Využitelnost Blockchain technologie v kontextu Průmyslu 4.0

Josef Arenštein [1], Miroslav Malaga [1]

[1] Katedra průmyslového inženýrství a managementu, Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 2762/22, 301 00 Plzeň 3
josefarenstein@gmail.com
malaga@fst.zcu.cz

Anotace: Článek se zabývá využitelností blockchain technologie v kontextu Průmyslu 4.0. Zaměřuje se na konkrétní příklady implementace blockchainu v automobilovém průmyslu, logistice, zdravotnictví, energetice a IoT systémech. Dále analyzuje přínosy této technologie, jako je zvýšení transparentnosti, bezpečnosti a efektivity průmyslových procesů, a zároveň upozorňuje na technické, legislativní a organizační výzvy spojené s jejím nasazením. Součástí je i pohled na aktuální stav a perspektivy rozvoje blockchainu v České republice. Článek poskytuje komplexní přehled o možnostech a omezeních blockchainu v moderním průmyslovém prostředí a nabízí inspiraci pro další výzkum a implementaci.

1 Úvod

Koncept Průmyslu 4.0 představuje určitou fázi průmyslové revoluce, která se opírá o digitalizaci a propojení fyzických a digitálních systémů ve výrobě i službách. Mezi klíčové rysy patří vysoká míra automatizace, využití datových analýz a decentralizovaná rozhodování realizovaná díky pokročilým informačním technologiím. Cílem je zvýšit efektivitu, flexibilitu a transparentnost průmyslových procesů, což vede k optimalizaci výroby a k rozvoji inovativních obchodních modelů. V takto propojeném ekosystému hrají důležitou roli technologie zajišťující bezpečnost, důvěryhodnost a auditovatelnost sdílených informací. Tím se otevírá prostor pro blockchain – distribuovanou účetní knihu, která uchovává záznamy o transakcích v neměnném řetězci bloků. Tato technologie přirozeně zapadá do filozofie Průmyslu 4.0, neboť vytváří transparentní a nezpochybnitelnou datovou vrstvu, kterou lze využít pro sledování výroby, řízení logistických sítí i další aplikace, kde se uplatňuje decentralizace [3, 5, 14, 15].

V příspěvku jsou představeny konkrétní příklady využití blockchainu v rámci Průmyslu 4.0, počínaje automobilovou výrobou a logistikou, až po zdravotnictví a oblast energetiky. Zároveň je nastíněno, jaké výzvy a omezení průmyslové nasazení této technologie může přinášet.

2 Blockchain v automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl představuje komplexní síť výrobců, subdodavatelů a logistických partnerů. Každý výrobek zde prochází mnoha procesy a různými

https://doi.org/10.24132/PI.2025.13287.151-158

společnostmi, než se dostane ke koncovému zákazníkovi. Blockchain technologie tak přináší do tohoto odvětví zvýšenou transparentnost a nenarušitelný záznam o původu a pohybu jednotlivých dílů.

Například firma BMW Group zavedla blockchainový projekt PartChain, jenž slouží k monitorování komponentů, a to od těžby surovin až po jejich montáž do vozidel. Každý úkon či pohyb je zapsán do blockchainu, takže při zpětném dohledávání původu konkrétního dílu odpadá komplikované papírování a riziko padělání dokumentace. Podobně i Hyundai testuje platformu k ověřování pravosti náhradních dílů: zákazník může naskenovat kód na součástce a ihned zjistit, zda jde o originál [1, 2].

Vzestup autonomní mobility a sdílených služeb může blockchain využít jako decentralizovanou platformu pro zprostředkování dat a plateb mezi vozidly, infrastrukturou a pasažéry. Peer-to-peer systémy pro sdílení jízd (např. projekt Arcade City) fungují na blockchainu Ethereum a umožňují řidičům i pasažérům obejít centrálního zprostředkovatele. Autonomní vozy by pak mohly automaticky provádět platby za nabíjení, parkování či mýtné prostřednictvím chytrých kontraktů, které se spustí po splnění definovaných podmínek Analytická společnost Frost & Sullivan předpokládá, že do několika let bude 10–15 % transakcí spojených s autonomními vozy probíhat právě přes blockchain. Tento mechanismus posiluje efektivitu a zároveň zamezuje manipulacím s daty, jelikož záznamy o jízdách, platbách či servisních úkonech jsou neměnné a kdykoli dohledatelné [1, 4].

