

**Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta ekonomická**

VLIV PRŮMYSLU 4.0 NA POŽADAVKY KLADENÉ NA ERP SYSTÉMY

Ing. Martin Polívka

disertační práce

**k získání akademického titulu doktor
v oboru Ekonomika a management**

**Školitel: prof. Ing. Lilia Dvořáková, CSc.
Katedra: Katedra financí a účetnictví**

Plzeň 2024

**University of West Bohemia
Faculty of Economics**

**THE INFLUENCE OF INDUSTRY 4.0 ON
THE REQUIREMENTS PLACED ON ERP
SYSTEMS**

Ing. Martin Polívka

Ph.D. thesis

for academic degree doctor

in the study field Economics and Management

**Supervisor: prof. Ing. Lilia Dvořáková, CSc.
Department: Department of Finance and Accounting**

Plzeň 2024

Poděkování

Úvodem této práce bych chtěl poděkovat své školitelce, prof. Ing. Lilie Dvořákové, CSc., za její metodické vedení, a za mnoho cenných rad a připomínek, které mi v průběhu celého studia poskytla.

Rovněž bych chtěl poděkovat mnoha kolegům, jak z Fakulty ekonomické Západočeské univerzity v Plzni, tak z mého profesního působiště, firmy DataExpert s.r.o., jejichž náhledy a nápady mi poskytly inspiraci při zpracování zvoleného tématu, a všem respondentům, kteří se laskavě uvolili věnovat svůj čas zodpovídání dotazníků nebo účasti na výzkumných rozhovorech.

Největší poděkování však samozřejmě patří mé rodině a především manželce, kteří mě po celou dobu studia plně podporovali, a to i přesto, že to se mnou rozhodně neměli a nemají lehké.

Anotace

Předložená disertační práce se zabývá problematikou toho, nakolik současný rychlý rozvoj především informačních a komunikačních technologií, označovaný v odborné literatuře jako „Čtvrtá průmyslová revoluce“ nebo vznik „Průmyslu 4.0“ ovlivňuje podnikové informační systémy kategorie „Enterprise Resource Planning“ (ERP), které představují centrální prvek informační infrastruktury podniku. Tuto otázku se práce snaží zodpovědět na základě výsledků smíšeného výzkumu, obsahujícího jak kvantitativní, tak kvalitativní část. První kapitola představuje základní východiska pro zpracování zbytku práce v podobě definování cílů práce, oblasti a tématu výzkumu a použitých metod. Druhá kapitola se poté zabývá teoretickým pozadím jednotlivých zkoumaných pojmů, kdy nejprve popisuje historický vývoj a současný stav ERP systémů a následně problematiku Čtvrté průmyslové revoluce a Průmyslu 4.0, s důrazem na vymezení aktuálního obsahu těchto pojmů z technologického hlediska. Ve třetí kapitole je diskutován vzájemný vztah ERP systémů a Průmyslu 4.0, a to na základě realizované systematické rešerše odborné literatury zabývající se touto problematikou. Zbývající kapitoly poté již představují výsledky empirického výzkumu, zkoumajícího na jedné straně technologické i funkční požadavky, které uživatelé ERP systémů na tyto systémy v souvislosti s rozvojem Průmyslu 4.0 kladou, na straně druhé pak to, do jaké míry a jakým způsobem jednotlivé ERP systémy tyto požadavky reflektují. Výzkum zabývající se požadavky uživatelů měl kvantitativní charakter, byl realizován formou dotazníkového šetření, které je popsáno v kapitole 4. Reflexe těchto požadavků v jednotlivých systémech byla naproti tomu zjišťována prostřednictvím kvalitativního výzkumu ve formě výzkumných rozhovorů s dodavateli těchto systémů, které jsou popsány v kapitole 5. Poslední, šestá kapitola potom obsahuje návrh modelu zralosti, určeného pro posouzení kompatibility ERP systému s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0. Model byl zkonstruován na základě zjištění získaných ze systematické rešerše literatury, představené v kapitole 3, a výsledků empirického výzkumu z kapitol 4 a 5. Může sloužit jak pro potřeby podniků, které aktuálně řeší otázku výběru vhodného ERP systému, tak pro výrobce těchto systémů při rozhodování o směru jejich dalšího vývoje.

Klíčová slova: Čtvrtá průmyslová revoluce, ERP systémy, podnikové informační systémy, Průmysl 4.0

Annotation

The presented dissertation thesis deals with the issue to what extent the current rapid development of information and communication technologies, referred to in the literature as the "Fourth Industrial Revolution" or the emergence of "Industry 4.0", affects enterprise information systems of the category "Enterprise Resource Planning" (ERP), which represent the central element of the information infrastructure of the enterprise. This thesis tries to answer this question based on the results of a mixed research comprising both quantitative and qualitative parts. The first chapter presents the basic background for the rest of the thesis - defining the objectives of the thesis, the research area and topic, and the methods used. The second chapter then deals with the theoretical background of the individual concepts under investigation, first describing the historical development and current state of ERP systems and then the issues of the Fourth Industrial Revolution and Industry 4.0, with an emphasis on defining the actual content of these concepts from a technological perspective. The third chapter discusses the mutual relationship between ERP systems and Industry 4.0, based on a conducted systematic review of the literature dealing with this issue. The remaining chapters then present the results of empirical research, examining on the one hand the technological and functional requirements that users of ERP systems place on these systems in context with the development of Industry 4.0, and on the other hand to what extent and how particular ERP systems reflect these requirements. The research on user requirements was quantitative in nature, carried out in the form of a questionnaire survey, which is described in Chapter 4. The reflection of these requirements in the particular systems was investigated through qualitative research in the form of research interviews with the suppliers of these systems, which are described in Chapter 5. The last, sixth chapter contains the design of a maturity model, which can be used to assess the compatibility of the ERP system with relevant Industry 4.0 technologies. The model was constructed based on the findings obtained from the systematic literature review presented in Chapter 3 and the results of the empirical research in Chapters 4 and 5. It can serve both the needs of companies currently addressing the issue of selecting a suitable ERP system and the manufacturers of such systems in deciding on the direction of their further development.

Keywords: Fourth industrial revolution, ERP systems, business information systems, Industry 4.0

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci na téma

„Vliv Průmyslu 4.0 na požadavky kladené na ERP systémy“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem školitelky za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 25. února 2023

.....
podpis autora

Obsah

Obsah

Úvod	1
1 Základní východiska	2
1.1 Cíle disertační práce	2
1.2 Oblast výzkumu, téma výzkumu, výzkumné otázky	3
1.3 Typ a model výzkumu, hypotézy	6
1.4 Design výzkumu, metody výzkumu	7
1.5 Struktura práce	8
2 Teoretická východiska a vymezení základních pojmů	9
2.1 ERP systémy	9
2.1.1 Historický vývoj ERP systémů - předchůdci	9
2.1.2 Vznik ERP systémů	13
2.1.3 Vývoj od ERP k ERP II	14
2.1.4 Další iterace ERP systémů - ERP III	18
2.1.5 Cloudové ERP systémy	21
2.1.6 Další možný vývoj ERP systémů – problematika udržitelnosti	21
2.2 Čtvrtá průmyslová revoluce a Průmysl 4.0	23
2.2.1 Historie průmyslových revolucí	23
2.2.2 Čtvrtá průmyslová revoluce, Průmysl 4.0 a jejich přijetí	26
2.3 Aktuální obsah Průmyslu 4.0 – Čtvrté průmyslové revoluce	31
2.3.1 Model RAMI 4.0	31
2.3.2 Technologie Průmyslu 4.0 – 9 pilířů	33
2.3.3 Automatická identifikace a sběr dat	41
2.3.4 Smart factory	42
2.4 Použité pojetí obsahu Průmyslu 4.0	44

3 Vztah Průmyslu 4.0 a ERP systémů	46
3.1. Stávající stav poznání – rešerše literatury	46
3.1.1 Volba časového rozsahu studie	46
3.1.2 Výběr zdrojových databází	46
3.1.3 Výběr zdrojů	47
3.1.4 Výběr konkrétních článků	48
3.1.5 Základní klasifikace článků	49
3.1.6 Připravenost ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0	53
3.1.7 Modely a příklady využití systémové integrace a sběru reálných dat	56
3.1.8 Přejít od tradiční pyramidy automatizace	62
3.1.9 Koncepty náhrady nebo rozšíření ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0	63
3.1.10 Cloudové ERP systémy	64
3.1.11 Využití blockchainových databází v ERP systémech	66
3.1.12 Ostatní studie	66
3.1.13 Podrobnější analýza klasifikace	69
3.1.14 Shrnutí stávajícího stavu poznání v oblasti vztahu Průmyslu 4.0 a ERP systémů	74
3.2 Vymezení technologií Průmyslu 4.0 relevantní pro oblast ERP systémů	75
3.3 Vlastnosti ERP systémů nutné pro součinnost s relevantními technologiemi ..	79
4 Požadavky relevantních uživatelů na ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0	84
4.1 Dosud využívaná kritéria pro výběr ERP systému	84
4.2 Dotazníkové šetření mezi relevantními uživateli ERP systémů	90
4.2.1 Struktura dotazníku a logika otázek	90
4.2.2 Základní soubor pro dotazníkové šetření a získaný výzkumný vzorek	92
4.3 Výsledky dotazníkového šetření a jejich analýza	93
4.3.1 Stávající stav využívání relevantních technologií Průmyslu 4.0 v průmyslových podnicích	93

4.3.2 Existující překážky ve využívání relevantních technologií Průmyslu 4.0 v průmyslových podnicích	101
4.3.3 Znalost problematiky Průmyslu 4.0 mezi relevantními uživateli ERP systémů	104
4.3.4 Význam kritérií spojených s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0 ve srovnání s tradičními kritérii pro výběr ERP systémů	109
5 Stávající a plánovaná reflexe Průmyslu 4.0 v ERP systémech.....	115
5.1 Scénář rozhovoru a logika otázek	115
5.2 Základní soubor respondentů, výzkumný vzorek	116
5.3 Výsledky výzkumných rozhovorů	118
5.3.1 Význam Průmyslu 4.0 v plánování střednědobého rozvoje ERP systémů	118
5.3.2 Obsah konceptu Průmysl 4.0	120
5.3.3 Reflexe technologie Big data.....	120
5.3.4 Reflexe technologie systémové integrace	122
5.3.5 Reflexe technologie cloud computingu.....	123
5.3.6 Reflexe technologie AIDC	125
5.3.7 Reflexe ostatních technologií Průmyslu 4.0 v ERP systémech respondentů	126
5.3.8 Význam schopnosti systému interagovat s technologiemi Průmyslu 4.0 z pohledu dodavatelů	127
6 Model umožňující posoudit připravenost ERP systému na fungování v prostředí Průmyslu 4.0.....	129
6.1 Modely zralosti	129
6.2 Zralost podnikových informačních systémů v prostředí Průmyslu 4.0	131
6.3 Návrh modelu zralosti ERP systému ve vztahu k Průmyslu 4.0	136
6.3.1 Konstrukce modelu	136
6.3.2 Evaluace navrženého modelu ve vztahu k obecné kritice modelů zralosti	144

Závěr	147
Seznam použitých zkratk.....	151
Seznam obrázků, tabulek a grafů	154
Publikační činnost autora*	157
Seznam použité literatury	159
Přílohy	191
Příloha 1 – Dotazník mezi relevantními uživateli ERP systémů	191
Část 1 – Ověření znalostí Průmyslu 4.0.....	191
Část 2 - Využití technologií Průmyslu 4.0 v praxi konkrétního podniku	192
Část 3 – Vlastnosti ERP systémů ve vztahu k Průmyslu 4.0.....	198
Příloha 2 – Otázky pro výzkumný rozhovor	202
Část 1 – Obecný postoj dodavatele k Průmyslu 4.0.....	202
Část 2 – Schopnost interakce systému s konkrétními technologiemi.....	202
Část 3 – Vliv Průmyslu 4.0 na hodnocení ERP systému.....	205

Úvod

Podnikové informační systémy pro plánování podnikových zdrojů, zkráceně označované jako ERP (z anglického *Enterprise Resource Planning*) systémy, jsou často označovány za páteř (Verville et al., 2007; Cebeci, 2009), mozek (Davies, n.d.) nebo jádro (Basl & Blažíček, 2012) informační infrastruktury podniku. Jedná se o systémy, které firmě umožňují automatizovat a integrovat její hlavní podnikové procesy, sdílet společná data a umožnit jejich dostupnost v reálném čase. Do jejich databáze jsou zapisovány všechny důležité podnikové transakce (Basl & Blažíček, 2012).

ERP systémy v podobě integrovaných softwarových balíčků, poskytujících informační podporu pro veškeré podnikové procesy, jsou již v současné době v podmínkách České republiky široce využívány. Podle statistik Eurostatu využívalo ERP systém v roce 2021 38 % českých podniků, přičemž v případě středních podniků dle klasifikace EU se jednalo o 68 % a v případě velkých podniků dokonce o 93 % všech podniků (Eurostat, 2021). Využívány jsou přitom jak systémy předních světových dodavatelů ERP řešení působících na českém trhu, jako jsou produkty z rodiny¹ SAP, Microsoft Business Central, Oracle nebo IFS, tak původem české systémy, které se soustřeďují primárně na tuzemský trh (případně s přesahem na Slovensko), jako jsou produkty rodiny Helios či Abra, nebo některé ze systémů, které jsou v současné době zastřešeny skupinou Solitea, jako je Byznys nebo Vario.

V oblasti informačních a komunikačních technologií zároveň v současné době dochází k rychlému vývoji, který je spojen především s rozvojem internetu věcí, aditivní výroby, umělé inteligence, Big data a dalších technologií, a který je souhrnně označován jako „Čtvrtá průmyslová revoluce“, případně „Průmysl 4.0“ (viz např. Schwab, 2016; Ross & Maynard, 2021; Rojko, 2017). Lze přitom předpokládat, že toto zavádění nových technologií bude mít své důsledky i pro informační infrastrukturu podniků, a pro ERP systém jakožto její centrální prvek. Právě tomuto tématu, kterým je „Vliv Průmyslu 4.0 na požadavky kladené na ERP systémy“, se věnuje i tato disertační práce.

¹ Výraz „rodina produktů“ je zde využit proto, že se zpravidla nejedná pouze o jediný systém, ale o celou skupinu systémů, které se liší jednak velikostí podniků, na které jsou zaměřeny (např. SAP Business One zaměřený na střední podniky a SAP S4/HANA cílený na velké korporace), jednak architekturou a stářím systému, kdy na trhu v některých případech koexistují systémy od jednoho výrobce v různé fázi vývojového cyklu (např. Oracle JD Edwards EnterpriseOne s novějším Oracle Cloud ERP).

1 Základní východiska

V této kapitole budou shrnuta základní východiska disertační práce v podobě stanovení jejích cílů, vymezení oblasti a tématu výzkumu a formulace výzkumných otázek. Kapitola rovněž stručně představuje typ a model navrženého výzkumu a jeho design, který je následně podrobněji rozebrán ve zbytku práce.

1.1 Cíle disertační práce

Disertační práce si klade dva **teoretické cíle**:

- 1. Identifikovat a predikovat dopady konceptu Průmyslu 4.0 na funkcionality ERP systémů.** Práce by tedy měla odpovědět na otázku, jak se změna ekonomického a společenského prostředí související se vznikem Průmyslu 4.0 projeví na tom, jaké funkcionality budou od ERP systémů jejich současnými i potenciálními uživateli požadovány, a zároveň jaké funkcionality budou jejich dodavateli do těchto systémů nově zahrnuty.
- 2. Identifikovat a predikovat dopady konceptu Průmyslu 4.0 na technickou podstatu ERP systémů.** Na základě nových funkčních požadavků identifikovaných v rámci prvního cíle by práce měla posoudit, jaké budou dopady jejich naplňování na architekturu a technickou podstatu ERP systémů. Jinými slovy, jak moc a jakým způsobem se bude muset technická podstata ERP systémů změnit, aby tyto systémy dokázaly poskytovat funkcionality, které od nich budou v prostředí Průmyslu 4.0 požadovány.

Kromě teoretických cílů si práce klade rovněž **empiricky orientovaný cíl**, související s problematikou posuzování připravenosti konkrétních ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0:

- 3. Navrhnout model sloužící pro posouzení zralosti konkrétního ERP systému ve vztahu k Průmyslu 4.0.** Na základě informací zjištěných v rámci naplňování prvních dvou cílů by měl být vytvořen nástroj, který umožní strukturovaně zhodnotit, nakolik je určitý ERP systému schopen využívat možností, které Průmysl 4.0 nabízí. Tento nástroj by tak měl být využitelný na straně jedné pro potřeby samotných výrobců ERP systémů, kterým poskytne možnost porovnat aktuální technologický a funkční stav jejich systému s požadavky Průmyslu 4.0 a definovat plán vývoje nezbytného pro překonání

případných identifikovaných mezer, na straně druhé pak především pro podnikové IT manažery jako rozhodovací pomůcka během procesu výběru nového ERP systému.

1.2 Oblast výzkumu, téma výzkumu, výzkumné otázky

Zvolenou výzkumnou oblastí je problematika **komplexních podnikových informačních systémů kategorie ERP**, výzkumným tématem práce je potom téma **ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0**.

Jednotlivé termíny použité ve specifikaci výzkumné oblasti a výzkumného tématu, tzn. **ERP systémy** a **Průmysl 4.0**, jsou definovány v rámci kapitoly 3, která je věnována vymezení základních témat.

Aby mohlo být dosaženo cílů, měla by práce odpovědět na dvě základní obecné výzkumné otázky:

VO1 Jaký je a bude dopad Průmyslu 4.0 na ERP systémy?

