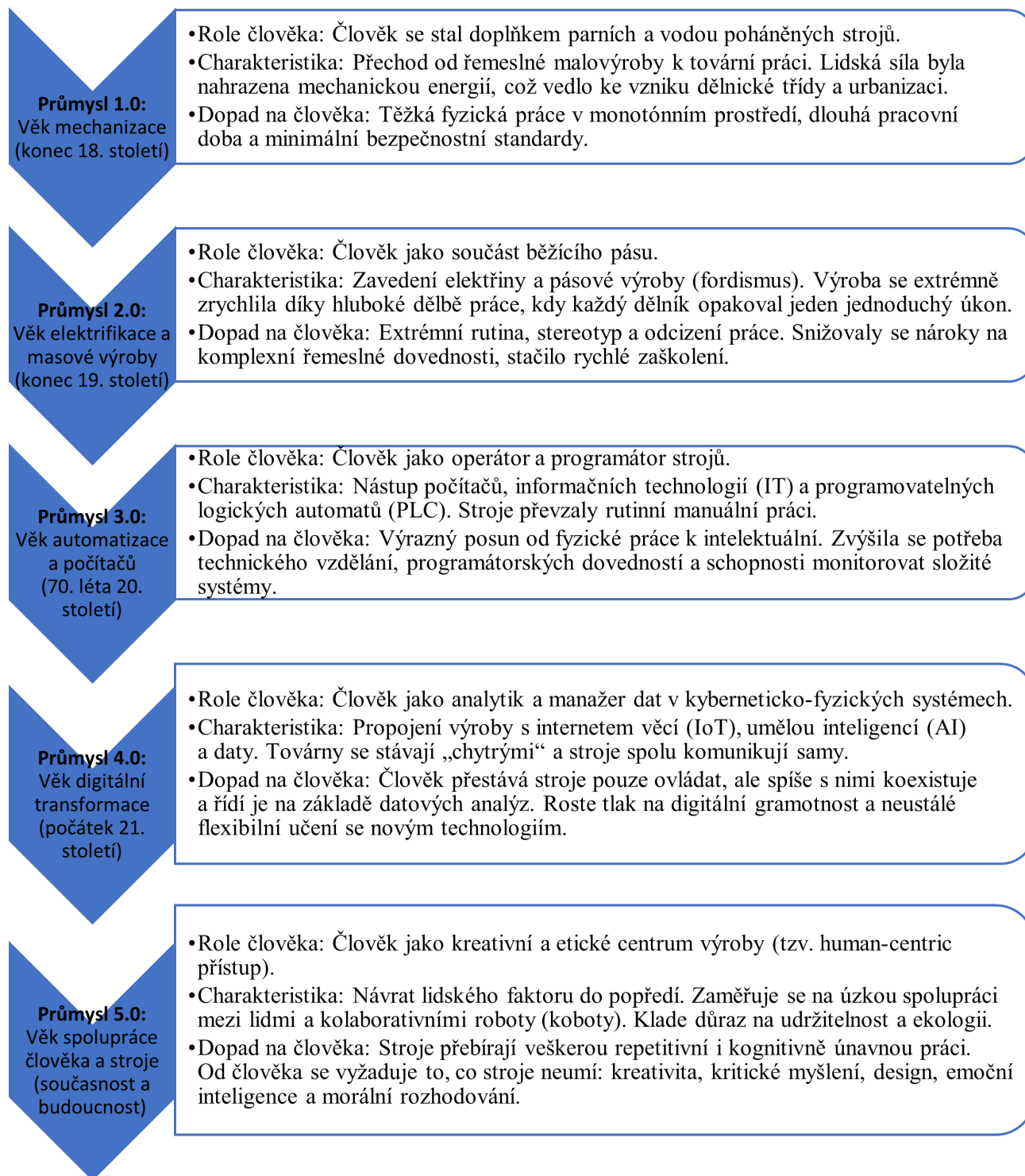
Třísektorový model, případně třísektorová teorie nebo rozdělení ekonomiky na sektory rozděluje veškerou hospodářskou činnost do tří základních sektorů (Kuznets, 1957):

- Primární sektor (Zemědělství) – Získávání surovin z přírody (zemědělství, lesnictví, rybolov, těžba).
- Sekundární sektor (Průmysl) – Zpracování surovin na hotové výrobky (průmyslová výroba, stavebnictví, energetika).
- Terciární sektor (Služby) – Poskytování služeb pro lidi a firmy (obchod, doprava, školství, zdravotnictví, bankovníctví).