3 Blockchain v logistickém a dodavatelském řetězci

V oblasti logistiky a supply chain managementu je blockchain vnímán jako nástroj pro dosažení stoprocentní dohledatelnosti a odstranění nesrovnalostí, které mohou vzniknout během celého logistického procesu.

Příkladem je Walmart, který ve spolupráci s IBM integroval blockchain pro monitorování původu a stavu potravin. Doba dohledání zdroje produktu se díky decentralizované účetní knize zkrátila z dní na sekundy, což se zásadně projeví při výskytu kontaminace nebo jiného ohrožení kvality. Všichni dodavatelé a prodejci tak vidí „up-to-date“ záznamy o pohybu zboží a mohou tak rychle reagovat [6, 7].

Transparentní řetězec navíc minimalizuje riziko podvodů, příkladem může být přepisování faktur či záměna zboží. Jakákoli úprava již zaneseného záznamu je v blockchainu nemožná bez schválení většiny uzlů. Tato vlastnost vede k snížení nákladů na následné audity a přidanou administrativu. Zatímco dříve bylo obvyklé, že každý člen logistického řetězce měl vlastní uzavřený informační systém, blockchain funguje jako jednotná pravdivá vrstva. Výrobce, dopravce a skladovací firma sdílejí údaje o zásilce na jednom místě, s garancí neměnnosti zápisu. Výhodou je efektivnější koordinace a odstranění duplicitních dokumentací. Umožňuje se i integrace tzv. chytrých kontraktů. Například podmínka „platte dopravci pouze, pokud senzor ve vozidle hlásí, že nebyl překročen stanovený teplotní limit“ může být naprogramována přímo do

blockchainu, a platba se tedy uvolní automaticky při úspěšně dokončené přepravě. To zajišťuje vyšší bezpečnost (nedojde k manipulaci s údaji) a nižší chybovost než při manuálním zpracování [8–10].

4 Zdravotnictví

Zdravotnický sektor se vyznačuje vysokými nároky na ochranu citlivých dat a přesnou evidence původu léčiv. Uchovávání záznamů o pacientech a jejich anamnéz je klíčovým bodem zdravotnických systémů. Díky blockchainu lze zajistit integritu a dohledatelnost každé změny v kartě pacienta. K datům pak mohou přistupovat pouze autorizovaní lékaři a zdravotnická zařízení, přičemž pacient získává plnou kontrolu nad sdílením svých údajů. Tato transparentnost zamezuje neoprávněným úpravám a posiluje důvěru v zdravotnickém ekosystému [11].

Projekt MediLedger, který používají významné farmaceutické společnosti včetně Pfizeru, je příkladem blockchainové platformy pro sledování léčiv v celém distribučním řetězci – od výroby až k velkoobchodníkům a lékárnám. Všechny transakce a pohyby léčiv se zapisují do sdílené databáze, což znemožňuje vnést do systému padělané produkty. Pro koncového zákazníka je tak vyšší jistota kvality a pravosti léků, zatímco regulační orgány mohou kdykoli provést přesné a rychlé prověření šarží [11].

5 Další průmyslové aplikace

Škála využití blockchainu v kontextu Průmyslu 4.0 není zdaleka omezena jen na výrobu automobilů, logistiku a zdravotnictví. Lze ji využít i například v energetice, per-to-peer obchodování nebo v IoT systémech.

V rámci tzv. prosumer modelů, kde běžní spotřebitelé elektřinu sami vyrábějí (např. pomocí solárních panelů), může blockchain zprostředkovat obchodování přebytků energie přímo mezi jednotlivými domácnostmi. Projekt Brooklyn Microgrid v New Yorku ukazuje, jak lze na lokální úrovni prodávat a nakupovat elektřinu bez centrálního distributora. Transparentní záznam transakcí a podílů „zelené energie“ posiluje důvěru a zároveň pomáhá vyrovnávat spotřebu a výrobu energie v reálném čase [12].