VO2 Jaký je a bude dopad Průmyslu 4.0 na kritéria výběru ERP systémů?

Obecná otázka **VO1** je dále detailněji rozpracována na úroveň specifických výzkumných otázek, které jsou shrnuty v Tabulce 1:

Tabulka 1: Specifické výzkumné otázky pro obecnou otázku VO1

Číslo specifické výzkumné otázky	Znění specifické výzkumné otázky
SVO1.a	Které technologie Průmyslu 4.0 jsou ve vztahu k ERP systémům relevantní? <i>Pozn. technologie vymezené otázkou 1.a) budou v dalším textu označovány jen jako „relevantní technologie“.</i>
SVO1.b	Jakými funkčními a technickými vlastnostmi by měly ERP systémy disponovat, aby mohly úspěšně interagovat s relevantními technologiemi?
SVO1.c	Jaká je současná míra využívání relevantních technologií v podnicích?
SVO1.d	Jaké překážky brání ve využívání relevantních technologií v podnicích?
SVO1.e	Disponují v současné době ERP systémy nabízené na českém trhu funkčními a technickými vlastnostmi potřebnými pro interakci s relevantními technologiemi?
SVO1.f	Plánují dodavatelé ERP systémů ve střednědobém horizontu 1-3 let upravit funkční a technické vlastnosti svých produktů tak, aby zlepšily jejich schopnost interagovat s technologiemi Průmyslu 4.0?

Zdroj: vlastní zpracování

Logika navržených specifických výzkumných otázek je následující. V rámci zodpovězení **SVO1.a** by měly být z technologií Průmyslu 4.0 vybrány ty, které jsou relevantní ve vztahu k ERP systémům (tzn. které je pro jejich efektivní využití možné nebo dokonce nutné propojit s ERP systémem), a jimiž má tedy smysl se vzhledem k vymezenému výzkumnému tématu dále zabývat. Ostatním technologiím Průmyslu 4.0 již v dalším výzkumu nebude věnována pozornost.

Odpověď na otázku **SVO1.b** by poté měla přinést informaci o tom, jaké požadavky kladou relevantní technologie Průmyslu 4.0, identifikované v rámci zodpovídání **SVO1.a**, na vývoj ERP systémů jak z hlediska uživatelských vlastností a funkcionalit, tak z hlediska technického. Jinými slovy, jaké funkcionality musí ERP systém nabízet, aby mohli být relevantní technologie Průmyslu 4.0 v jeho rámci plně využity, a jaká musí být technická podstata těchto systémů, aby byly schopny požadované funkcionality nabídnout.

Zodpovězení otázek **SVO1.c** a **SVO1.d** by mělo umožnit zmapovat aktuální stav využívání technologií vymezených otázkou SVO1.a. v podnicích – měly by být identifikovány ty relevantní technologie Průmyslu 4.0, které jsou aktuálně ve firmách běžně využívány, v případě technologií, které využívány nejsou, by pak měly být identifikovány příčiny tohoto stavu. V rámci odpovídání na otázku **SVO1.d** by přitom mělo být rovněž zjištěno, zda jednou z příčin nevyužívání některých technologií Průmyslu 4.0 nejsou právě funkční nebo technické nedostatky současných ERP systémů.

Otázka SVO1.e poté zjišťuje, zda ERP systémy dodávané na českém trhu tyto funkcionality v současné době poskytují, nebo zda mezi požadavky Průmyslu 4.0 a schopnostmi ERP systémů těmto požadavkům dostát existuje nesoulad. Zodpovězení otázky **SVO1.f** by pak mělo přinést informaci o tom, zda tento případný nesoulad bude ve střednědobém horizontu² překonán.

² Střednědobý horizont byl v tomto případě zvolen arbitrárně, na základě praktických zkušeností autora práce z oblasti vývoje informačních systémů. Vývoj komplexních funkcionalit nebo i celých nových modulů ERP systému je náročný proces, který svou délkou zpravidla přesahuje krátkodobý horizont jednoho roku. Zároveň je však z důvodu překotného vývoje informačních a komunikačních technologií složité plánovat vývoj na dlouhodobé období např. 5 let, protože aktuální technologie, na základě jejichž možností a omezení by firma vývoj plánovala, mohou být za 5 let již překonány. Z tohoto důvodu byl jako kompromis zvolen střednědobý horizont.

Obecná výzkumná otázka **VO2** je potom podrobněji rozvedena ve specifických výzkumných otázkách shrnutých v Tabulce 2:

Tabulka 2: Specifické výzkumné otázky pro obecnou otázku VO2

Číslo specifické výzkumné otázky	Znění specifické výzkumné otázky
SVO2.a	Podle jakých kritérií je ze strany zákazníků dosud hodnocena kvalita ERP systémů?
SVO2.b	Jaké znalosti relevantních technologií mají pracovníci podniků, kteří se podílejí na rozhodování o dalším rozvoji stávajícího ERP systému ve firmě nebo výběru nového? <i>Pozn. tito pracovníci budou v dalším textu označováni jako „relevantní pracovníci“.</i>
SVO2.c	Jaký význam při hodnocení kvality ERP systému relevantní pracovníci přikládají funkční a technické připravenosti ERP systému na využití relevantních technologií Průmyslu 4.0?
SVO2.d	Jakou váhu má při hodnocení kvality ERP systému jeho připravenost na využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 ve srovnání s dosud využívanými hodnotícími kritérii?

Zdroj: vlastní zpracování

V rámci zodpovídání otázky **SVO2.a** by měla být identifikována kritéria, která byla doposud využívána jako nástroj hodnocení ERP systémů. Tato otázka by tedy měla sloužit ke zjištění dosavadního stavu, který panoval v prostředí před nástupem Průmyslu 4.0.

Odpověď na otázku **SVO2.b** by potom měla přinést informaci, zda jsou si pracovníci, kteří se účastní rozhodování o budoucím směřování ERP systémů ve svých podnicích, vůbec vědomi existence nových technologií, s nimiž by měly ERP systémy schopny interagovat – pokud by tomu tak nebylo, pak by logicky nebyli schopni problematiku těchto technologií zahrnout do procesu výběru nového ERP systému.

Na tuto otázku potom navazuje **SVO2.c**, v jejímž rámci by mělo být zjištěno, zda relevantní uživatelé schopnost ERP systému interagovat s technologiemi Průmyslu 4.0 vůbec berou do úvahy při subjektivním hodnocení kvality ERP systémů, a **SVO2.d**, která zkoumá, jaký význam je při hodnocení kvality ERP systému této schopnosti přikládán ve srovnání s jinými kritérii, jako je např. uživatelská přívětivost systému, modularita apod.

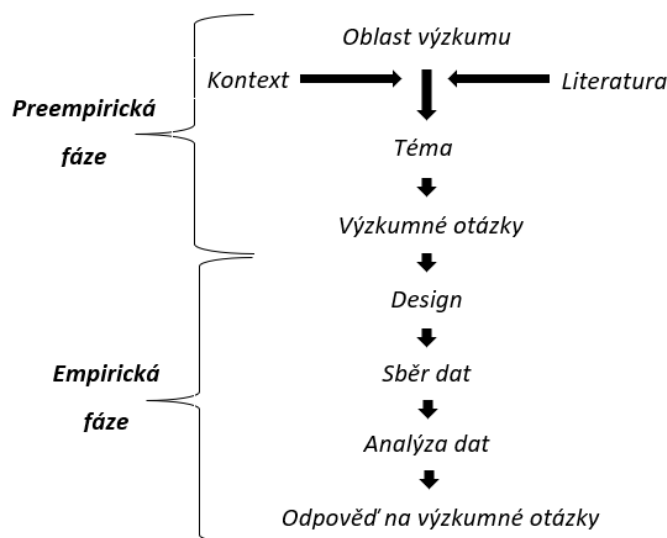
1.3 Typ a model výzkumu, hypotézy

Jak bude podrobněji vysvětleno v kapitole 2.3, problematika Průmyslu 4.0, jakkoliv je v současné době velmi intenzivně diskutována v teorii i praxi, dosud není chápána zcela jednotně, a s pokračujícím technologickým vývojem se proměňují i aktuální představy toho, jaké technologie jsou nebo v budoucnu budou v oblasti Průmyslu 4.0 určující. Obdobně i požadované funkce a technická podstata ERP systémů se neustále vyvíjí s tím, jak se mění požadavky ze strany uživatelů na straně jedné a možnosti současných technologií na straně druhé, což shrnuje kapitola 2.1. Jak je zároveň ukázáno v subkapitole 3.1, množství odborné literatury, která by komplexně zpracovávala vztah ERP systémů a Průmyslu 4.0, je dosud relativně nízké.

Přestože tedy ani Průmysl 4.0, ani ERP systémy není možné označit za zcela nové fenomény, domnívá se autor této práce, že výzkum věnující se tomu, jak uživatelé a dodavatelé ERP systémů reflektují problematiku Průmyslu 4.0 při jejich výběru či vývoji, lze označit za výzkum **explorační**, tzn. výzkum jehož cílem je *zachytit intenzitu a rozsah určitého jevu, problému nebo chování, generovat určitá předběžná tvrzení o jevu nebo testovat možnost provedení rozsáhlejšího výzkumu daného jevu* (Hendl & Remr, 2017, s. 23).

Konkrétní hypotézy, které by predikovaly odpovědi na položené výzkumné otázky, nebyly stanoveny. Důvodem je, že v rámci dosavadního studia literatury nebyla nalezena žádná teorie, na jejímž základě by bylo možné stanovit konkrétní predikce. Formulace hypotéz by tak v tomto případě byla pouze vyjádřením subjektivního názoru autora bez jakýchkoliv rigorózních podkladů. Z tohoto důvodu, v souladu s doporučením Egera a Egerové (2017), byl použit model výzkumu bez hypotéz. Zjednodušený model výzkumu bez hypotéz dle Punche (2015) je znázorněn na Obrázku 1.

Obrázek 1: Zjednodušený model výzkumu bez hypotéz



Zdroj: vlastní zpracování dle Punch (2015), s. 31

1.4 Design výzkumu, metody výzkumu

Pro zodpovězení výzkumných otázek byl zvolen design **smíšeného výzkumu**, který využívá kombinaci nebo propojení kvalitativního i kvantitativního výzkumu (srovnej Eger & Egerová, 2017). Konkrétně byly v rámci výzkumu využívány následující metody:

- **Desk research**, jednak ve formě rešerše odborné literatury, jednak v podobě čerpání informací z dalších zdrojů, obsahujících informace z podnikové praxe, jako jsou webové stránky, produktové listy a analytické dokumenty významných technologických firem, technologické blogy respektovaných odborníků z praxe, publikované příklady dobré praxe popisujících konkrétní úspěšně realizované projekty apod. Tato metoda byla využita především v rámci **SVO1.a** a **SVO2.a**.
- **Dotazníkové šetření** mezi relevantními uživateli ERP systémů, které zkoumalo jednak jejich znalosti Průmyslu 4.0, jednak význam, který přiřkládají různým kritériím při hodnocení kvality ERP systémů. Tato metoda sloužila primárně k zodpovězení **SVO 1.c**, **SVO 1.d**, **SVO 2.b**, **SVO 2.c** a **SVO 2.d**
- **Výzkumný rozhovor** se zástupci výrobců, resp. dodavatelů ERP systémů působících na českém trhu, který měl zjistit jejich názory na přizpůsobení ERP systémů prostředí Průmyslu 4.0. Tyto informace byly použity pro zodpovězení **SVO1.e** a **SVO1.f**

- **Analýza a syntéza**, které byly využity především v situacích, kdy bylo nezbytné podrobněji rozebrat poznatky získané prostřednictvím desk-research, případně i dalších metod. Při zodpovídání otázek **SVO1.a** a **SVO1.b** byla využita především deduktivní analýza, kdy byly konkrétní závěry vyvozovány na základě obecných informací zjištěných z odborné literatury, v ostatních případech potom převážně induktivní analýza a syntéza, která sloužila k vyvození obecnějších závěrů z konkrétních dat. Kombinace deduktivní a induktivní analýzy byla potom využita rovněž při konstrukci modelu zralosti sloužícího jako pomůcka pro vyhodnocení připravenosti ERP systému na interakci s technologiemi Průmyslu 4.0.

1.5 Struktura práce

Zamýšlená struktura disertační práce odpovídá výše diskutované logice obecných a specifických výzkumných otázek. Po definici základních východisek v první kapitole vymezuje druhá kapitola základní termíny, kterých se práce týká – „ERP systémy“ a „Průmysl 4.0“ – a jejich aktuální obsah. Třetí kapitola se potom zabývá vzájemným vztahem ERP systémů a Průmyslu 4.0 po teoretické stránce, a to na základě systematické rešerše, jejíž výsledky jsou v kapitole představeny.

Následující dvě kapitoly jsou poté věnovány realizovanému empirickému výzkumu. Čtvrtá kapitola představuje výzkum zabývající se stávající mírou využívání relevantních technologií Průmyslu 4.0 v prostředí českých podniků zpracovatelského průmyslu, a rovněž tím, jakou roli hraje v kritériích, podle kterých uživatelé ERP systémů hodnotí jejich kvalitu, schopnost jednotlivých systémů s těmito technologiemi interagovat. Obsahem páté kapitoly je potom výzkum provedený mezi českými dodavateli ERP systémů, který zkoumal, nakolik jsou ERP systémy v současné době na technologie Průmyslu 4.0 připravené.

Poslední, šestá kapitola disertační práce potom představuje návrh modelu zralosti ERP systému ve vztahu k Průmyslu 4.0.

2 Teoretická východiska a vymezení základních pojmů

Tato kapitola vymezuje základní pojmy, jimiž se disertační práce zabývá – „ERP systémy“ a „Průmysl 4.0“. Kapitola se přitom věnuje nejen jejich aktuálnímu obsahu, ale i historickému vývoji, s cílem poskytnout čtenáři co nejkomplexnější pohled na zkoumanou problematiku.

2.1 ERP systémy

V rámci této kapitoly bude představen historický vývoj a současný stav integrovaných informačních systémů pro plánování a řízení podniku, označovaných zkratkou ERP.

2.1.1 Historický vývoj ERP systémů - předchůdci

Využívání informačních systémů pro účely plánování podnikových zdrojů je možné vysledovat na přelom 50. a 60. let 20. století, kdy nejprve velké podniky začaly využívat výpočetní techniku pro řízení skladů. V tomto období se objevily první informační systémy, které umožňovaly jednak evidenci stavu zásob (Rashid et al., 2002; Goldston, 2020), jednak generování automatických objednávek na základě jednoduchých modelů řízení skladových zásob³ (Jacobs & Weston, 2007; Katuu, 2020). Tehdejší verze sálových počítačů, na kterých byly tyto systémy provozovány, nicméně ještě nedisponovaly operační pamětí s náhodným přístupem (obvykle označována jako RAM z anglického *Random Access Memory*) ani sekundárními úložišti s přímým přístupem (též označována jako DASD z anglického *Direct Access Storage Device*). Byly tak zcela závislé na paměti se sekvenčním přístupem v podobě magnetických pásek, a to i pro účely výpočtů. To značně limitovalo složitost plánovacích úloh, které bylo s jejich pomocí možné řešit (Jacobs & Weston, 2007). Problém v tomto období spočíval i ve vzájemné nekompatibilitě jednotlivých strojů, takže každý systém musel být vyvíjen vždy specificky pro určitý typ počítače (Hirschheim & Klein, 2012), což znesnadňovalo jejich větší rozšíření.

V průběhu 60. a začátkem 70. let nicméně došlo k řadě vynálezů a inovací technologických postupů, díky kterým se možnosti informačních systémů začaly postupně zlepšovat. V oblasti paměti se jednalo o využití polovodičů pro vznik

³ Typicky se jednalo o model *Economic Order Quantity*, neboli EOQ.

statických (první čip byl vytvořen v roce 1963, komerčně byla tato technologie nasazena v roce 1965 firmou IBM) a později i dynamických RAM (první čip vytvořen v roce 1966, komerčně zavedeno firmou Honeywell v roce 1969) čipů (více viz např. Joyoadikusumo, 2021), v oblasti dlouhodobého uchovávání dat potom o pokrok v oblasti pevných disků, představovaný např. diskem IBM 1311 s výměnnými svazky z roku 1963 nebo diskem IBM 3340 z roku 1973, který integroval plotny a čtecí hlavu do jednoho zapečetěného celku (více viz např. Jacob et al., 2008).

Tyto inovace v oblasti uchovávání dat umožnily rovněž vznik a rozvoj databázových technologií (Berg et al., 2013; Lake & Crowther, 2013). Významnou roli přitom sehrálo konsorcium Conference/Committee on Data Systems Languages (známé rovněž pod zkratkou CODASYL), které stálo jednak za vznikem jazyka COBOL⁴, který se stal na dlouhou dobu standardem pro vývoj podnikových a později i databázových aplikací⁵ (Martin, 2020), jednak za tvorbou datového modelu CODASYL⁶, jehož principy byly široce využívány pro návrhy i řízení databázových systémů až do rozšíření relačních databází (Hainaut, 2018).

Rovněž se začaly projevovat první kroky směřující k unifikaci počítačů, a to především díky firmě IBM, která v roce 1964 představila řadu počítačů 360. Všechny stroje z této řady využívaly stejný operační systém OS/360 a byly vzájemně kompatibilní, což eliminovalo nutnost vyvíjet zcela odlišné verze podnikových informačních systémů pro každý jednotlivý model. Pro zjednodušení komunikace mezi jednotlivými stroji byla potom v roce 1973 vyvinuta v laboratořích firmy Xerox technologie ethernetu (Spurgeon, 2000).