V moderní ekonomii se někdy vyděluje ještě kvartérní a kvintérní sektor. Zatímco základní třísektorový model (zemědělství, průmysl, služby) vidí služby jako jeden velký celek, moderní ekonomové z něj vyčleňují další vrstvy (Acemoglu et al., 2001):

- Kvartérní sektor (též kvartér): Znalostní sektor – IT, věda, výzkum, finanční služby a školství.
- Kvintérní sektor (též kvintér): Sektor nejvyšších rozhodovacích pravomocí, veřejných služeb a neziskové sféry. Patří sem vládní představitelé, vrcholový management (CEO), policie, hasiči a klíčové oblasti sociální péče, zdravotnictví a lázeňství. V mnohém má mnoho podobného a shodného s principy Průmyslu/Potravinářství 5.0.

Na obrázku 1 jsou jednotlivé epochy v industrializaci rozděleny do pěti hlavních etap, které ukazují proměnu člověka z mechanického vykonavatele na kreativního supervizora. Průmyslový svět se stále vyvíjí. Zatímco Průmysl 4.0 způsobil revoluci ve výrobě díky automatizaci, internetu věcí a umělé inteligenci (AI), další krok – Průmysl 5.0 - vrací do centra výroby člověka. Tato nová průmyslová éra se zaměřuje na spolupráci mezi lidmi a inteligentními technologiemi, zajišťuje efektivitu a zároveň upřednostňuje udržitelnost, přizpůsobení a odolnost.



Obrázek 1: Epochy rozdělené do pěti hlavních etap

ROBOTIZACE A AUTOMATIZACE A PRŮMYSL 5.0

Slovo „robot“ je českého původu a vztahuje se ke slovu „robota“ označující namáhavou lidskou práci. Na popud Karla Čapka toto slovo navrhnul do románu R.U.R. jeho bratr Josef. Tedy více jak 100 let (od roku 1920) se slovo „robot“ používá místo původně Karlem Čapkem zvažovanému slovu „labor“.

Zatímco automatizace je nadřazený, obecný pojem, robotizace je její konkrétní, specifikovanější podkategorie. Automatizace znamená, že proces nebo systém probíhá samočinně pomocí technologií a bez nutnosti lidského zásahu. Nemusí při ní existovat žádný fyzický robot. Systém používá software, algoritmy, programovatelné logické automaty (PLC) nebo počítačové systémy. Příkladem je např. automatická plnicí linka na nápoje. Senzor zaznamená láhev, ventil se otevře, napustí přesně požadovaný objem tekutiny (vsádky) a uzavře obal například víčkem nebo uzávěrem. V případě robotizace, což je konkrétnější pojem a specifická forma automatizace, při které se používají programovatelné, fyzické stroje (roboti) vykonávají lidské pohyby nebo úkoly. Robot má mechanické tělo, ramena, klouby a senzory. Dokáže se i mechanicky přizpůsobit měnícímu se prostředí a měnit trajektorii pohybu. Příkladem v průmyslu je například robotické rameno v automobilce, které uchopí plechy, svařuje je k sobě a pak hotovou karoserii přesune na jiný pás, nebo při skládání výrobků z linky na paletu a provedení finálního přípravy pro expedici. Roboti hrají stále důležitější roli v průmyslových revolucích, od rané automatizace v Průmyslu 3.0 až po propojené systémy, které umožňují spolupráci lidských týmů v Průmyslu 4.0. Zatímco Průmysl 4.0 zavedl spolupráci lidí a robotů na výrobních linkách, Průmysl 5.0 se v tomto směru snaží posunout dále a zaměřit se na procesy zaměřené na člověka, které podporují odolnost, udržitelnost a užší symbiózu mezi lidskými pracovníky a robotickými systémy (Xu et al., 2023).