V moderních továrnách jsou instalovány tisíce senzorů měřících teplotu, vibrace či polohu materiálu. Vzniká tak ohromný objem dat, která je třeba bezpečně uložit a analyzovat. Blockchain nabízí decentralizovanou registraci a validaci dat z IoT zařízení. K jednotlivým záznamům mají přístup autorizované subjekty, díky čemuž se dá snadno zpětně dohledat, zda v reálném čase nedošlo k manipulaci. Pro aplikace typu „kdo nese zodpovědnost za poškození zboží při přepravě“ je takový neměnný protokol klíčový [13].

6 Diskuze

Diskuze se zaměřuje na kritické zhodnocení dosavadních poznatků a zkušeností s implementací blockchainu v průmyslové praxi. Otevírá prostor pro reflexi přínosů, limitů a budoucích směrů vývoje této technologie v rámci Průmyslu 4.0.

6.1 Výzvy a omezení implementace blockchainu v průmyslovém prostředí

Zavádění blockchainu do průmyslových procesů přináší nejen řadu výhod, ale také specifické výzvy a omezení, které je nutné pečlivě zvážit. Tato kapitola se věnuje hlavním technickým, legislativním a organizačním překážkám, jež mohou ovlivnit úspěšnost a efektivitu implementace blockchainových řešení v reálném průmyslovém prostředí. Cílem je poukázat na klíčové faktory, které je třeba při plánování a realizaci těchto projektů zohlednit.

6.1.1 Technické limity a škálovatelnost

Aktuální blockchainové sítě, zejména veřejné typu Bitcoin či Ethereum, trpí omezenou propustností (jen několik transakcí za sekundu či minut) a vyšší latencí oproti centralizovaným databázím. V reálném provozu Průmyslu 4.0, kde mohou vznikat tisíce zápisů za vteřinu, proto vzniká potřeba buď specializovaných privátních řešení, nebo novějších blockchainových platforem s vyšší kapacitou. Například Hyperledger Fabric či Corda umožňují rychlejší konsenzus, avšak stále se řeší otázka interoperability mezi různými řetězci [14].

6.1.2 Legislativní a regulatorní nejasnosti

Ve vysoce regulovaných odvětvích (finanční sektor, farmacii) je nutné, aby blockchain neodporoval platné legislativě – například požadavkům na ochranu osobních údajů (GDPR). Neměnnost záznamů v blockchainu může kolidovat s právem na výmaz dat, což vyžaduje pečlivé navrhování řešení, případně šifrování osobních údajů „mimo řetězec“. Regulace se navíc teprve vyvíjejí a podniky často čekají na podrobnější rámce, aby se vyhnuly právním rizikům [4].

6.1.3 Integrace do stávajících systémů a náklady

Přechod na blockchainové procesy předpokládá změny v infrastruktuře (softwaru, hardware, školení personálu) i v organizaci firem a jejich dodavatelských sítí. Počáteční investice mohou být vysoké a vyžadují zapojení vícero partnerů současně, aby měl blockchain vůbec smysl (úspěch je podmíněn dosažením kritické masy účastníků). Ne všechny podniky proto dokážou okamžitě vyčíslit návratnost investice – některé řešení zůstává jen v pilotní fázi [15].

6.1.4 Standardizace a spolupráce

Pro průmyslové využití je klíčové, aby navzájem spolupracovaly platformy různých dodavatelů. V současnosti se však formuje více blockchainových konsorcií, přičemž každé prosazuje vlastní řešení. Neexistuje jednotný standard pro výměnu dat mezi odlišnými blockchainovými sítěmi, což může vést ke kompatibilním problémům. Dosud také není plně vyřešena interoperabilita – situace, kdy jedna firma provozuje systém na Hyperledger Fabric, zatímco jiná na Corda, může znesnadnit vzájemnou komunikaci [8].