Díky všem těmto inovacím mohla být v 70. letech na trhu uvedena nová skupina informačních systémů, které se zaměřovaly na integrované plánování materiálových potřeb na základě výrobních plánů (Rashid et al., 2002), označovaná jako **Material Requirement Planning (MRP)** systémy. Základní funkcionalita MRP spočívá v rozpadu výrobního plánu, sestaveného na základě objednávek, dle kusovníků na

⁴ Název je odvozen z anglického *Common Business-Oriented Language*.

⁵ I přes své více než 60-leté stáří je tento jazyk dosud v některých systémech využíván. Zpravidla se jedná o rozsáhlé systémy infrastrukturní povahy s dlouhou historií, ve kterých by jeho nahrazení znamenalo pro provozovatele systému jednak velkou pracnost, jednak riziko případné ztráty dat nebo dočasné nefunkčnosti aplikace. Podle agentury Reuters bylo například v roce 2018 aktivně využíváno 220 miliard řádků kódu napsaných v COBOLu, a na tomto jazyce bylo dosud postaveno mimo jiné 43 % bankovních systémů (Thomson Reuters, n.d.).

⁶V originále označovaného jako *CODASYL Data Model*, resp. *CODASYL Network Model*.

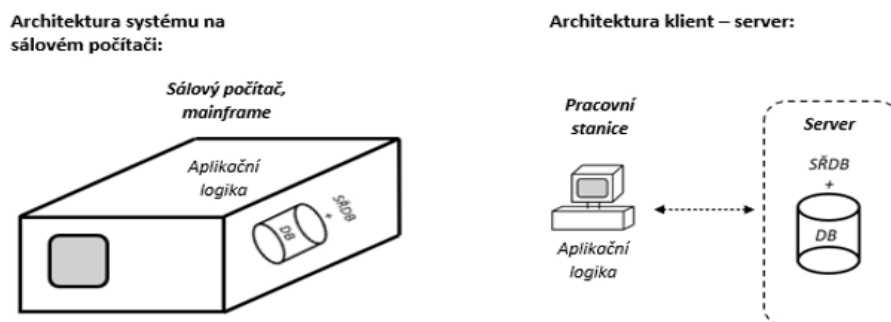
stromovou strukturu potřebných polotovarů a nakupovaných materiálů. Na základě informací o aktuálním stavu zásob na skladě, průběžných dobách výroby jednotlivých polotovarů a finálních výrobků a dodacích lhůt nakupovaných materiálů poté systém zkalkuluje, jaké množství materiálů, polotovarů a finálních výrobků je nutné v jakých termínech objednat/zadat do výroby, aby byl plán výroby splněn (srovnej Basl & Blažíček, 2012, s. 143-148).

Pravděpodobně nejznámějším MRP systémem vzniklým v tomto období je první generace systému SAP (název je odvozen z německého *Systemanalyse und Programmentwicklung*), jehož první verze byla vydána v roce 1973 (O'Reilly, n.d.), a který je dodnes leaderem na trhu podnikových informačních systémů.⁷

Během 70. a 80. let docházelo k dalšímu technologickému vývoji, který se projevoval i v oblasti podnikových informačních systémů sloužících pro plánování. V oblasti hardware spočívala změna jednak v dalším rozvoji kapacit operačních pamětí, disků a růstu procesorového výkonu, jednak v postupném vzniku osobních počítačů. Významným přelomem se z tohoto pohledu stal rok 1981, kdy byl představen počítač IBM 5150 (IBM, n.d.a), jehož architektura se záhy stala standardem i pro vývoj osobních počítačů konkurenčními firmami. Vznik osobních počítačů, využitelných jako pracovní stanice, umožnil v oblasti podnikových informačních systémů postupný přechod na **architekturu klient-server**. Tato architektura s sebou nese značné výhody v oblasti distribuce výkonu, neboť umožňuje, aby se server soustředil na výpočtové operace nad daty, zatímco zobrazování uživatelského rozhraní a interakci s uživatelem zajišťují prostředky pracovní stanice. Rozdíl mezi architekturou systému provozovaného na sálovém počítači a dvouvrstvou architekturou klient-server znázorňuje Obrázek 2:

⁷ Do období 70. let se nicméně datuje i vznik dalších firem zabývajících se problematikou softwarového řízení výroby a plánování, jejichž produkty se později staly široce rozšířenými ERP systémy. Jednalo se především o firmu J.D. Edwards, založenou v roce 1977 (iLearn ERP, 2021), Financieel Management Begeleidingsbureau Baan (FMBB), založenou v roce 1978 (Reference for Business, n.d.), a firmu QAD vzniklou o rok později (QAD, n.d.). Tyto firmy zprvu vyvíjely informační systémy pro plánování a řízení skladového hospodářství a výroby zákazníkům na míru, později ale vyvinuly a uvedly na trh standardizovaná řešení – v případě QADu se jednalo o produkt MFG/PRO představený v roce 1984, v případě J.D. Edwards o systém JD Edwards WorldSoftware poprvé vydaný v roce 1985, v případě Baanupak o systém Triton, dokončený v roce 1991.

Obrázek 2: Architektura systému na sálovém počítači a dvouvrstvá architektura klient-server



Zdroj: vlastní zpracování

Ze softwarového hlediska se potom oproti starším databázovým modelům postupně začaly prosazovat databáze založené na principech relačního modelu, jehož základy položil v roce 1970 E.F. Codd ve svém článku A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks (Codd, 1970). V polovině 70. let byly nejprve vyvinuty dva prototypy relačních databázových systémů, které se záhy dočkaly úspěchu i v komerční sféře – INGRES, vyvinutý na univerzitě v Berkeley, který byl později nahrazen systémem Postgress, a systém R, který vznikl ve výzkumných laboratořích IBM, a na jehož základě byl následně postaven komerční databázový systém IBM DB2 (srv. Berg et al., 2013; Chamberlin et al., 1981). V roce 1977 byla potom založena firma Software Development Laboratories, která o dva roky později vydala databázový systém Oracle (Britannica, n.d.a). Během 80. let potom relační databázové systémy využívající jazyk SQL na trhu jednoznačně převládly a systémy založené na starších modelech se zachovaly pouze jako historická řešení (Berg et al., 2013).

Tyto technologické inovace umožnily zvýšit komplexnost úloh řešených podnikovými informačními systémy, což se v oblasti plánování výroby projevilo vznikem tzv. **Manufacturing Resource Planning** systémů, označovaných zkráceně jako **MRPII**. Tyto systémy k plánování materiálových potřeb, řešených MRP systémy, přidávají navíc kapacitní plánování výroby (Basl & Blažíček, 2012; Sodomka & Klčová, 2010). Vychází se přitom z technologických postupů stanovených pro výrobu jednotlivých dílců, jejichž jednotlivé operace systémy plánují až na úroveň jednotlivých strojů, případně i pracovníků, při současném respektování jejich kapacit. MRPII systémy jsou tedy schopny zajistit časovou i kvantitativní vazbu mezi nákupem a prodejem

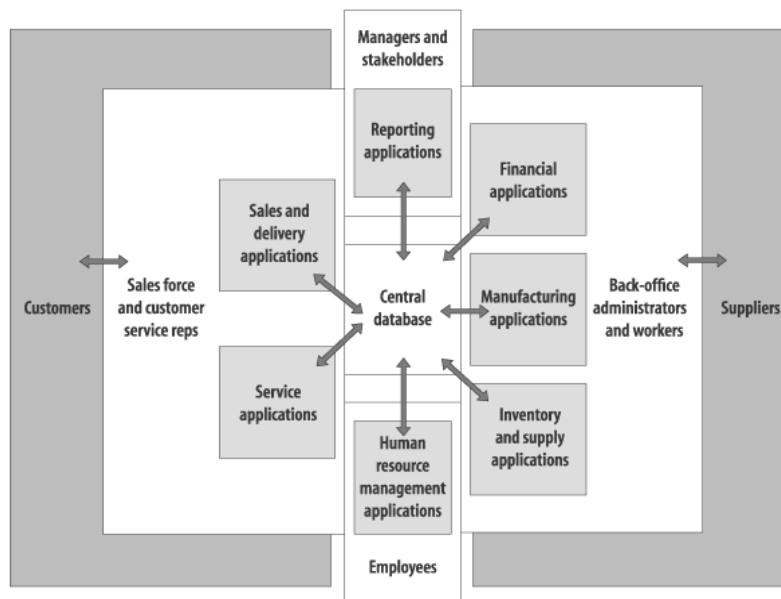
(Sodomka & Klčová, 2010), kdy umožňují přesně určit, v jakém nejbližším termínu může být určité množství určitého výrobku při dané výrobní kapacitě a daných vstupních podmínkách pro nákup materiálu vyrobeno. Oproti předchozí generaci systémů byly rovněž MRPII systémy integrovány s ostatními oblastmi podnikových informačních systémů, a mohly tak přímo zapisovat transakce do účetnictví a upravovat stavy skladu (Katuu, 2020).

2.1.2 Vznik ERP systémů

V průběhu 80.let se funkcionality existujících MRPII systémů postupně rozšiřovaly, jak do nich jejich výrobci včleňovali řízení dalších podnikových procesů, jako byla distribuce, prodej, finance, projektový management nebo řízení vývoje nových produktů (Rashid et al., 2012). Systémy se tak postupně odkláněly od svého původního relativně úzkého zaměření na výrobní a nákupní procesy, a namísto toho začaly komplexně pokrývat veškeré podnikové procesy. Tento vývoj reflektovala významná konzultační firma Gartner, která v roce 1990 takové systémy poprvé označila termínem **Enterprise Resource Planning (ERP)** systém (McCue, 2020). Jedná se o systémy slibující *„hladkou integraci všech informací tekoucích podnikem, jako jsou finanční informace, účetní informace, informace o lidských zdrojích, informace o dodavatelských řetězcích a o zákaznících“* (Davenport, 1998, přeložil MP), které *„jsou lepidlem, které propojuje jednotlivá průmyslová řešení [vertikálně napříč podnikem, pozn. MP] a umožňuje okamžitý přístup shora dolů“* (Amara et al., 2022, přeložil MP). Samotnou myšlenku ERP je pak možné definovat jako *„Metodu efektivního plánování a řízení všech podnikových zdrojů ve výrobním nebo distribučním podniku či v podniku zaměřeném na služby. Tyto zdroje jsou nezbytné k přijetí a realizaci objednávky zákazníka včetně následného dodání a fakturace“* (definice dle APICS dictionary, převzato včetně překladu z Basl & Blažíček, 2012, s. 66-67).

Jednotlivé funkcionality ERP systémů, jejich typické uživatele a komunikaci s vnějším okolím podniku znázorňuje Obrázek 3.

Obrázek 3: Schéma ERP systému



Zdroj: Davenport (1998)

Jak je z Obrázku 3 patrné, základem ERP systému je centrální databáze, v níž se sbíhají data ze všech podnikových procesů. Jednotlivé moduly systému poté slouží různým skupinám uživatelů, kterým zobrazují vybraná relevantní data, přičemž díky jednotné centrální databázi jsou aktuální data dostupná všem uživatelům v reálném čase (Basl & Blažíček, 2012).

Schéma rovněž ilustruje skutečnost, že ERP systémy na rozdíl od předchozích generací plánovacích systémů obsahují navíc moduly řízení financí a účetnictví podniku, řízení lidských zdrojů, prodeje, servisu apod.

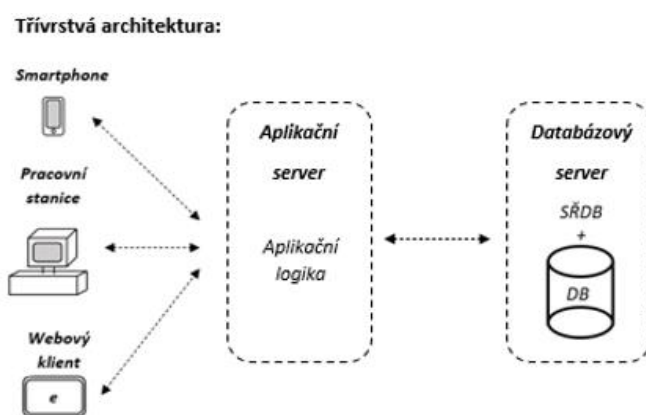
2.1.3 Vývoj od ERP k ERP II

ERP systémy se během 90. let rychle rozšiřovaly napříč firmami a byly postupně doplňovány o další moduly. Typicky se jednalo především o **modul pro řízení skladů** (zkráceně **WMS** z anglického *Warehouse Management System*) (Michel, 2019), **řízení vztahů se zákazníky** (zkráceně **CRM** z anglického *Customer Relationship Management*) a **řízení dodavatelského řetězce** (**SCM** podle *Supply Chain Management*) (Rashid et al., 2012; Belet & Purcarea, 2017) nebo moduly pro sledování a řízení workflow (Wortmann, 1998). Vznik modulů pro komunikaci se zákazníky a dodavateli, společně s rozvojem internetu a e-businessu, pak rovněž znamenal nárůst požadavků na větší otevřenost ERP systémů, a to jednak z hlediska

jejich schopnost komunikace se systémy partnerů (srovnej Scheer & Habermann, 2000; Weston, 2003; Moller, 2004; Rashid et al., 2012; Vasilev, 2013), ale i z hlediska jejich přístupnosti z vnějšku firmy, typicky prostřednictvím webových klientů (Wortmann, 1998).

V reakci na rostoucí požadavky na otevřenost systémů a jejich dostupnost prostřednictvím webových klientů začíná být u některých ERP systémů dosavadní dvouvrstvá architektura klient-server nahrazována **třívrstvou architekturou**, jejíž schéma představuje Obrázek 4.

Obrázek 4: Schéma třívrstvé architektury informačního systému



Zdroj: vlastní zpracování

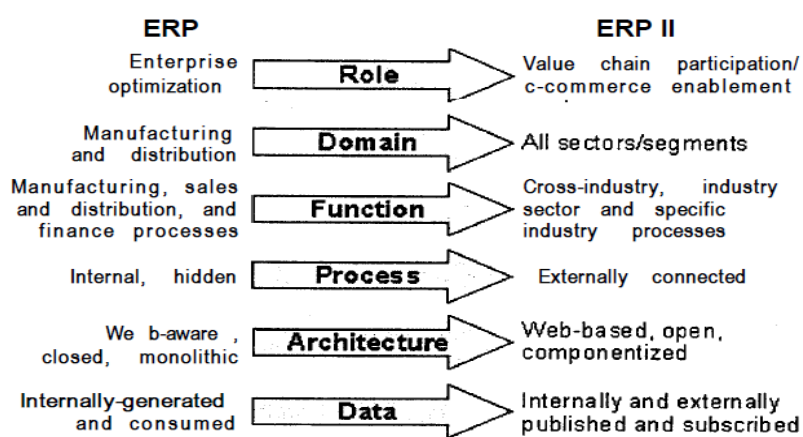
V rámci této architektury je systém členěn na tři vrstvy – prezentační vrstva, typicky v podobě desktopového nebo webového klienta, zajišťuje komunikaci s uživatelem, aplikační vrstva obsahuje aplikační logiku a zajišťuje výpočtové úlohy, zatímco třetí, datová vrstva, obsahuje jednak samotnou databázi systému a systém řízení báze dat, který ji ovládá, jednak případná další datová úložiště, která systém využívá. Kromě dalších výhod, jako je lepší škálovatelnost systému nebo lepší úroveň zabezpečení (IBM, 2020; Amini & Abukari, 2020) je značnou výhodou pro potřeby ERP systémů vyšší flexibilita této architektury oproti dvouvrstvé variantě. Aplikační vrstva totiž může komunikovat s různými typy klientů (např. webový klient, mobilní klient, PC klient). Software tedy může mít různé typy klientů, aniž by bylo nutné pro každý z nich znovu implementovat aplikační logiku, jako by tomu bylo v případě dvouvrstvého systému, kde je logika obsažena v konkrétním klientovi.

Zákazníci začali zároveň postupně požadovat systémy, jejichž funkcionality by byly uzpůsobeny specifikům odvětví, v nichž daný podnik působí. Řešení těchto požadavků

formou customizace dosud nabízených obecně orientovaných ERP systémů nicméně byla zpravidla velmi složitá (a tedy nákladná), začala proto vznikat poptávka po odvětvově orientovaných systémech, které by již v základu reflektovaly specifika daného oboru (Xu, 2011).

Tyto požadavky shrnuli Bond et al. (2000), kteří ve své studii pro společnost Gartner označili ERP systémy za „mrtvé“, přičemž zároveň ohlásili éru systémů **ERP II**, které definovali jako „podnikovou strategii a soubor odvětvově-specifických aplikací, které přinášejí hodnotu zákazníkům a vlastníkům podniku prostřednictvím realizace a optimalizace podnikových a mezipodnikových provozních a finančních procesů“ (Bond et al., 2020 přeložil MP).⁸ Schéma vývoje od ERP k ERP II znázorňuje Obrázek 5.