Zatímco předchozí fáze průmyslového vývoje se silně zaměřovaly na využívání robotů k maximalizaci produktivity a přesnosti, Průmysl 5.0 klade dvojí důraz na prospěšnou koexistenci a sdílenou prosperitu. To zahrnuje nejen umožnění užší týmové spolupráce mezi lidmi a stroji, ale také upřednostnění bezpečnosti pracovníků, rozvoje dovedností, tvůrčího potenciálu a celkové pohody spolu se zvyšováním efektivity. Mezi hlavní cíle Průmyslu 5.0 patří bezproblémové sdílení informací mezi lidmi a roboty, adaptivní výrobní systémy, které se dokáží rychle přizpůsobit změnám nebo chybám, a využití umělé inteligence a automatizace k rozšíření lidských schopností, nikoli k nahrazení pracovních míst.

K dosažení tohoto cíle budou klíčové pokročilé senzorové systémy, propojení s internetem věcí, cloudová analytika a řídicí mechanismy, které umožní flexibilnější, odolnější a lidsky aktivní rozhodování. Již nyní se používá zejména vzdáleného přístupu, chytrých zařízení a senzorů, zejména měření teploty a sběru a archivaci dat, které je možné kontrolovat ve smyslu HACCP systému (Barbut, 2020).

Nicméně, propojením těchto technologií se zaměřením na environmentální a sociální odpovědnost je příslibem Průmyslu 5.0 k vytvoření výrobních ekosystémů, kde si lidé a inteligentní stroje mohou symbioticky navzájem pomáhat dosahovat sdílených cílů v oblasti produktivity, kvality a udržitelnosti. Praktický úspěch této další průmyslové evoluce, a epochy, závisí na pečlivém definování rolí, schopností a odpovědností všech aktérů v těchto futuristických výrobních týmech člověk-stroj. Kolaborativní robotika, neboli „kobotika“, je hlavní technologií Průmyslu 5.0, která usiluje o zlepšení lidské obratnosti tím, že roboty povyšuje na rozšíření lidských schopností a v konečném důsledku i na členy týmů. Klíčovým prvkem, který má potenciál fungovat jako rozhraní pro týmovou aspiraci Průmyslu 5.0, je zavádění nových technologií, jako je virtuální realita (VR), rozšířená realita (AR), smíšená realita (MR) a haptika, společně označované jako „augmentace“. Průmysl 5.0 také těží z digitálních dvojčat (DT), což jsou digitální reprezentace fyzických aktiv, které slouží jako jejich protějšek – nebo dvojčata. Další nezbytnou součástí Průmyslu 5.0 je umělá inteligence (AI), která má potenciál vytvořit inteligentnější a efektivnější výrobní proces (Zafar et al., 2024). V následujících desetiletích vývoj pokročilejších senzorů a řídicích systémů umožnil robotům vzájemnou interakci ve sdíleném pracovním prostoru. To povede k vývoji sdíleného pracovního prostoru mezi roboty, ve kterém

bude více robotů spolupracovat na plnění úkolu a koordinovat svou činnost za účelem dosažení společného cíle. Roboti mohou například více a samostatně spolupracovat na sestavení produktu nebo na přepravě materiálů z jednoho místa na druhé, což již nebude ve srovnání s automatizací a linkou jako jejím typickým příkladem tolik vázáno na definovaný prostor při její konstrukci (Bouzembrak et al., 2019).

Další fází vývoje robotiky byl a je rozvoj interakce člověk-robot (HRI). To bude možné díky pokroku v technologiích senzorů a řídicích systémů. To vede k vývoji komplexního systému HRI použitelnému v reálném čase. I když však úroveň interakce postupně dosahuje stále vyšších a vyšších úrovní, bude možná relativně nízká úroveň kolaborativních úkolů, protože mezi roboty a lidmi jsou omezené možnosti (Xu et al., 2023).