6.2 Využití blockchainu v České republice

Situace v České republice ukazuje, že i zde se objevují snahy o reálné nasazení blockchainu v průmyslovém sektoru. V posledních letech vzniklo hned několik projektů, jež usilují o praktickou implementaci této technologie, a to jak ze strany velkých podniků, tak i technologických startupů. Upozornit lze na iniciativu zaměřenou na vytvoření prvního průmyslového blockchainu v Česku, který by firmám nabízel snadnou integraci a možnost bezpečného sdílení dat s partnery. Takové řešení by v budoucnu mohlo vyřešit některé problémy spojené s centrálními informačními systémy v náročném průmyslovém prostředí. Významnou roli v propagaci a implementaci této technologie hrají také společnosti jako ELA Blockchain Services, které nabízejí vlastní blockchainové řešení nazývané „Elachain“. Tato platforma si klade za cíl umožnit firmám i veřejným institucím jednoduše a spolehlivě zapojit blockchain do jejich stávajících procesů. V českém prostředí tedy pozvolna roste ochota podniků investovat do pilotních projektů, zejména v logistice, kde je kladen důraz na sledovatelnost a transparentnost. S dalším rozvojem legislativy a rostoucím důrazem na digitalizaci lze očekávat, že se blockchainové iniciativy v ČR budou postupně rozšiřovat a prohlubovat [16, 17].

6.3 Perspektivy a další směřování blockchainu

Navzdory uvedeným překážkám se potenciál blockchainu pro průmyslové aplikace jeví jako značný. Výzkumné agentury i průmyslová konsorcia očekávají, že s odstraňováním technických i právních bariér bude množství projektů prudce růst. Pilotní nasazení ukazují, že blockchain výrazně zvyšuje transparentnost a důvěru v rámci složitých výrobních a logistických řetězců, což je v duchu Průmyslu 4.0 zásadní hodnota. Do budoucna se předpokládá intenzivnější vývoj konsenzuálních algoritmů s nižší spotřebou energie a vyšší rychlostí zpracování. Zároveň roste zájem o tzv. „off-chain“ řešení, kdy se velká data ukládají mimo hlavní řetězec (např. v důvěryhodných úložištích), zatímco blockchain slouží k pouhému doložení pravosti. Tím se kombinuje rychlost tradičních systémů s integritou blockchainu [7].

Řada společností vidí v blockchainu strategickou konkurenční výhodu: otevřenější přístup k informacím, méně administrativních chyb a rychlejší obchodní procesy. Tvůrci standardů, jako například International Organization for Standardization (ISO), již pracují na nových normách pro interoperabilitu a datové formáty. S postupující standardizací a zapojením klíčových hráčů

(výrobci, logistické firmy, finanční instituce, regulační orgány) lze očekávat, že blockchain bude jedním z hnacích motorů digitalizace v rámci Průmyslu 4.0 [8].

Blockchainová technologie může, díky svému důrazu na důvěryhodnost a neměnnost záznamů, vyřešit mnohé z výzev, jimž průmyslové podniky čelí v prostředí síťově propojené automatizace. Od automobilového odvětví po zdravotnictví a energetiku již existuje dost příkladů úspěšných pilotních nasazení. Jakmile se dořeší otázky škálovatelnosti, regulací a jednotných standardů, lze očekávat další rozmach praktických aplikací – směrem k chytřejšímu, automatizovanějšímu a transparentnějšímu průmyslu nové generace [13].

7 Závěr

Blockchainová technologie se v kontextu Průmyslu 4.0 ukazuje jako významný nástroj pro zvýšení transparentnosti, bezpečnosti a efektivity průmyslových procesů. Praktické příklady z automobilového průmyslu, logistiky, zdravotnictví i energetiky potvrzují, že blockchain dokáže řešit klíčové výzvy spojené s důvěryhodností a sledovatelností dat v komplexních dodavatelských řetězcích. Zároveň však implementace této technologie naráží na řadu technických, legislativních a organizačních omezení, která je nutné překonat pro její širší uplatnění.

Zásadními přínosy blockchainu jsou zejména:

- Neměnnost a transparentnost záznamů, které posilují důvěru mezi partnery.
- Možnost automatizace procesů prostřednictvím chytrých kontraktů.
- Zvýšená bezpečnost a odolnost vůči podvodům díky decentralizované architektuře.

Mezi hlavní výzvy patří:

- Škálovatelnost a technická omezení současných blockchainových platforem.
- Nejasnosti v legislativě a regulaci, zejména v oblasti ochrany osobních údajů.
- Náročnost integrace do stávajících systémů a potřeba spolupráce napříč celým odvětvím.