Obrázek 5: schéma vývoje systému od ERP k ERP II



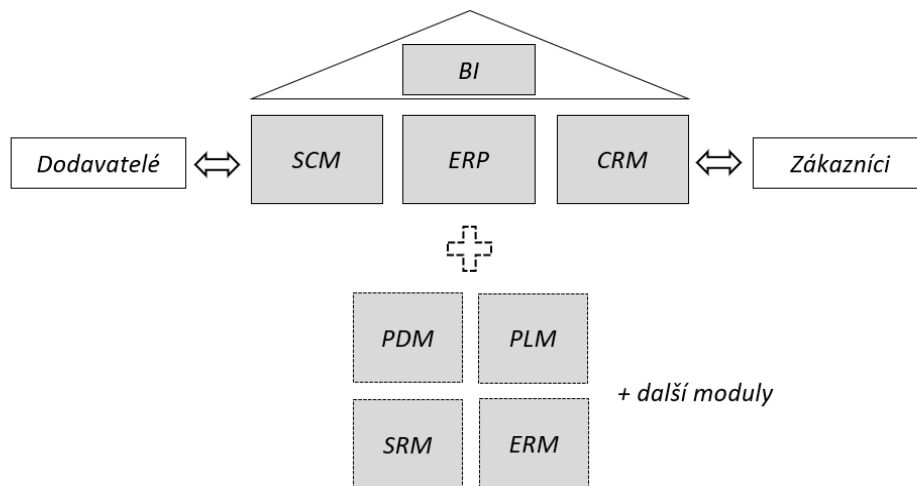
Zdroj: Bond et al. (2000)

Jak je z diagramu v Obrázku 5 patrné, hlavní podstata přechodu od ERP k ERP II spočívá v transformaci z uzavřeného systému monolitického typu, který se soustřeďuje primárně na oblast výroby a pokrývá pouze standardní procesy napříč odvětvími k otevřenějšímu a pružnějšímu systému, který umožňuje komunikaci se systémy dodavatelů a odběratelů, přístup prostřednictvím webového rozhraní, a zahrnuje i specifické procesy jednotlivých odvětví.

Hlavní komponenty, o které je dle Basla a Blažička (2012) ERP II systém typicky oproti předchozí generaci ERP systémů rozšířen, pak ilustruje Obrázek 6:

⁸ Kromě označení ERP II se pro tuto generaci systémů často používá výraz Extended Enterprise Resource Planning System (viz např. Moller, 2004; Wan & Clegg, 2011; Katuu, 2020), který může být zkracován jako e-ERP nebo XRP.

Obrázek 6: Symbolické schéma rozšířeného ERP



Zdroj: vlastní zpracování dle Basl & Blažíček (2012)

Dle Basla a Blažíčka (2012) tedy systémy ERP II oproti předchozí generaci obsahují navíc především:

- Modul **SCM** pro řízení dodavatelsko-odběratelského řetězce, který umožňuje například (srovnej Basl & Blažíček, 2012):
 - plánovat požadavky v řetězci na základě historických dat s ohledem na celkové možnosti nákupu, výroby distribuce a transportu
 - zlepšit řízení v rámci celého procesu, včetně reakcí na změny či problémy
 - eliminovat hluchá místa v rámci logistického procesu
 - určit optimální lokalitu a formu dodavatelského řetězce v konkrétním případě
 - napojit konkrétní nákupní požadavky na možnosti e-procurementu nebo na nákup prostřednictvím elektronického tržiště, automatizovat nákupní činnosti
 - možnost sdílet informace o aktuálním stavu objednávky napříč všemi partnery v rámci řetězce, včetně zákazníka
- Modul **CRM** pro řízení vztahů se zákazníky, který poskytuje především funkcionality (srovnej Basl & Blažíček, 2012):
 - podpory front-office procesům podniku, kdy je v systému zaznamenávána každá interakce se zákazníkem a systém tak obsahuje kompletní historii každého zákazníka

- přímé interakce se zákazníkem, což zahrnuje především komunikaci prostřednictvím internetu, automatizované odpovědi apod.
- analýzy a vyhodnocování dat, např. v podobě analýz úspěšnosti marketingových kampaní, vyhodnocování zákaznického chování, analýzy profitability jednotlivých zákazníků apod.
- Modul **BI** (z anglického *Business Intelligence*) pro potřeby manažerských analýz a vyhodnocování dat, který umožňuje např. (srovnej Basl & Blažíček, 2012):
 - reporting dat pro manažerské řízení včetně trendových analýz
 - realizaci detailních multidimenzionálních rozborů dat
 - zadávání a realizaci ad hoc dotazů nad daty, případně jejich předdefinování

Některé ERP systémy pak zahrnují i specifitěji zaměřené moduly, jako jsou **moduly pro správu dat vztahující se k výrobkům** (*Product Data Management*, zkráceně **PDM**), **řízení životního cyklu výrobků** (*Product Lifecycle Management*, **PLM**), **řízení vztahů s dodavateli** (*Supplier Relationship Management*, **SRM**), **řízení vztahů se zaměstnanci** (*Employee Relationship Management*, **ERM**), případně i další moduly (Basl & Blažíček, 2012).

2.1.4 Další iterace ERP systémů - ERP III

Jak bylo uvedeno v předchozí subkapitole, jednou ze základních vlastností ERP II systémů je jejich větší otevřenost vůči systémům odběratelů a dodavatelů. S těmi byly ERP II systémy schopny komunikovat typicky prostřednictvím elektronické výměny datových zpráv, ať již v některém ze standardizovaných formátů⁹. V závěru prvního desetiletí 21. století se nicméně objevily nové požadavky na otevřenost ERP systémů, které již nesouvisely pouze s B2B komunikací mezi jednotlivými podnikovými informačními systémy jako doposud. Se vznikem a rozvojem sociálních sítí a komunikace jejich prostřednictvím vyvstala nutnost, aby byly ERP systémy schopny s těmito sítěmi interagovat, získávat z nich data o aktuálních i potenciálních

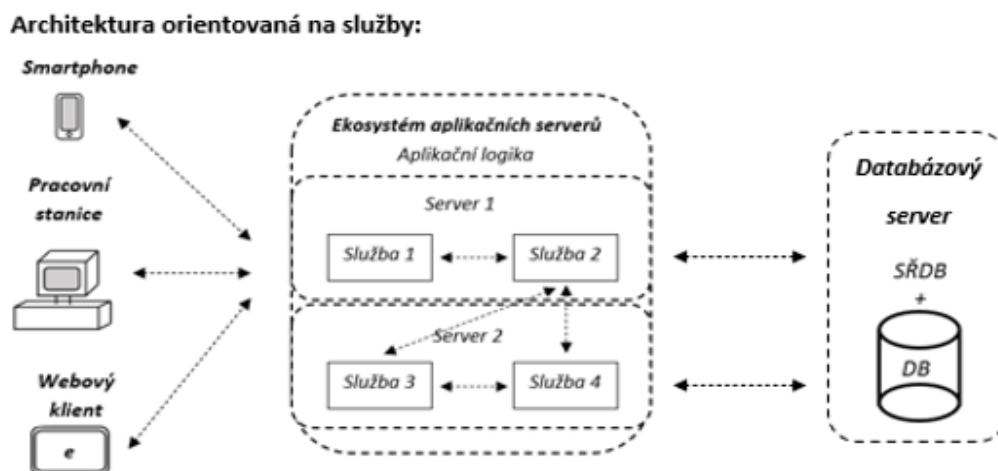
⁹ Široce využívány jsou například obecné standardy United Nations/Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport (zkráceně označované jako UN/EDIFACT nebo pouze EDIFACT), případně oborově zaměřené standardy, zpravidla označované podle definující organizace – jedná se např. o standard Spolku německého automobilového průmyslu (Verband der Automobilindustrie, zkráceně označován jako standard VDA), který je kromě německého automobilového sektoru využíván i v rámci jeho subdodavatelů napříč Evropou, nebo obecný evropský standard pro automobilový průmysl definovaný sdružením Organization for Data Exchange by Tele Transmission, který je podle této organizace označován jako ODETTE.

zákaznických a tato data zpracovávat (Wood, 2010; Vasilev, 2013). Rozvoj služeb a různých kolaborativních nástrojů poskytovaných prostřednictvím internetu potom vyvolal požadavek, aby s nimi byl ERP systém schopen komunikovat a spolupracovat (Wood, 2010, Hubean & Fotache, 2014). Systémy, které jsou takové míry otevřenosti a spolupráce s různými webovými platformami schopny, jsou označovány jako **ERPIII**.

Wood (2010) je definuje jako „rozšíření technologických možností, které do podnikového systému vnášejí spolupráci se zákazníky a trhem v širším pojetí (...) Prostřednictvím spolupráce, přímého kontaktu, sociálních médií a různých zdrojů dat zevnitř i zvnějšku podniku integruje ERPIII fanoušky i kritiky do rozšířené struktury ERP, resp. ERPII“ (Wood, 2010, přeložil MP).

Z technického hlediska se tato generace ERP systémů od předchozích typicky významně liší architekturou. Pro dosažení flexibilní obousměrné komunikace s různými platformami není příliš vhodná ani původní dvouvrstvá architektura klient-server, typická pro ERP systémy, ani pokročilejší třívrstvá architektura, která se začala uplatňovat se vznikem webových klientů u systémů ERPII. Wan & Clegg (2011), Hurbean & Fortache (2014) i další autoři proto ERPIII systémy typicky spojují s tzv. **architekturou zaměřenou na služby** (známější pod pojmem **SOA** z anglického *Service Oriented Architecture*), která spočívá v rozčlenění aplikace na jednotlivé komponenty (= služby), které se poté jeví jako nezávislé vrstvy, resp. subsystémy, z nichž každý vykonává určité přesně specifikované funkce, které mohou být volány jinými komponentami (IBM, 2021). Schéma takové architektury znázorňuje Obrázek 7:

Obrázek 7: Architektura orientovaná na služby



Zdroj: vlastní zpracování

Tato architektura poskytuje ERPIII systémům potřebnou flexibilitu a adaptabilitu vůči externí komunikaci, kdy různé externí entity mohou komunikovat pouze s vybranými, pro ně relevantními komponentami systému, aniž by se zároveň musely zabývat komunikací se zbylými prvky a respektováním jejich business logiky (srovnej Voltz, n.d.). Další přínos SOA architektury pak spočívá v možnosti distribuovat jednotlivé komponenty, a tedy i jimi prováděné výpočty, na různé servery, a to i redundantně. To umožňuje zamezit situacím, kdy jedna výpočetně náročná operace, vyvolaná např. náročnou externí komunikační úlohou, zpomalí celý monolitický systém.¹⁰

Druhou významnou technologickou změnou v rámci ERPIII je pak to, že namísto on-premise řešení jsou často provozovány v **cloudu** (Wan & Clegg, 2011, Hurbean & Fotache, 2014; Beric et al., 2018). To s sebou kromě procesních změn a změn obchodního modelu přináší z technologického hlediska snadnou škálovatelnost, lepší schopnost komunikace s jinými cloudovými řešeními¹¹ a větší přístupnost systému i zvnějšku podniku (Duan et al., 2013; Elmonem et al., 2016). Všechny tyto vlastnosti jsou přitom významné pro fungování systémů ERPIII. Hlavní změny mezi jednotlivými generacemi ERP systémů znázorňuje Obrázek 8:

Obrázek 8: Schéma vývoje od ERP k ERPIII

ROLE Enterprise optimization and integration	Value chain participation	Value network, virtual value chain
DOMAIN Manufacturing and distribution	All sectors	Strategic alliances, network collaboration
FUNCTION Manufacturing, sales and distribution, financials	Industry sector and cross-industry	Global industry sectors
PROCESSES Internal, hidden	Externally connected, inter-enterprise relations	Open network to create borderless enterprise
ARCHITECTURE Web-aware, closed, monolithic	Web-based, open, componentized (EAI)	Cloud-based, Service Oriented (SOA)
DATA Internally generated and consumed	Internally and externally published and subscribed	Externally exchange via cloud computing
ERP I	ERP II	ERP III

Zdroj: Hurbean & Fotache (2014)

¹⁰ Na druhou stranu je nicméně nutné poznamenat, že komunikace jednotlivých komponent v rámci SOA s sebou přirozeně nese určitou časovou spočívající v serializaci a deserializaci jednotlivých zpráv, a v jejich samotném síťovém přenosu. Proto je možné se zejména ve starší odborné literatuře setkat s názorem, že systémy postavené na SOA jsou z principu pomalejší (viz např. Bianco et al., 2007 nebo Swientek et al., 2008). V praxi závisí celkový dopad implementace SOA architektury na výkon vždy na konkrétním případě a implementaci.

¹¹ Např. právě v podobě sociálních sítí nebo služeb Google.

2.1.5 Cloudové ERP systémy

Pro úplnost je třeba dodat, že problematika provozu v cloudu je v současné době v rámci ERP systémů diskutována i zcela nezávisle na konceptu ERPIII. V literatuře jsou takto provozované ERP systémy označovány jako C-ERP, resp. CERP systémy, a tento termín je používán bez jakékoliv souvislosti s problematikou ERPIII. Definice toho, jaký ERP systém je možné označit za C-ERP přitom není zcela jednoznačná, ale jako typické vlastnosti je zdůrazňována agilita systému, prakticky neomezená škálovatelnost, virtualizace a provoz formou služby (tzn. poskytování funkcionalit formou *on-demand* a platby za jejich čerpání) – více viz např. Marinho et al. (2021).¹²

Právě díky těmto vlastnostem jsou C-ERP systémy označovány jako vhodné především pro potřeby malých podniků, pro které představují okamžitě použitelné řešení, jehož implementace není podmíněna vysokými vstupními investicemi, jako je tomu v případě tradičních systémů provozovaných on-premise (Perera et al., 2018; Marinho et al., 2021). Naopak v případě větších podniků panují větší obavy z umístění kritických dat mimo kontrolu podniku, z tohoto důvodu se tyto podniky dosud více drží tradičních ERP systémů, provozovaných v jejich vlastním prostředí (Marinho et al., 2021).

2.1.6 Další možný vývoj ERP systémů – problematika udržitelnosti

ERPIII jsou prozatím poslední generací ERP systémů. V odborné literatuře jsou nicméně již nyní diskutovány možné směry jejich dalšího vývoje, které spočívají především v integraci informací z dalších oblastí, které dosud v rámci ERP systémů nebyly sledovány a řízeny. Tento potenciální vývoj reflektuje především zvýšený zájem podniků o to, zda je jejich provoz, respektive i celý jejich dodavatelsko-odběratelský řetězec a kompletní životní cyklus jejich produktu udržitelný, a potřeba podniků propojit informace o udržitelnosti s informacemi nutnými pro plánování a řízení provozu (De Soete, 2016). Aby byly ERP systémy schopny takto integrované informace poskytnout,

¹² Zde je nicméně třeba poznamenat, že tato vysoká agilita a škálovatelnost nastává především u tzv. „veřejných“ cloudů, kdy je organizace využívající daný systém jen jedním z mnoha nájemců (v angličtině *tenantů*, proto se pro tuto variantu cloudu rovněž používá výraz *multi-tenant architecture*). V takovém případě může daná organizace od infrastruktury, na které je cloud provozován, zcela abstrahovat, a dodatečné licence cloudového ERP nebo diskový prostor si zpravidla u poskytovatele zajistí formou internetového objednávkového formuláře. V případě tzv. „soukromých“ cloudů (neboli *single-tenant architecture*), kdy je určitý server v cloudu provozován poskytovatelem výhradně pro potřeby dané organizace, je míra okamžité flexibility, škálovatelnosti a abstrahování od správy infrastruktury zpravidla nižší (více o problematice soukromého a veřejného cloudu viz subkapitola 2.3.2 této práce, případně např. VMWare (n.d.) nebo Microsoft (n.d.).

je třeba je doplnit o příslušné moduly sloužící pro evidenci dat týkajících se aspektů udržitelnosti a jejich následné vyhodnocování a reporting. Zvezdov a Hack (2016) v této souvislosti uvádějí příklad firmy Danone, která svůj ERP systém rozšířila o modul pro sledování uhlíkové stopy jednotlivých podnikových činností.

Několik autorů (Wu & He, 2009; Wu & He, 2011; Xu et al., 2011) v reakci na tento vývoj prezentovalo vizi **Entire Resource Planning**, resp. **Complete Resource Planning** systémů, definovaných jako „*systémy ve kterých jsou koncepty ERP, ERP II a ERP III integrovány a rozšířeny tak, aby zahrnuly zdroje využívané a vytvářené podniky v různých odvětvích, v kontextu ekonomického a společenského vývoje. V celkovém plánování zdrojů nejsou zahrnuty jen toky materiálu, ale veškerých společenských a přírodních zdrojů*“ (Wu & He, 2011, Přeložil MP). Tato vize nicméně nebyla zatím podrobněji rozpracována, ani příliš široce reflektována v odborné komunitě.

Jiným, třebaže obsahově do značné míry podobným, konceptem, který na tento vývoj reaguje, jsou potom systémy označované zkratkou **S-ERP** z anglického **Sustainable Enterprise Resource Planning Systems**¹³ (Chofreh et al., 2014; Chofreh et al., 2018; Goldston, 2020; Lacurezeanu, 2021). Takový systém je definován jako „*informační systém řízený pochopením potřeby udržitelnosti, která pokrývá všechny aspekty hodnotového řetězce*“ (Chofreh et al., 2014, přeložil MP). Na rozdíl od tradičních ERP systémů, v nichž se sbíhají informace relevantní pro řízení podniku s cílem maximalizace jeho zisku, tak S-ERP zahrnují rovněž informace nutné pro udržitelné řízení ostatních pilířů v rámci tzv. tripple-bottom line, tzn. lidí (*people*) a planety (*planet*).