ZÁVĚR

Tento příspěvek se kloní k perspektiva zaměřené do budoucnosti, kdy se předpokládá éra výroby, kde je blahobyt lidí ústředním bodem všech průmyslových systémů. Často používaná trojrozměrná systémová architektura pro implementaci Průmyslu 5.0 nabízí při plánování moderních výrobních celků vzhled do jeho technických, reálných a aplikačních dimenzí. Nastiňuje také klíčové faktory, potenciální aplikace a výzvy při realizaci realistických scénářů Průmyslu 5.0 a přispívá tak k omezenému množství výzkumu tohoto nově vznikajícího paradigmatu. Je třeba předpokládat a vnímat vyvíjející se dynamiku interakce člověka a robota na pracovišti, podnícenou nástupem Průmyslu 4.0 a Průmyslu 5.0. Přehledové studie často zkoumají vliv konstrukčních prvků robotů na lidské operátory a odhalují složité vztahy typu „mnoho k mnoha“. Zjištění podtrhují klíčovou roli efektivní komunikace mezi operátory a roboty, která ovlivňuje týmovou práci a celkový výkon. Identifikované mezery ve výzkumu v mnoha člancích zdůrazňují potřebu komplexnějších studií zabývajících se interakcí člověka a robota jako systémem. Digitalizace a chytré výrobní podniky se posouvají zvolna k propojení prostřednictvím internetu věcí, komunikaci strojů v reálném čase, využití dat pro predikci poptávky, blockchain pro sledování původu potravin, rozvoj precizního zemědělství (drony, senzory v půdě), 3D tisku potravin, vertikálním farmám. Na páté úrovni naší epochy je zmiňována potřeba příklonu k člověku, planetě a zdraví, spolupráci lidí a kolaborativních robotů s důrazem na cirkulární ekonomiku, personalizovanou výživu, nové formy biotechnologií. Tou je i například rozvoj segmentu a oblasti produkce laboratorně kultivovaného masa nebo alternativních proteinů (houby, hmyz, řasy). To je možné i částečně za pomoci hybridních výrobků, kde dochází na jedné straně k postupným inovacím, na straně druhé k zachování benefitů a pozitivních aspektů z různé strany citlivě vnímané bariéry koncovým uživatelem, v tomto případě dominantně spotřebitelem.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla jako plánovaný výstup v rámci nadstandardního šíření výsledků a byla podpořena operační skupinou a projektem „OS Prantl – Digitalizace výroby a procesů v potravinářském podniku“ Intervencí 53.77 - Podpora operačních skupin a projektů EIP v rámci Rozvoje venkova podle Strategického plánu SZP na období 2023-2027.

LITERATURA

- Acemoglu, D., Johnson, S., Robinson, J. A. (2001): The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation. *The American Economic Review*, 91(5), 1369–1401. Dostupné z: <https://doi.org/10.1257/aer.91.5.1369>
- Barbut, S. (2020): Meat industry 4.0: A distant future? *Animal Frontiers*, 10, 38–47. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/af/vfaa038>

Bouzembrak, Y., Kluche, M., Gavai, A., Marvin, H. J. P. (2019): Internet of Things in food safety: Literature review and a bibliometric analysis. *Trends in Food Science and Technology*, 94, 54–64. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.002>

Galbreath, J., Ljubownikow, G., Tisch, D. (2026): Circular economy outcomes in EU countries: The impact of manufacturing sectors and the moderating effects of investment, employment and trade. *Journal of Cleaner Production*, 554, 148059. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.148059>

Kuznets, S. (1957): Quantitative Aspects of the Economic Growth of Nations: II. Industrial Distribution of National Product and Labor Force'. *The American Economic Review*, 47(4), 1–111. Dostupné z: <https://doi.org/10.1086/449740>

Palmisano, G. O., Rocchi, L. (2026): Digitalization for Food Security and Sustainability: Innovations and Impacts. In. *Reference Module in Food Science*, Elsevier, ISBN 9780081005965. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-40334-7.00047-2>

WHO (2024): United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2024. *World Population Prospects 2024* [online]. New York: United Nations. Dostupné z: <https://population.un.org/wpp/> [vid. 3. 6. 2026].

Xu, W., He, Y., Li, J., Zhou, J., Xu, E., Wang, W., Liu, D. (2023): Robotization and intelligent digital systems in the meat cutting industry: From the perspectives of robotic cutting, perception, and digital development. *Trends in Food Science and Technology*, 135, 234–251. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.018>

Zafar, M. H., Langås, E. F., Sanfilippo, F. (2024): Exploring the synergies between collaborative robotics, digital twins, augmentation, and industry 5.0 for smart manufacturing: A state-of-the-art review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 89, 102769.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2024.102769>

Kontaktní adresa: doc. Ing. Miroslav Jůzl, Ph.D., Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, e-mail: miroslav.juzl@mendelu.cz