V českém průmyslovém prostředí se blockchain začíná prosazovat zejména v pilotních projektech, přičemž další rozvoj bude záviset na pokroku v oblasti standardizace, legislativy a ochotě podniků investovat do inovací.

Do budoucna lze očekávat, že s postupným odstraňováním překážek a rozvojem nových technologií bude blockchain hrát stále významnější roli v digitalizaci průmyslu. Jeho potenciál spočívá nejen v optimalizaci stávajících procesů, ale i v otevírání zcela nových obchodních modelů a možností spolupráce v rámci Průmyslu 4.0.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen s podporou projektu SGS-2025-026 s názvem „Algoritmy umělé inteligence v udržitelné výrobě“, financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Použitá literatura

[1] BMW GROUP. *BMW PartChain: Making Supply Chains Transparent* [online]. 2023 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.press.bmwgroup.com/global. Published: Tisková zpráva

[2] HYUNDAI. *Hyundai Expands Blockchain Solutions for Parts Authenticity* [online]. 2024 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.hyundainews.com/. Published: Tisková zpráva, Seoul: Hyundai Press

[3] NOUSALA, Susu, Gary METCALF a David ING, ed. *Industry 4.0 to Industry 5.0: Explorations in the Transition from a Techno-economic to a Socio-technical Future* [online]. B.m.: Springer Nature, 2024 [vid. 2024-11-15]. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-99-9730-5

[4] ARCADE CITY. *Arcade City Whitepaper* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://arcade.city/. Published: Online dokument

[5] BODKHE, Umesh, Sudeep TANWAR, Karan PAREKH, Pimal KHANPARA, Sudhanshu TYAGI, Neeraj KUMAR a Mamoun ALAZAB. Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 79764–79800. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2020.2988579

[6] THE LINUX FOUNDATION. *How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric* [online]. 2024 [vid. 2024-11-18]. Dostupné z: https://www.lfdecentralizedtrust.org/case-studies/walmart-case-study

[7] IBM. *Walmart and IBM’s Blockchain Collaboration* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust. Published: Online dokument

[8] HYPERLEDGER. *Hyperledger Fabric Documentation* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/

[9] DUTTA, Pankaj, Tsan-Ming CHOI, Surabhi SOMANI a Richa BUTALA. Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E:*

Logistics and Transportation Review [online]. 2020, **142**, 102067. ISSN 1366-5545. Dostupné z: doi:10.1016/j.tre.2020.102067

[10] THAKUR, Dushyant a Mitali Madhusmita NAYAK. *A Comprehensive Study on Block Chain Technology in Supply-Chain Management* [online]. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY: Social Science Research Network. 1. prosinec 2020 [vid. 2025-05-10]. Dostupné z: https://papers.ssrn.com/abstract=3878655

[11] KUHN, K. a OTHERS. Blockchain Applications in Healthcare: A Review. *Medical Informatics Quarterly*. 2023, **8**(1), 12–25.

[12] BROOKLYN MICROGRID. *Community-based Energy* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.brooklynmicrogrid.com/. Published: Online informace

[13] WORLD ECONOMIC FORUM. *The Future of Blockchain in Manufacturing* [online]. Geneva: World Economic Forum. 2024 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.weforum.org/reports

[14] MARR, Bernard. Jak blockchain a průmysl 4.0 mění svět byznysu. *Forbes* [online]. 2023 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.forbes.com/

[15] SOTARAUROVA, A. Blockchainová řešení v industriálním prostředí: příležitosti a výzvy. *Journal of Industrial Transformation*. 2024, **12**(2), 47–58.

[16] SVAZ PRŮMYSLU A DOPRAVY ČR. *Česko má první průmyslový blockchain* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.spcr.cz/muze-vas-zajimat/z-clenske-zakladny/12980-cesko-ma-prvni-prumyslovy-blockchain. Published: Online článek

[17] ELACHAIN. *ELA Blockchain Services* [online]. 2025 [vid. 2025-03-19]. Dostupné z: https://www.elachain.cz/. Published: Online prezentace