Koncepty Entire Enterprise Planning a Sustainable Enterprise Resource Planning systémů nicméně dosud nebyly odbornou komunitou všeobecně uznány jako další vývojový stupeň ERP systémů. To je možné doložit údaji z citační databáze Web of Science, která k 19.2.2024 obsahovala pouze jediný záznam, který obsahoval některý z termínů „Entire Resource Planning“ nebo „Complete Resource Planning“ ve vyhledávacím kritériu „Topic“, přičemž se jedná o práci samotných autorů tohoto

¹³ Do češtiny se tento termín prozatím standardně nepřekládá. Přímý překlad „udržitelné systémy pro plánování podnikových zdrojů“, který by se nabízel, nepovažuje autor této práce vhodný jednak vzhledem k definici těchto systémů, jednak vzhledem ke skutečnosti, že termín „udržitelnost informačního systému“ je v podnikové praxi zpravidla používán v souvislosti se zajištěním dlouhodobé kontinuity provozu systému, nikoliv s environmentálními aspekty. Jako vhodný překlad odpovídající obsahu termínu si tak autor dovoluje navrhnout „systémy pro plánování podnikových zdrojů respektující principy udržitelnosti.“

termínu, Wu a He. Co se týče termínu „Sustainable Enterprise Resource Planning“, ten se ve vyhledávacím kritériu „Topic“ objevil celkem dvanáctkrát, devět z těchto výskytů však byly práce jedné výzkumné skupiny vedené doktorem Chofrehem. Lze tedy konstatovat, že tyto vize možné budoucnosti ERP systémů jsou zatím rozvíjeny především autorskými kolektivy, které je definovaly.

2.2 Čtvrtá průmyslová revoluce a Průmysl 4.0

Tato kapitola se zabývá problematikou průmyslových revolucí, především s důrazem na zatím poslední, tzv. „Čtvrtou průmyslovou revoluci“, která ve světovém hospodářství v současné době probíhá.

2.2.1 Historie průmyslových revolucí

Hospodářství rozvinutých zemí doposud prošlo **třemi vlnami průmyslové revoluce**. **První průmyslová revoluce**, datovaná na konec 18. a počátek 19. století¹⁴, byla umožněna rozvojem mechanizace. Její počátek je spojován především s vynálezem parního stroje Jamesem Watem (patent udělen v roce 1769¹⁵) a prvního mechanického tkalcovského stavu Edmundem Cartwrightem (patentován v roce 1785) (Britannica, n.d.b), kromě těchto nových vynálezů však hrály v tomto období dosud významnou roli i stroje poháněné kinetickou energií vody (Lukac, 2015). Mechanizace přitom umožnila nejen vyšší efektivitu výroby, ale i těžby surovin, především uhlí. Racionalizace těžby uhlí potom vedla k poklesu jeho ceny, a zavádění mechanizace v odvětví těžby tak zajišťovalo levný zdroj energie nutné pro provoz mechanizace ve výrobě, a tedy pro vznik průmyslu v moderním slova smyslu (Allen, 2006).

Ke **druhé průmyslové revoluci** došlo o sto let později, obvykle je datována mezi roky 1870-1914 (Mokyr, 1998). Z technologického hlediska byla spojena především s rozvojem elektroenergetiky, což vyústilo v elektrifikaci závodů a později i domácností, důležitou roli hrál také rozvoj chemického průmyslu, ocelářství, a rovněž technologií na konzervaci a chlazení potravin (Carvalho & Cazarini, 2020). Významným předělem

¹⁴ Jak uvádí Nef (1943), v anglosaských zemích se dlouho používala kanonická datace 1760-1832.

¹⁵ James Watt nicméně nebyl původním autorem myšlenky na využití vodní páry pro generování mechanické energie. Jeho parní stroj byl bezprostředně inspirován tzv. „ohňovým strojem“ Thomase Newcomena, ve kterém byl pomocí vodní páry píst nejprve zdvihán, aby byl po následném vstříknutí chladné vody do válce, kondenzací páry a vytvoření podtlaku stlačen atmosférickým tlakem působícím na píst zpět do spodní polohy. I Newcomen přitom vycházel z práce dalších vynálezců, především Denise Papina (Králová, n. d.).

byl i vynález telefonu¹⁶, který umožnil okamžitou dálkovou komunikaci na zcela jiné úrovni než do té doby existující telegraf, což vedlo k dalšímu rozvoji obchodu. Z hlediska výrobních procesů je pak charakterizována rozvojem hromadné výroby mechanických výrobků formou kompletace finálního produktu z jednotlivých masivně vyráběných vyměnitelných součástí. Tento způsob výroby se nejprve rozšířil v amerických zbrojovkách¹⁷ (Mokyr, 1998), plného využití se následně dočkal se zavedením pohyblivé výrobní linky v továrně Highland Park automobilky Ford v roce 1913 (Ford, n.d.). V konečném důsledku tak druhá průmyslová revoluce vedla k intenzivní racionalizaci a specializaci výroby (Jevons, 1931) a výraznému snížení jednotkové ceny průmyslových výrobků, které se díky tomu mohly rozšířit mezi široké vrstvy obyvatelstva.¹⁸

Přestože např. Haradhan (2021) nebo Groumpos (2021) datují počátek **třetí průmyslové revoluce** již do padesátých let 20. století, většina autorů (např. Lukac, 2015; Roberts, 2015; Taalbi, 2017 nebo Carvalho & Cazarini, 2020) za dobu jejího vzniku označuje přelom 60. a 70. let 20. století. Panuje nicméně shoda na tom, že tato revoluce byla charakterizována postupným přechodem od analogových technologií k digitálním, což se projevilo nejprve vznikem prvních podnikových informačních systémů a rozvojem počítačově řízené výroby v podobě robotů a numericky řízených (NC) strojů, později pak postupným pronikáním výpočetní techniky a s tím související automatizace do dalších oborů lidské činnosti. Např. Helfgott (1986) pak jako součást třetí průmyslové revoluce zdůrazňoval i změny v organizaci a řízení podniků, kdy kombinace výše uvedených technologických změn na jedné straně a změn ve světové ekonomice na straně druhé (růst konkurence pro výrobní podniky v tradičních vyspělých ekonomikách jednak ze strany Japonska, jednak ze strany rozvojových zemí s nízkou cenou práce, zvyšování cen surovin apod.) vedla podniky k postupnému

¹⁶V tomto případě není možné zcela jednoznačně uvést rok a autora vynálezu. Alexander Graham Bell a Elisha Gray podali nezávislé žádosti o patent na patentovém úřadě 14.2.1876, Bellova žádost byla následně uznána jako první. Bell ale zřejmě neoprávněně využil předchozí práci Antonia Meucciho, který již předtím vynalezl přístroj „teletrophono“ (Karlsson & Lugn, n.d.).

¹⁷Za jeho vynálezce je považován Eli Whitney, který jej na přelomu 18. a 19. století použil při výrobě mušket pro americkou armádu (Eli Whitney Museum and Workshop, n.d.).

¹⁸Typickým příkladem tohoto vývoje se stal automobil Ford Model T. Na začátku výroby v roce 1908 byl prodáván za 825\$, zatímco v roce 1925 Ford mohl jeho cenu díky racionalizaci výroby snížit na pouhých 260\$. Právě nízká cena umožnila jeho masivní prodejnost a průnik i mezi nižší vrstvy populace – v roce 1921 tvořil Model T téměř 57 % celosvětových prodejů automobilů, a celkem ho bylo vyrobeno cca 15 000 000 kusů (Weber, 2008).

přechodu od rigidní hromadné výroby s důrazem na co nejnižší náklady, která byla výsledkem předchozí průmyslové revoluce, k flexibilnější výrobě i formám řízení.

Podle některých autorů (např. Haradhan, 2021; Roberts, 2015) třetí průmyslová revoluce dosud neskončila, a i současné technologické změny jsou jejím dalším pokračováním. V současné době nicméně převažuje názor, že aktuální technologický rozvoj především v oblasti informačních a komunikačních technologií představuje další, v pořadí již **čtvrtou průmyslovou revoluci**.

Myšlenka existence nové průmyslové revoluce se objevila poprvé v roce 2011, kdy nejprve 1. dubna organizace Verein Deutscher Ingenieure (VDI, česky *Spolek německých inženýrů*) publikovala článek „Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution“ (česky *Průmysl 4.0: s internetem věcí na cestě k čtvrté průmyslové revoluci*), na který navázala prezentace těchto myšlenek na veletrhu Hannover Messe 2011 4. – 8. dubna.

V tomto článku, který zavedl pojmy **Průmysl 4.0** a **Čtvrtá průmyslová revoluce**, se autoři zamýšleli konkrétně nad budoucností výroby v Německu jakožto zemi s vysokými mzdovými náklady, jejich závěry je nicméně možné v zásadě aplikovat na jakoukoliv rozvinutou průmyslovou ekonomiku. Jako nutnou podmínku pro udržení konkurenceschopnosti výrobních podniků v takové zemi oproti rozvojovým zemím s nižší cenou práce vidí zvyšování efektivity prostřednictvím inovací výrobního procesu a využívání moderních technologií.

Kagerman et al. (2011) přitom vyslovili tezi, že inovace spojené s třetí průmyslovou revolucí, spočívající především v počítačově řízené výrobě, byly již v německé ekonomice úspěšně využity. Masivní rozvoj senzorů, komunikačních sítí, inteligentních systémů a informačních a komunikačních technologií obecně, který umožňuje vznik tzv. **Internetu věcí** (často též označovaného jako IoT z anglického *Internet of Things*) však podle těchto autorů přináší další stupeň průmyslové revoluce. Tato v pořadí již čtvrtá průmyslová revoluce bude charakteristická vznikem **Kyber-fyzických systémů** (též CPS z anglického *Cyber-Physical Systems*), které budou propojovat reálný prostor s prostorem virtuálním. V rámci těchto systémů spolu budou virtuální reprezentanti jednotlivých fyzických entit (nejen výrobních strojů, ale i materiálů a výsledných produktů) vzájemně komunikovat a organizovat se, kyber-fyzické systémy budou tedy charakteristické decentralizovaným řízením.

Jeden z autorů článku, prof. Wolfgang Wahlster, rovněž následně pro lepší přehlednost sestavil jednoduchý diagram znázorňující čtyři stupně průmyslové revoluce, který 15. června téhož roku zveřejnil na internetu (Research and Innovation Centre on Advanced Industrial Production, 2020), a který je znázorněn na Obrázku 9.

Obrázek 9: Čtyři stupně průmyslové revoluce



Zdroj: German Research Center for Artificial Intelligence (2021)

2.2.2 Čtvrtá průmyslová revoluce, Průmysl 4.0 a jejich přijetí

Co se týče vzájemného vztahu obou termínů, tzn. Čtvrté průmyslové revoluce a Průmyslu 4.0, ten nebyl v článku přesně specifikován, samotný termín „Industrie 4.0“ se v něm ostatně objevil pouze dvakrát – v nadpisu a v závěrečné zmínce o stejnojmenném výzkumném projektu. Přestože by bylo jistě možné diskutovat o tom, zda jsou tyto termíny rovnocenné, nebo mezi nimi existují rozdíly (nabízelo by se např. chápání čtvrté průmyslové revoluce jako procesu, jehož výsledkem je vznik prostředí Průmyslu 4.0), v současné době jsou používány nejčastěji jako vzájemně zaměnitelné výrazy¹⁹, a to jak v odborné literatuře (viz např. Stancioui, 2017; Adebayo et al., 2019 nebo Koh et al., 2019), tak i v populárních zdrojích, které však slouží jako významný zdroj informace pro praxi (viz např. Marr, 2018 nebo Wikipedia, n.d.). Stejný přístup

¹⁹ Tzn. jednotliví autoři je chápou buď jako doslovná synonyma, nebo jejich vzájemný rozdíl považují za natolik subtilní, že necítí potřebu jej reflektovat.

bude respektován i v této práci a oba termíny tak budou nadále chápány jako synonyma.

Myšlenka Čtvrté průmyslové revoluce a Průmyslu 4.0 se v zemích s rozvinutou průmyslovou výrobou záhy rychle rozšířila.²⁰ Již v roce 2012 zřídilo v Německu Spolkové ministerstvo školství a výzkumu pracovní skupinu Industrie 4.0, která se měla touto problematikou zabývat. V roce 2013 byla na Hannover Messe následně hlavními německými průmyslovými a inženýrskými svazy Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien (BITKOM, česky *Spolková asociace pro informační technologie, telekomunikace a nová média*), Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA, *Německá asociace strojírenského průmyslu*) a Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (ZVEI, *Centrální asociace elektrotechnického a elektronického průmyslu*) založena za podpory německé vlády stejnojmenná platforma, která se od té doby průběžně rozšiřuje. Úkolem platformy je všeobecná podpora přechodu německé ekonomiky k Průmyslu 4.0, a to prostřednictvím vývoje nových konceptů a jejich transferu do praxe, podpory firem poskytováním informací a příkladů dobré praxe, a přispíváním do mezinárodní diskuse o Průmyslu 4.0, zejména v oblasti standardizace (Plattform Industrie 4.0, n.d.a).

Obdobně na očekávanou čtvrtou průmyslovou revoluci záhy reagovaly i další významné průmyslové ekonomiky. Např. francouzská vláda ustavila v roce 2015 program Industrie du Future, jehož cílem má být podpora podniků v zavádění inovací a přechodu k digitální ekonomice. Následně byla v rámci tohoto programu založena Alliance Industrie du Futur jakožto platforma pro komunikaci a spolupráci mezi veřejným a soukromým sektorem v této oblasti (European Commission, 2017). Čína pak ve stejném roce ohlásila vznik programu Made in China 2025, který představuje desetiletou strategii pro modernizaci a rozvoj 10 strategických průmyslových odvětví. Tento program je otevřeně inspirován německým Industrie 4.0 a klade tak velký důraz

²⁰ Podle Wolfganga Wahlstera tomu do značné míry napomohla právě publikace diagramu znázorňujícího jednotlivé stupně průmyslových revolucí. Tento diagram začal být po svém zveřejnění okamžitě intenzivně přebíráán dalšími autory (Research and Innovation Centre on Advanced Industrial Production, 2020) a dodnes se jeho parafráze objevují ve velkém množství prací, které se touto problematikou zabývají.

Přijetí myšlenky čtvrté průmyslové revoluce pak jistě napomohla i skutečnost, že ji vzala za svou vlivná mezinárodní nezisková organizace World Economic Forum (WEF, *Světové ekonomické fórum*), jejíž zakladatel profesor Klaus Schwab dokonce v roce 2016 vydal knihu *The Fourth Industrial Revolution* a o dva roky později pak navazující *Shaping the Future of Fourth Industrial Revolution*.

na digitalizaci, automatizaci, ale i ekologii (Institute for Security & Development Policy, 2018). Rovněž v České republice, která dle statistických srovnání patří k nejprůmyslovějším zemím EU (ČSÚ, 2020), iniciovalo v roce 2015 Ministerstvo průmyslu a obchodu vznik studie Iniciativa Průmysl 4.0, jejíž výstup byl schválen vládou dne 24.8.2016. Hlavním cílem iniciativy bylo „*zmobilizovat klíčové rezorty a reprezentanty průmyslové sféry k vypracování podrobných akčních plánů v oblastech politického, ekonomického a společenského života*“ (MPO, 2016).²¹

V jiných průmyslových zemích se iniciativy nejprve chopily soukromé společnosti. Ve Spojených státech byla již v roce 2012 založena Smart Manufacturing Leadership Coalition²² jakožto společná platforma soukromých firem, výzkumných institucí a univerzit (přičemž i tyto organizace jsou v USA převážně soukromého charakteru). Její úkoly měly být obdobné jako v případě německé Platform Industrie 4.0, nepodařilo se jí však dosáhnout obdobné míry přijetí ze strany jednotlivých aktérů a její aktivity zejména v posledních letech jsou spíše sporadické. O dva roky později bylo v USA pěticí velkých technologických firem založeno Industrial Internet Consortium²³, jehož cílem je zlepšování podmínek pro rozvoj IoT. Konečně v roce 2020 byla v USA založena organizace Advanced Manufacturing International, která se zaměřuje na podporu digitální transformace malých a středních podniků.

Rovněž v Japonsku došlo v roce 2015 k založení mezipodnikové platformy Industrial Value Chain Initiative. Jejím účelem je pomoci japonskému průmyslu, jehož úspěch byl dosud založen především na preciznosti jednotlivých dělníků a dokonalém zvládnutí jednotlivých výrobních procesů, přizpůsobit se novému paradigmatu, kde bude zásadní roli hrát především konektivita a kooperace mezi všemi entitami ve výrobě, a stát se jedním z vůdčích sil při přechodu k tomuto paradigmatu (Industrial Value Chain Initiative, n.d.).

²¹ Implementace závěrů této studie do praxe nicméně neprobíhá příliš uspokojivým tempem, což nejlépe ilustruje skutečnost, že v roce 2021, tedy pět let po schválení Iniciativy, vydal Svaz průmyslu a dopravy České republiky jako doplněk svého programového prohlášení pro rok 2022 dokument „Priority a požadavky v oblasti digitální ekonomiky, průmyslu 4.0“ (srovnej Svaz průmyslu a dopravy České republiky, 2021). Rada požadavků na vládu ČR, které tento dokument obsahuje, byla přitom jako nutné podmínky pro rozvoj Průmyslu 4.0 uváděna již v původní Iniciativě Průmysl 4.0.

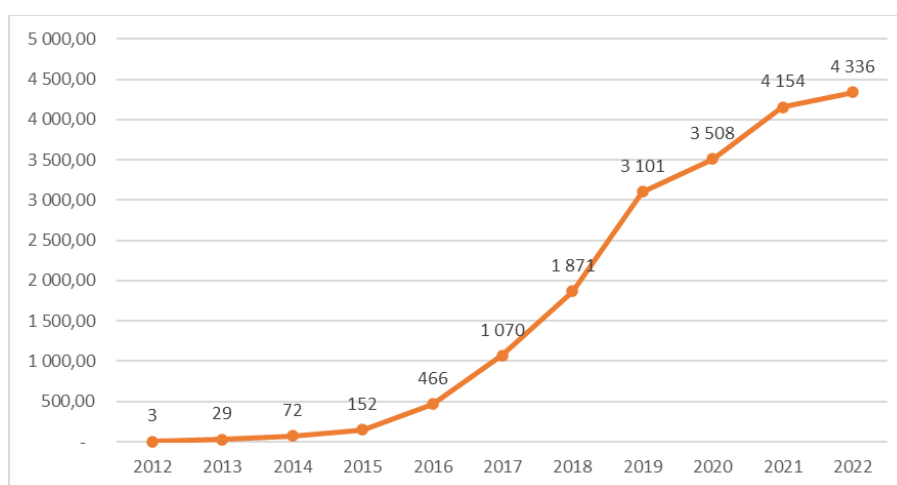
²² Později přejmenovaná na Smart Manufacturing Leadership Consortium.

²³ V roce 2021 přejmenováno na Industry IoT Consortium.

Kromě výše zmíněných národních programů a iniciativ existuje samozřejmě i řada dalších, a to jak národního, tak regionálního charakteru. Souhrnný přehled těchto iniciativ v evropských zemích uvádí např. Mařík et al. (2017).

Čtvrtá průmyslová revoluce a Průmysl 4.0 byly záhy reflektovány rovněž na akademické půdě. To dokládá Graf 1, který zobrazuje počet prací evidovaných v citační databázi Web of Science (WoS), v jejichž názvu, abstraktu nebo klíčových slovech²⁴ byl obsažen některý z těchto termínů, v letech 2012 - 2022.

Graf 1: Vývoj počtu článků evidovaných v databázi Web of Science týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce / Průmyslu 4.0 v jednotlivých letech



Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Grafu 1 patrné, počet odborných publikací, které se problematice Čtvrté průmyslové revoluce a Průmyslu 4.0 věnují, rostl mezi lety 2012 – 2017 o více než 100% ročně, a i v následujících letech byl růstový trend, byť s pomalejším relativním tempem, zachován. Celkem se těchto témat v letech 2012 – 2022 dotýkalo 18 762 prací evidovaných ve WoS.

Tabulka 3 potom znázorňuje geografické rozložení těchto prací, přičemž obsahuje 10 zemí s nejvyšším počtem článků týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce, respektive Průmyslu 4.0, ke kterým je pro ilustraci doplněna i Česká republika.

²⁴ Tzn. vyhledávací parametr „Topic“ ve Web of Science.

Tabulka 3: Počet prací evidovaných v databázi Web of Science týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce / Průmyslu 4.0 dle zemí původu

Pořadí	Stát	Počet prací
1.	Německo	2390
2.	Itálie	1820
3.	Čína	1539
4.	Indie	1231
5.	USA	1217
6.	Velká Británie	1105
7.	Španělsko	1089
8.	Brazílie	927
9.	Francie	755
10.	Polsko	745
(17.)	Česká republika	454

Zdroj: vlastní zpracování

Je zřejmé, že největší zájem o problematiku Průmyslu 4.0 dosud panuje v Německu jakožto zemi vzniku tohoto konceptu, na druhém místě se pak umístila Itálie – zde patrně hraje roli skutečnost, že severní oblasti Itálie jsou vysoce industrializované a úzce propojené dodavatelsko-odběratelskými vztahy právě s německým průmyslem. Na třetím místě v počtu článků týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce a Průmyslu 4.0 se pak nachází Čína, což odpovídá výše zmíněnému programu Made in China 2025 a snaze této země posunout svůj výrobní sektor od modelu založeného na nízkých nákladech k výrobě s vyšší přidanou hodnotou.

Česká republika se v počtu publikací k těmto tématům sice nachází až na 17. místě²⁵, i zde nicméně za zkoumané období vzniklo 454 prací zabývajících se danou problematikou. Je tedy možné konstatovat, že i v ČR je diskuse o Průmyslu 4.0 a Čtvrté průmyslové revoluci velmi intenzivní.

²⁵Je třeba nicméně přihlédnout ke skutečnosti, že ČR má oproti zemím v první desítce výrazně menší populaci, a tedy i menší počet vědeckých pracovníků. Např. ve vedoucím Německu ve sledovaném období vzniklo cca 5-krát více prací věnované dané tematice, zároveň má však Německo přibližně 8-krát více obyvatel. Při přepočtu počtu článků na 1000 obyvatel by se dokonce Česká republika ocitla v Tabulce 3 na první místě.

2.3 Aktuální obsah Průmyslu 4.0 – Čtvrté průmyslové revoluce

Existuje řada obecných definic, které se snaží popsat základní ideu Průmyslu 4.0, a které se vzájemně liší především úhlem pohledu, z něž je tento koncept nahlížen. Primárně technický pohled představuje např. definice používaná platformou Industrie 4.0, podle které se jedná o „*inteligentní propojení strojů a procesů v průmyslu za pomoci informačních a komunikačních technologií*“ (Plattform Industrie 4.0, n.d.b, přeložil MP), obdobně Mařík et al. (2017, s. 15) uvádí, že „*v jádru 4. průmyslové revoluce stojí spojení virtuálního kybernetického světa se světem fyzické reality*“. Jiní autoři nabízejí širší pohled na danou problematiku, kdy např. podle Kagermanna et al. (2013) se jedná o „*novou úroveň společensko-technické interakce mezi všemi aktéry a zdroji zapojenými do procesu výroby.*“

Přes existenci těchto obecných definic nicméně vymezení konkrétního obsahu Průmyslu 4.0 zůstává značně problematické. Tento termín se v současné době nachází ve stavu jakési „bubliny“²⁶ (Hoffmann & Rüsche, 2017; Nakayma et al., 2020), tzn. buzzwordu, který je intenzivně využíván ve všech možných konotacích, přičemž však právě četnost jeho používání vede k nejasnostem v jeho chápání (Alcacér & Cruz-Machado, 2019). Jednoznačná, všeobecně přijímaná definice, která by souhrnně vymezovala obsah Průmyslu 4.0, proto dosud chybí (Herman et al., 2016; Lu, 2017; Mubarak, 2020; Bongomin et al., 2020).

Obsah Průmyslu 4.0 se proto namísto této chybějící definice obvykle vymezuje buď pomocí modelu **Reference Architecture Model Industrie 4.0** (zkráceně **RAMI 4.0**) nebo prostřednictvím **výčtu jevů a použitých technologií**. Obě tato vymezení obsahu Průmyslu 4.0 jsou popsána v následujících subkapitolách. Vzhledem k tomu, že v oblasti výrobních firem, na které je tato disertační práce zaměřena, je stěžejním projevem Průmyslu 4.0 tzv. „**Smart factory**“ (*chytrá továrna*), je samostatná subkapitola věnována i vysvětlení tohoto termínu.

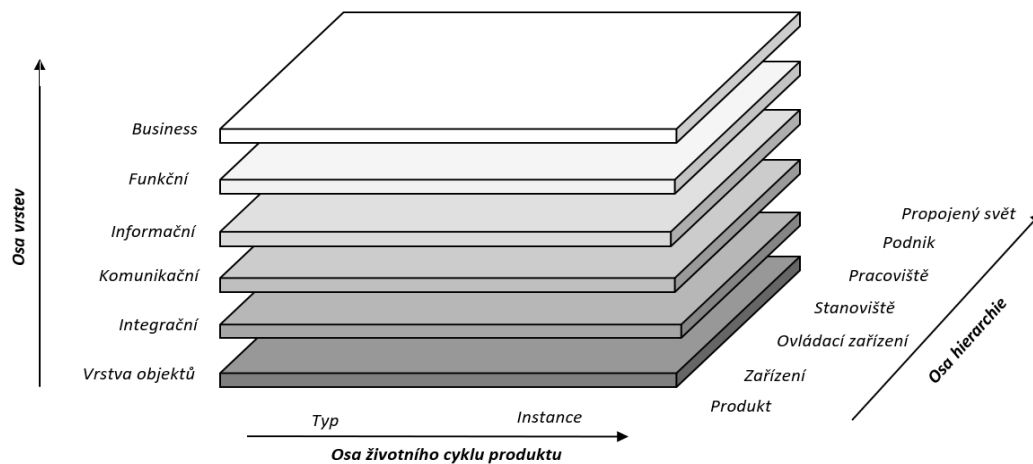
2.3.1 Model RAMI 4.0

Reference Architecture Model Industrie 4.0, zkráceně RAMI 4.0, byl vyvinut ve spolupráci několika německých průmyslových organizací v čele s již výše zmíněnými

²⁶ V zahraniční literatuře označováno jako „hype“.

VDI a ZVEI (Bordeleau et al., 2018). Cílem modelu je jednak vytvořit strukturovanou pomůcku pro uchopení konceptu Průmysl 4.0, která bude využitelná při jeho implementaci (Pauker et al., 2016), jednak sloužit jako pomůcka při definování technologických standardů Průmyslu 4.0 (Rojko, 2017). Model je zobrazen na Obrázku 10.

Obrázek 10: Reference Architecture Model Industrie 4.0



Zdroj: vlastní zpracování dle VDI/VDE (2015)

Model RAMI 4.0 je trojrozměrný, přičemž obsahuje následující osy:

- *Osu životního cyklu produktu.* Tato osa principiálně rozlišuje mezi typem, jímž se rozumí předpis pro výrobu konkrétního produktu (tzn. např. technický výkres, vzor, prototyp), a instancemi, což jsou již konkrétní výskyty určitého typu (tzn. např. výrobky vyrobené dle výkresu). Ve fázi typu se tedy produkt nachází v průběhu předvýrobních etap, zatímco instance jsou již výsledkem běžné výroby.
- *Osa hierarchie* reprezentuje hierarchii produkčního procesu, a to dle následující logiky: v rámci produkčního procesu jsou vyráběny produkty. Jejich výroba je evidována, sledována a kontrolována prostřednictvím zařízení (v originále *Field Devices*), jimiž se rozumí různé senzory, readery, antény, apod. Informace z nich se dostávají do ovládacích zařízení (*Control Devices*) jako jsou počítače nebo ovládací panely linek. Informace z těchto vrstev dále procházejí výše do úrovní stanovišť (*Stations*), pracovišť (*Work Centers*) až do úrovně podniku (*Enterprise*), obvykle reprezentované ERP systémem. Poslední vrstva propojeného světa (*Connected world*) potom reprezentuje odběratele, dodavatele a veškeré další stakeholdery podniku. Tuto hierarchii lze vnímat jako

obousměrný tok informací, kdy vyšší úrovně od nižších získávají informace o průběhu produkčního cyklu, zatímco od vyšších k nižším tečou informace (a na vnitropodnikové úrovni rovněž pokyny) potřebné pro jeho řízení.

- *Osa vrstev* představuje především členění z pohledu IT technologií. Vrstva objektů (*Assets*) reprezentuje fyzické objekty jako jsou stroje, materiály, ale i pracovníci. Integrační vrstva zajišťuje sběr informací o objektech a jejich digitalizaci, je tedy reprezentována například senzory. Komunikační vrstva se skládá ze standardizovaných komunikačních protokolů a infrastruktury, která umožňuje vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými prvky integrační vrstvy a mezi integrační a informační vrstvou. Informační vrstva zpracovává data získané z nižších vrstev na informace a případně je poskytuje vyšším vrstvám. Funkcionální vrstva je tvořena různými akcemi a rutinami, které mohou být v rámci informačního systému vykonány (přičemž některé z těchto akcí mohou mít vliv i na nejnižší vrstvy, funkce může například poslat příkaz až do vrstvy objektů a rozsvítit konkrétní kontrolku). Business vrstva potom představuje úroveň podnikových procesů a řízení.

2.3.2 Technologie Průmyslu 4.0 – 9 pilířů

V literatuře dosud nepanuje jednoznačná shoda na tom, které všechny technologie jsou součástí konceptu Průmyslu 4.0. Technologický vývoj je totiž kontinuální proces, jehož budoucí směr nelze nikdy stoprocentně předvídat. Názor na to, zda je některá technologie dostatečně inovativní a zároveň má dostatečný potenciál uplatnění na to, aby mohla být označena za součást Průmyslu 4.0, se tak může u různých autorů lišit.²⁷ Někteří autoři tak zdůrazňují význam Kyber-fyzických systémů (CPS), Internetu věcí (Trappey et al., 2017) a cloud computingu (Zhong et al., 2017), zatímco jiní považují za zásadní rozšířenou realitu (Egger a Massood, 2020), digitální dvojče (Novák et al., 2020), kolaborativní roboty (Schmidbauer et al., 2020) nebo blockchain (Esmailian et al., 2020).

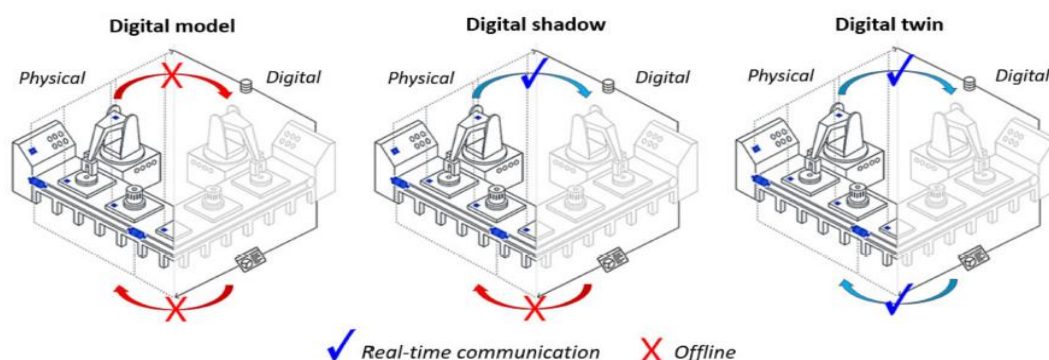
Přesto však existují pokusy vymezit určitý základní soubor technologií, které tvoří jádro Průmyslu 4.0. Z těchto pokusů se největšího přijetí dostalo konceptu tzv. **9 pilířů**

²⁷ Přitom je třeba zdůraznit, že toto platí nejen pro články různých autorů v konkrétním časovém období, ale ještě více při porovnávání zdrojů z různých let. Je přirozené, že současné názory na to, které technologie tvoří základ Průmyslu 4.0, se mohou značně lišit od názorů vyslovených v roce 2011, kdy tento termín poprvé vznikl, protože technologický vývoj během tohoto časového období přirozeně stoprocentně neodpovídal původním predikcím.

Průmyslu 4.0, které definovali Rüssman et al. (2015), a které byly následně převzaty řadou dalších autorů (viz např. Erboz, 2017; Vaidya et al., 2018; Alcacér & Cruz-Machado, 2019; da Silva et al., 2020; Rehman & Ejaz, 2020). Tento termín označuje devět technologií (resp. technologických oblastí), kterými jsou:

1. **Big data**. Jak uvádí známá definice společnosti Gartner, tímto termínem se rozumí velké objemy dat, které vznikají velkou rychlostí a jsou typické velkou rozmanitostí (Gartner, n.d.a). Není přitom přesně vymezeno, o jaký objem dat se musí jednat, aby byla posuzována jako „velká“²⁸, mělo by se však jednat o takovou velikost, která převyšuje možnosti tradičního software, který podnik pro zpracování dat v dané oblasti využívá (Oracle, n.d.).
2. **Autonomní roboty**, tedy stroje, které budou schopny do značné míry samostatného a inteligentního fungování. Tyto roboty budou schopny spolupracovat s lidmi a dynamicky jim přizpůsobovat svou činnost, nebudou tedy již muset být umístěny na vyhrazených, zpravidla ohrazených stanovištích, jako je tomu dosud (Bahrin et al., 2016).
3. **Simulace**, tzn. využití virtuálního reprezentace produktu, výrobní linky nebo celé továrny pro predikce a plánování. Dle stupně propojení mezi reálným a virtuálním světem jsou v tomto případě rozlišovány tři úrovně virtuálních modelů, přičemž rozdíl mezi nimi znázorňuje Obrázek 11.

Obrázek 11: Tři úrovně virtualizace



Zdroj: Magalhaes et al. (2022)

První úroveň, **digitální model** představuje pouze více nebo méně přesnou virtuální reprezentací reálné entity, ale s touto entitou není nijak propojen. Druhou úrovní je **digitální stín**, kdy je fyzická entita s její virtuální interpretací

²⁸ Např. Mařík et al. (2017) za hranici Big data považují úroveň petabytů, jinde se nicméně setkáme i s úrovní terabytů nebo stovek gigabytů.

propojena jednosměrně, a jevy probíhající v rámci fyzické entity se tedy automaticky projevují v jejím digitálním stínu. Třetí úroveň propojení simulace s realitou potom představuje **digitální dvojče**, v jehož případě je propojení mezi fyzickou a virtuální entitou obousměrné, a změny provedené v rámci digitálního dvojčete tedy ovlivňují fyzickou entitu (Magalhaes et al., 2022).

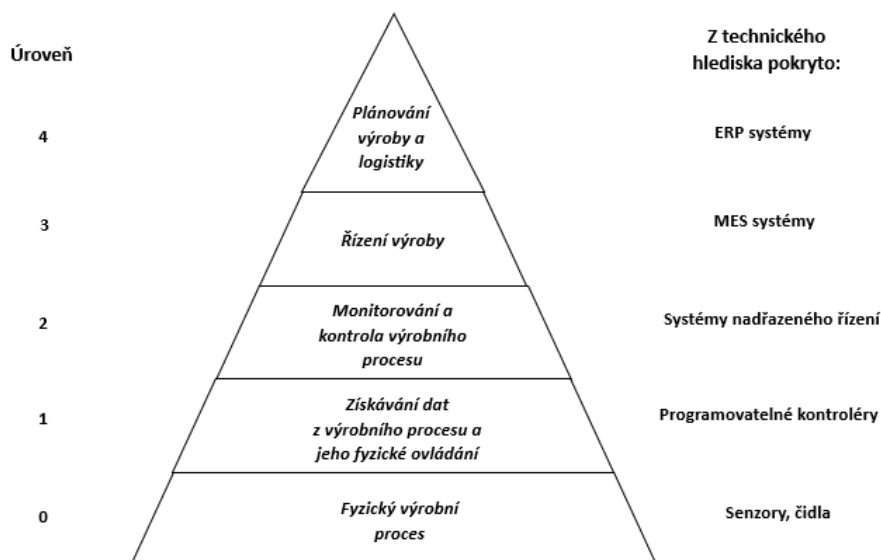
Právě digitální dvojče je přitom díky nejvyšší míře propojení reálného a virtuálního světa konceptem s širokými možnostmi využití v prostředí Průmyslu 4.0 (Stavropoulos & Mourtzis, 2022; Delloite, n.d.). Simulace prostřednictvím digitálních dvojčat mohou v prostředí Průmyslu 4.0 sloužit pro modelování samotného průběhu výroby, posouzení ergonomie jednotlivých pracovišť, odhady předpokládané spotřeby energií, nebo pro potřeby virtuálního prototypingu, který by měl usnadňovat jak prvotní vývoj produktu, tak případné změnové řízení (Simons et al., 2017).

4. **Systémová integrace**, kterou je možné principiálně rozlišit na tři typy. Integrace **vertikální** propojuje jednotlivé činnosti firmy napříč její hierarchickou a řídicí strukturou²⁹. V prostředí výrobních firem je pro vyjádření hierarchické provázanosti a datové integrace jednotlivých procesů využíván **funkcionální model ISA 95**, definovaný International Society of Automation (ISA, česky *Mezinárodní společnost pro automatizaci*), který strukturuje problematiku plánování a řízení výroby do pěti úrovní. Vzhledem ke své hierarchické povaze je tento model často schematicky zobrazován ve formě pyramidy a bývá označován jako **pyramida automatizace**.³⁰ Jeho schematické znázornění je zachyceno na Obrázku 12.

²⁹Typicky se jedná o propojení jednotlivých dílčích informačních systémů (např. v podobě WMS, MES, SCM apod.) s centrálním systémem v podobě ERP systému, případně o vzájemné propojení dílčích systémů.

³⁰ V některých interpretacích modelu se liší přesný počet úrovní nebo jejich konkrétní názvy, logika hierarchie však zůstává zachována.

Obrázek 12: Pyramida automatizace dle modelu ISA 95



Zdroj: vlastní zpracování

Na vrcholu pyramidy je úroveň plánování výroby a logistiky, reprezentovaná plány výroby, nákupu nebo expedice, přičemž z hlediska informačních systémů právě tuto úroveň reprezentují ERP systémy. Tyto plány se následně propadají do úrovně řízení výroby, kde dochází k přidělování práce jednotlivým pracovištím, řízení linek apod., typicky pomocí MES systémů. Níže se nachází úroveň monitorování a kontroly samotného výrobního procesu, realizovaný pomocí systémů nadřazeného řízení, a úroveň získávání dat z výrobního procesu a jeho fyzického ovládní, což zajišťují programovatelné kontrolery a obdobná zařízení. Nejnižší úroveň pak představuje samotný fyzický proces, z něhož jsou data získávána pomocí senzorů a čidel (Theocharis, n.d.).

Oproti vertikální integraci, která má vnitropodnikový charakter, probíhá **horizontální integrace** napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem³¹, a slouží ke sdílení dat o průběhu výrobního a logistického procesu mezi obchodními partnery s cílem optimalizovat pohyb výrobků a zboží v řetězci.

V prostředí Průmyslu 4.0 by pak kromě těchto dvou tradičních typů systémové integrace měla fungovat i tzv. **Integrace všech inženýrských procesů** (často též označováno jako **end-to-end integrace**), která propojuje celý životní cyklus

³¹ Např. v podobě integrovaného plánování výroby, kdy je informační systém zhotovitele finálního výrobku integrován se systémy subdodavatelů. Příjem nové objednávky zhotovitelem finálního výrobku se v takovém případě může de facto okamžitě „rozpadnout“ na dílčí objednávky jednotlivých komponent, které jsou automaticky odeslány do systémů subdodavatelů, kde jsou opět obratem zaplánovány do výroby.

produktu od předvýrobních etap přes jeho výrobu a dodání až po následný servis a další poprodejní služby (Mařík et al., 2017; Stock & Seliger, 2017).

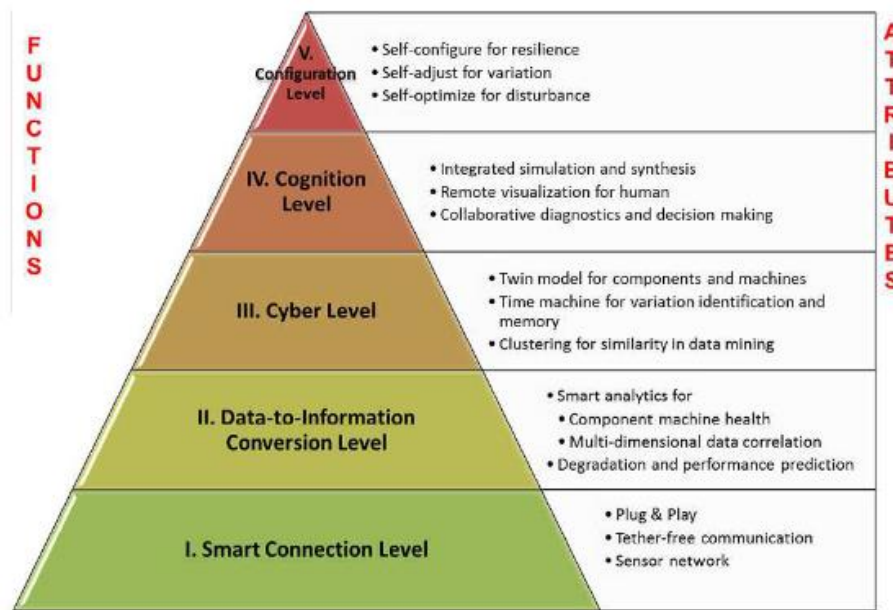
5. **Internet věcí** (často též IoT z anglického „*Internet of Things*“). Jedná se o připojení širokého spektra fyzických objektů k internetu a jejich následnou komunikaci (ať už vzájemnou nebo s podnikovým informačním systémem) prostřednictvím standardizovaných protokolů (Trappey et al., 2017). V průmyslové podobě je často využíván specifitější termín „Průmyslový internet věcí“ (IIoT z anglického *Industrial Internet of Things*), jehož náplní je především vzájemná online komunikace mezi jednotlivými výrobními zařízeními (tzv. *Machine-To-Machine* nebo též *M2M* komunikace), senzory, vyráběnými produkty a dalšími prvky výrobního procesu. Rozvoj IIoT by měl v první řadě umožnit lepší monitoring výrobního procesu, v ideálním případě by pak měl vést ke vzniku samořídících inteligentních výrobních systémů (Sisinni et al., 2018).³²
6. **Kyberbezpečnost a Kyber-fyzické systémy**³³ (často se uvádí ve zkratce CPS z anglického *Cyber-Physical Systems*). Termín „kyber-fyzický systém“ se v kontextu průmyslu budoucnosti poprvé objevil v roce 2006 (Sinha & Roy, 2020), a označuje systém těsně propojující skutečný svět (reprezentovaný lidmi, výrobními stroji, materiálem atd.) a svět virtuální (reprezentovaný řídicími a kontrolními algoritmy, umělou inteligencí a dalšími prvky), přičemž prvky obou těchto světů se v jeho rámci vzájemně ovlivňují prostřednictvím zpětné vazby (Lee, 2008). Typickým znakem CPS je autonomie (ale přitom vzájemná spolupráce) jednotlivých prvků a decentralizované řízení (Vaidya et al., 2018) využívající umělou inteligenci.

Architektura kyber-fyzického systému se skládá z pěti úrovní, které znázorňuje Obrázek 13.

³² Dodejme, že obdobně jako specifitější termín „Průmyslový internet věcí“ existují naopak oproti IoT i ještě obecnější termíny jako je „Internet lidí“ (IoP z anglického „*Internet of People*“) nebo „Internet všeho“ (IoE, „*Internet of Everything*“). Tyto koncepty už nicméně svou obsáhlostí překračují podnikovou úroveň.

³³ Tento pilíř je obvykle (včetně originálního článku Rüssmana et al., 2015) uváděn pouze jako samotná Kyberbezpečnost. Autor této práce nicméně za vhodnější považuje přístup Vaidya et al. (2018), kteří zdůrazňují právě bezpečnost kyber-fyzických systémů, a daný pilíř tak uvádějí právě v tomto tvaru.

Obrázek 13: Schéma kyber-fyzického systému



Zdroj: Lee et al. (2015)

Úroveň *smart connection* (chytrého propojení) zajišťuje komunikaci a sběr dat z jednotlivých výrobních zařízení a dalších entit kyber-fyzického systému, která jsou sbírána prostřednictvím senzorů, případně těžena z dat zadávaných do informačních systémů pro řízení provozu typu MES. Úroveň *data-to-information conversion* (transformace dat na informace) tato data vyhodnocuje a prostřednictvím algoritmů v nich hledá různé vzory svědčící např. o blížící se závadě konkrétního stroje – v této úrovni se tedy jedná o izolované vyhodnocování dat z konkrétního zdroje. *Cyber* (kybernetická) úroveň slouží jako centrální informační uzel, ve kterém dochází k syntéze veškerých získaných dat a jejich zpracování – oproti předchozí úrovni se tedy jedná o vyhodnocování propojených dat z celého systému. Úroveň *cognition* (poznání) poté zajišťuje prezentaci informací získaných v předchozích dvou úrovních (tzn. informací o stavu konkrétních prvků kyber-fyzického systému i o jeho fungování jako celku) pracovníkům zodpovědným za systém, v jejím rámci tedy dochází k transformaci informací na znalosti. Poslední úroveň, *configuration* (konfigurace), pak zajišťuje zpětnou vazbu v podobě případných úprav nastavení jednotlivých entit kyber-fyzického systému provedených na základě dat, informací a znalostí získaných z nižších úrovní. Tyto úpravy přitom mohou být vyvolány jak automaticky, kdy se kyber-fyzický systém na základě

monitoringu svého stavu sám koriguje, tak pracovníky zodpovědnými za jeho administraci.

Nutnost zabezpečení takto komplexních a provázaných systémů pak představuje novou výzvu v oblasti kybernetické bezpečnosti, protože právě propojení a vzájemná komunikace dosud izolovaných průmyslových zařízení a dalších entit s sebou přináší jednak novou úroveň zranitelnosti vůči kybernetickým útokům, kdy útok může být směřován přímo na řídicí jednotky průmyslových zařízení, jednak nový druh rizik v rámci úspěšného útoku, kdy napadení výrobních zařízení může vést k fyzickému zastavení výroby, v krajním případě pak i k ohrožení pracovníků (Alcacér & Cruz Machado, 2019; Kannus & Ilvonen, 2019).

7. **Cloudové technologie**, tzn. přesun datových úložišť i výpočetních kapacit z lokálních serverů jednotlivých firem do sdílených datových center nebo clusterů provozovaných specializovanými poskytovateli. Díky sdílení hardwarových prostředků v cloudu, jejich škálovatelnosti a rovněž efektivnímu využívání práce specializovaných profesionálů umožňuje využití cloudových služeb podnikům ukládat a zpracovávat velké objemy dat při výrazně nižších nákladech a zároveň vyšším zabezpečení, než pokud by se o totéž pokoušeli vlastními silami. Cloudové služby se tak stávají jedním ze základních prvků, který podnikům přechod k Průmyslu 4.0 umožňuje (Velasquez et al., 2018). V oblasti plánování a řízení výroby pak někteří autoři představují vizi Software-Defined Cloud Manufacturing³⁴ (*Softwarově definovaná výroba založená na cloudu*, zkráceně též označována jako SDCM), v níž by veškeré výrobní stroje a zařízení v chytré továrně byly definovány a řízeny prostřednictvím softwarové vrstvy umístěné v cloudu (Thames & Schaefer, 2016; Yang et al., 2020).

Cloudové technologie se zpravidla rozlišují dle dvou základních kritérií. Prvním kritériem je otázka vlastnictví fyzických prostředků, ze kterých je cloud tvořen. Rozlišuje se cloud **soukromý**, který je vybudován přímo pro potřeby infrastruktury organizace, která jej využívá³⁵, **hybridní**, ve kterém jsou

³⁴ Tento termín by neměl být zaměňován s vizí Cloud-based Design and Manufacturing (*Vývoj a výroba založená na cloudu*, dále též *CBDM*), což je širší koncept umožňující „vývoj produktu umožňující kolektivní otevřené inovace a rychlý vývoj produktů s minimálními náklady za pomoci sociálních sítí a crowd-fundigových platforem společně s využitím sdílených služeb pro vývoj a výrobních kapacit“ (Schaefer et al., 2012, přeložil MP). SDCM tedy představuje využití cloudu pro výrobu v konkrétním podniku, zatímco CBDM představuje změnu všeobecného paradigmatu vývoje a výroby.

³⁵ Tzn. fakticky se jedná o standardní využití virtualizace v rámci firemní IT infrastruktury.

kombinovány prostředky specifické pro organizaci a veřejné prostředky poskytovatele cloudových služeb, a **veřejný**, ve kterém jsou prostředky zcela poskytovány dodavatelem cloudu³⁶. Z hlediska formy poskytované služby se pak cloud dělí na varianty **infrastruktura jako služba** (obvykle označováno IaaS z anglického *Infrastructure as a Service*), kdy jsou zákazníkovi poskytovány pouze “hardwarové” (fakticky ovšem virtualizované) prostředky, **platforma jako služba** (*Platform as a Service*, PaaS), kdy je zákazníkovi navíc poskytován operační systém a související softwarové licence, a zákazník má tedy k dispozici připravenou platformu pro provoz aplikací, a konečně **software jako služba** (*Software as a Service*, SaaS), kdy je dodavatelem poskytnuta formou cloudu kompletní aplikace jako taková, a zákazník s platformou a hardwarem, na kterém je provozována, vůbec nepřichází do styku (Amazon, n.d.).

8. **Aditivní výroba**, tedy výroba postavená na bázi spojování vrstev, často též označována jako „3D tisk“. Jedná se o široké spektrum technologií (např. Rouf et al. (2022) v práci shrnující aktuální stav aditivní výroby rozlišují aktuálně 7 základních technologií 3D tisku z nichž některé je možné ještě dále členit), které již v současné době umožňují výrobu jak z plastové hmoty, tak z kovu nebo high-tech keramických materiálů. Samotný výrobní proces probíhá automatizovaně na základě počítačového modelu poskytnutého výrobnímu zařízení. Technologie aditivní výroby umožňuje s přijatelnými náklady a v přijatelném čase vyrábět malé série nebo i jednotlivé kusy výrobků (Rüssman et al., 2015), čímž umožňuje jednak snižovat skladové zásoby (3D tisk může např. eliminovat nutnost držet zásoby náhradních dílů do výrobních zařízení společnosti, které jsou využity pouze v případě poruchy, ale podnik je dosud musel uchovávat z bezpečnostních důvodů), jednak nabídnout zákazníkovi customizaci výrobků dle jeho požadavků (Vaidya et al., 2018).
9. **Rozšířená realita**, která představuje integraci informací generovaných počítačem do prostředí reality (Paelke, 2014), např. v podobě pomítání virtuálních schémat, pracovních postupů nebo navigačních pokynů přímo „na“ obraz reálného světa. Tohoto efektu je možné dosáhnout pomocí širokého spektra zařízení, jak nositelných (např. v podobě chytrých brýlí nebo náhlavních

³⁶ Jedná se např. o Microsoft Azure nebo Amazon Web Services.

souprav), tak nenositelných (např. pohledem na displej chytrého telefonu nebo tabletu) – kompletní taxonomii zařízení pro rozšířenou realitu uvádí např. Peddie (2017). V oblasti průmyslu je v současné době rozšířená realita využitelná především pro zlepšení komunikace mezi člověkem a robotem, při údržbě a opravách, v oblasti vzdělávání zaměstnanců a při kontrole kvality výrobků (De Pace et al., 2018).

Büchi et al. (2015) k těmto obecným 9 pilířům přidávají ještě desátý pilíř označený jako „Ostatní technologie“. Obsah tohoto pilíře v jejich pojetí není univerzální, ale může obsahovat různé technologie v závislosti na konkrétním odvětví a podniku. Právě z důvodu absence jednoznačného obsahového vymezení však pilíř „Ostatních technologií“ nebude v této práci dále považován za součást základního vymezení obsahu Průmyslu 4.0.

2.3.3 Automatická identifikace a sběr dat

Autor této práce se nicméně domnívá, že kromě výše uvedených devíti pilířů existuje ještě jedna univerzálně využitelná technologie, která je pro fungování výrobních a logistických systémů tak, jak je předpokládá koncept Průmyslu 4.0, nezbytná. Touto technologií je **automatická identifikace a sběr dat** (dále též **AIDC** z anglického *Automatic Identification and Data Capture*³⁷). Její podstatou je jednoznačná identifikace objektů pomocí strojově čitelných identifikátorů, k čemuž je v současné době možné využít široké spektrum technických řešení od čárových nebo QR kódů přes radiofrekvenční identifikaci (známější pod zkratkou RFID), sledování prostřednictvím ultra-širokého pásma (UWB) nebo identifikaci prostřednictvím rozpoznávání obrazu nebo zvuku za využití umělé inteligence (Šeba et al., 2016).

Je to právě tato technologie, která umožňuje rychle, přesně a automatizovaně sledovat pohyb objektů v reálném světě, a tedy i následnou reprezentaci a zpracování těchto informací ve světě virtuálním. Tato technologie je tak v praxi nezbytná k tvorbě kyberfyzických systémů propojujících reálný a virtuální svět, jejichž existence je přitom jednou ze základních charakteristik Průmyslu 4.0.

AIDC však hraje podstatnou roli i pro fungování dalších technologií, které jsou součástí 9 pilířů Průmyslu 4.0. V oblasti systémové integrace je tato technologie stěžejní v těch případech, kdy je předmětem integrace přenos informací o konkrétním zboží,

³⁷ Někdy se používá též „*and Data Collection*“.

výrobcích nebo materiálech - v případě vertikální systémové integrace může být například nutné sdílet informaci o konkrétním výrobku nebo materiálu mezi ERP systémem, který zajišťuje plánování nákupu, výroby a odbytu, a MES systémem, který řídí samotný proces výroby, v případě horizontální integrace napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem přináší AIDC možnost jednoznačně identifikovat zboží nebo výrobky, které řetězcem protékají, nezbytnou podmínkou pro fungování end-to-end integrace je potom možnost jednoznačně identifikovat určitý výrobek po celou dobu jeho životního cyklu, aby k němu bylo možné kdykoliv dohledat příslušnou sadu informací.

Zároveň je role AIDC nezastupitelná při získávání některých typů Big data. Data mohou do podnikového informačního systému samozřejmě plynout z různých zdrojů, zamýšlí-li nicméně podnik analyzovat velké objemy dat ze svého provozu (ať už z oblasti výroby, logistiky nebo prodeje), představuje AIDC přirozenou (a v řadě případů i jedinou smysluplnou) volbu, jak vstupní data získat. Akvizice těchto dat z provozu na rutinní úrovni totiž musí probíhat rychle, levně a v neposlední řadě s dostatečnou spolehlivostí – ze všech těchto důvodů je vhodné v jejich získávání nahradit manuální vstupy automatickou technologií. Využívání AIDC je tak de facto nutnou podmínkou pro práci s Big data z podnikového provozu.

Význam technologie AIDC pro prostředí Průmyslu 4.0 pak zdůrazňuje i celá řada autorů (např. Trappey et al. 2017; Tjahjono et al., 2017 nebo Aviles-Sacoto et al., 2019), přičemž hlavní důraz je zpravidla kladen na technologii radiofrekvenční identifikace³⁸ (viz např. Simons et al. (2017); Marcon et al. (2018) nebo Aviles-Sacoto et al., 2019). Z výše uvedených důvodů bude proto v rámci této práce chápána automatická identifikace a sběr dat jako desátá základní technologie Průmyslu 4.0.

2.3.4 Smart factory

Jak bylo uvedeno v předchozím textu, **Smart factory** (některými autory, např. Yoon et al., 2012 nebo Radziwon et al., 2013 je rovněž využíván termín „Ubiquitous factory“, zkráceně u-Factory)³⁹ není v pravém slova smyslu vyjádřením obsahu Průmyslu 4.0 na stejné úrovni jako model RAMI 4.0 nebo výčet jeho technologií. Přesto se však

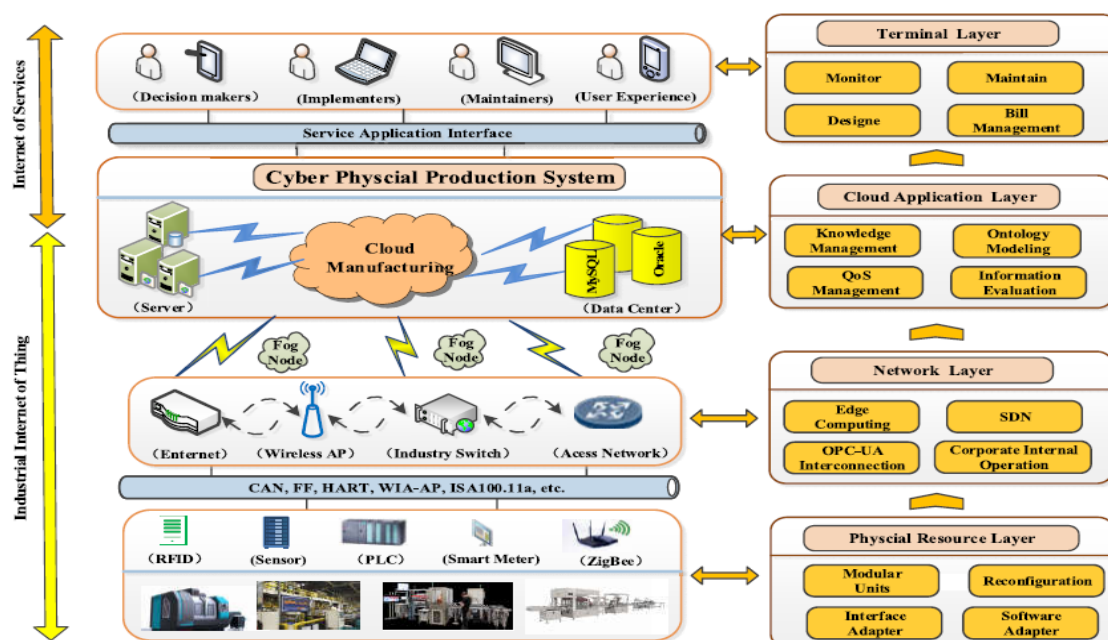
³⁸Hlavní výhody, které v prostředí Průmyslu 4.0 přináší využití RFID oproti jiným možným metodám automatické identifikace a sběru dat, jsou shrnuty v práci Polívka & Dvořáková (2019).

³⁹ Přímý překlad tohoto termínu do češtiny by byla „všudypřítomná továrna“, podstatu by nicméně lépe vystihovala „továrna s všudypřítomným propojením“.

jedná o klíčový koncept Průmyslu 4.0 (Lasi et al., 2014, Alcacér & Cruz-Machado, 2019; Osterrieder et al., 2020), Gilchrist (2014) jej dokonce označuje za „srdce Průmyslu 4.0“, když uvádí „Podíváme-li se na to, jak Průmysl 4.0 na teoretické úrovni funguje, vidíme že všechno od dodavatelsko-odběratelských řetězců přes byznysové modely až po procesy slouží pro účely Smart factory. Obdobně i veškerá externí propojení, od propojení s partnery v dodavatelsko-odběratelském řetězci přes chytré sítě až po sociální media mají ve svém základu Smart factory – je to slunce, okolo kterého ostatní procesy obíhají“ (Gilchrist, 2014, přeložil MP). Jestliže je Průmysl 4.0 obecným konceptem a vizí budoucího fungování ekonomiky, pak Smart factory je implementací této vize v konkrétní továrně.

Yoon et al. (2012) definují takovou továrnu jako „inovativní továrnu kombinující využití všudypřítomné výpočetní techniky jako prostředku pro řešení problémů výroby se stávajícími nástroji. U-Factory lze tedy definovat jako tovární systém, ve kterém probíhá autonomní a udržitelná výroba díky transparentnímu shromažďování, výměně a používání informací kdekoli a kdykoli, a díky interakci mezi lidmi, zařízeními, materiály a systémy“ (Yoon et al., 2012, přeložil MP). Pro dosažení tohoto stavu jsou využívány technologie kyber-fyzických systémů, internetu věcí, internetu služeb a cloudové technologie (Sinha & Roy, 2020). Architektura Smart factory se skládá ze čtyř vrstev, které jsou znázorněny na Obrázku 14:

Obrázek 14: Architektura Smart factory



Zdroj: Chen et al. (2017)

Vrstva *Physical Resource Layer* (vrstva fyzických zdrojů) obsahuje veškeré výrobní stroje a zařízení, stejně jako senzory monitorující jejich stav a celkový průběh výroby. Obsahuje ale i materiály, polotovary, dělníky a veškeré další zdroje vstupující do procesu výroby. *Network Layer* (síťová vrstva) zahrnuje široké spektrum síťových technologií (vrstva obsahuje jak „standardní“ síťovou komunikaci prostřednictvím LAN, tak např. komunikaci prostřednictvím Bluetooth nebo některé ze sítí IoT), které zajišťují jak vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými prvky vrstvy fyzických zdrojů, tak komunikaci těchto prvků s následující vrstvou *Cloud Application Layer* (cloudová aplikační vrstva). Zde dochází k uložení, zpracování a vyhodnocení veškerých informací získaných z nižších vrstev. Tyto informace jsou následně prezentovány uživatelům prostřednictvím *Terminal Layer* (vrstva uživatelského přístupu). Zde mohou uživatelé zároveň zadávat systému pokyny, které jsou následně přes nižší vrstvy distribuovány až na vrstvu fyzických zdrojů, kde ovlivní chování fyzických prvků systému.

Je zřejmé, že mezi výše popsanou architekturou Smart factory, a architekturou kyber-fyzického systému, popsanou v předchozí subkapitole, existují četné paralely. V literatuře je skutečně možné se setkat s názorem, že Smart factory je de facto využitím kyber-fyzického systému ve výrobě⁴⁰ (viz např. Chen et al, 2017). Převažuje nicméně pojetí, podle kterého je Smart factory širším konceptem, neboť kromě CPS zahrnuje i další technologie jako je cloud nebo IoT (Hozdic, 2015; Yao et al., 2017; Sinha & Roy, 2020). K tomuto pojetí se přiklání rovněž autor této práce.

2.4 Použité pojetí obsahu Průmyslu 4.0

V předchozí subkapitole byly popsány variantní pohledy na to, co je konkrétním obsahem termínu Průmysl 4.0. Model RAMI 4.0 je velmi komplexním modelem, který poskytuje souhrnný pohled na celé prostředí Průmyslu 4.0 – od konkrétního produktu po celý propojený svět, od vývoje prototypu až po servis dodaných výrobků. Problematika ERP systémů tedy tvoří pouze jeho malou součást, kdy jejich funkcionality jsou zpravidla zařazovány do funkční vrstvy modelu (Rojko, 2017).

Koncept Smart factory je zaměřen primárně na prostředí výroby a jejího monitorování a řízení, a z pohledu informačních systémů je tak logicky spojen spíše se systémy

⁴⁰ Používá se též označení kyber-fyzický výrobní systém, neboli CPPS z anglického *Cyber-Physical Production System*.

kategorie Manufacturing Execution Systems (MES), které firma Gartner definuje jako „specializovanou třídu výrobně orientovaného softwaru, který v reálném čase řídí, monitoruje a synchronizuje provádění fyzických procesů, které se podílejí na přeměně surovin na meziprodukty a/nebo hotové výrobky“ (Gartner, n.d.b, přeložil MP). ERP systémy naproti tomu v oblasti řízení výroby jednak nedisponují srovnatelnou funkcionalitou jednak vzhledem ke své technické podstatě nejsou pro přímé řízení některých fyzických procesů ani vhodné, nebo dokonce vůbec použitelné (Oman et al., 2017), a nejsou proto pro tyto účely zpravidla využívány.

Z tohoto důvodu se autor domnívá, že potřebám této disertační práce, která je zaměřena na vývoj funkcionalit a technické podstaty ERP systémů, nejvíce vyhovuje pojetí obsahu Průmyslu 4.0 spočívající ve výčtu technologií, které bylo detailně popsáno v subkapitole 2.3.2.

3 Vztah Průmyslu 4.0 a ERP systémů

V této kapitole je představen stávající stav odborné diskuse zabývající se problematikou vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0. Na základě její analýzy jsou potom v rámci kapitoly identifikovány konkrétní technologie Čtvrté průmyslové revoluce, které jsou pro oblast ERP systémů relevantní, a vlastnosti, kterými by ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0 měly disponovat.

3.1. Stávající stav poznání – rešerše literatury

Za účelem zjištění stávajícího stavu výzkumu vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0 byla provedena systematická rešerše literatury. Při realizaci rešerše bylo postupováno metodou založenou na postupu Soni & Kodali (2011) a Manoharan & Singal (2017), která se skládá z šesti kroků:

1. Volba časového rozsahu studie
2. Výběr zdrojových databází
3. Výběr zdrojů
4. Výběr konkrétních článků
5. Klasifikace článků
6. Podrobnější analýza klasifikace

Detailní popis jednotlivých kroků je obsahem této subkapitoly.

3.1.1 Volba časového rozsahu studie

Vzhledem k tomu, že vznik Průmyslu 4.0 se datuje do roku 2011, a jedná se proto o dosud relativně novou problematiku, nehrozí že by se v dohledané literatuře vyskytovaly zastaralé práce, které by již v současné době nebyly validní. Z tohoto důvodu nebyla vymezena žádná horní hranice maximálního stáří prací, které byly v rámci rešerše brány do úvahy. Stejně tak nebyla vymezena ani hranice minimálního stáří, protože cílem rešerše bylo získat co nejaktuálnější poznatky o studované problematice.

3.1.2 Výběr zdrojových databází

Jako zdrojové databáze pro vyhledávání literatury byly zvoleny citační databáze Web of Science a Scopus. Tyto databáze byly jako základní použity z toho důvodu, že jsou v nich agregovány jak kvalitní články z různých respektovaných vydavatelství odborné

literatury (např. Elsevier nebo Springer), tak příspěvky ze sborníků relevantních konferencí a kapitoly z odborných knih.

3.1.3 Výběr zdrojů

Do vyhledávání byly zahrnuty zdroje všech výše zmíněných typů, tzn. odborné časopisy, příspěvky ve sbornících i kapitoly v knihách. Naopak byly z hledání vyloučeny záznamy, které odkazují pouze na název celé konference a nikoliv na konkrétní článek, které mezi výsledky vyhledávání v některých případech zobrazuje databáze Scopus. Z hlediska obsahového zaměření zdrojů byly jako relevantní brány výsledky spadající do témat souvisejících s podnikovou ekonomikou, managementem, rozhodovacími procesy a informačními technologiemi⁴¹, naopak byly z vyhledávání vyloučeny práce spadající tematickým zaměřením čistě do oblasti matematiky nebo přírodních věd.

Jako vyhledávací kritérium byla použita kombinace termínů „ERP system“ a „Industry 4.0“ spojených operátorem pro logický součin – byly tedy hledány práce, které obsahovaly kombinaci obou těchto termínů. Výskyt této kombinace termínů byl vyhledáván v názvu článku, abstraktu a klíčových slovech⁴². Co se týče jazyka prací, do vyhledávání byly zahrnuty pouze ty práce, jejichž plný text byl napsán v angličtině, češtině nebo němčině, tedy v jazycích, které je autor této práce schopen interpretovat samostatně, bez nutnosti spoléhání se na automatické překladače.

Vyhledávání relevantních prací v databázích proběhlo ve dvou fázích. V první fázi probíhající na začátku roku 2023 bylo dle těchto kritérií k 28.1.2023 dohledáno 25 záznamů v databázi Web of Science a 76 záznamů v databázi Scopus. Jeden ze záznamů dohledaných pomocí Scopusu byl konferenční příspěvek přímo autora této práce, a byl tedy z výběru vyčleněn. Dvacet dva prací vyhledaných v databázi Scopus se pak vyskytovalo rovněž v záznamech dohledaných v rámci Web of Science, byly proto z výběru odstraněny jako duplicitní. Po těchto redukcích bylo tedy dále zpracováváno 78 záznamů.

Druhá fáze vyhledávání prací proběhla v prosinci 2023 s cílem aktualizovat základní soubor literatury o publikace, které vyšly v průběhu daného roku. K 4.12.2023 bylo ve

⁴¹ Přičemž témata byla v případě Scopusu filtrována pomocí parametru „Subject area“, v případě Web of Science pomocí parametru „Research areas“.

⁴² V databázi Scopus je pro toto vyhledávání přímo nabízena vyhledávací kombinace „TITLE-ABS-KEY“, v případě databáze Web of Science pak ve stejných elementech vyhledává kritérium „Topic“.

Web of Science nalezeno 5 nových prací oproti výsledkům předchozího vyhledávání, ve Scopusu pak 22 nových prací. Tři z nich se nicméně nacházely rovněž ve Web of Science, v jednom případě se potom jednalo o publikaci, na které se podílel autor této práce. Počet nově nalezených prací v databázi Scopus byl tak redukován na 18. Po doplnění nových prací za rok 2023 tak do další fáze analýzy vstupovalo celkem 101 prací.

Plné texty prací identifikovaných v rámci citačních databází byly následně dohledávány přímo na webových stránkách konkrétních vydavatelů, v případě jejich nedostupnosti touto cestou⁴³ pak i prostřednictvím dalších nástrojů, jako je akademická sociální síť ResearchGate, vyhledávání v repositářích pracovišť příslušných autorů apod. Práce, u kterých nebyl plný text dostupný, byly následně z výběru vyloučeny, což byl případ celkem 26 prací.

Výsledkem tohoto kroku tak bylo 75 prací, které byly dále zkoumány v rámci systematické rešerše.

3.1.4 Výběr konkrétních článků

Vybrané články byly následně nejprve zběžně posouzeny na základě jejich abstraktů, úvodů a závěrů, přičemž do dalšího zkoumání byly zahrnuty pouze ty z nich, ve kterých hrála problematika ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 podstatnou roli. Z výběru byly tedy vyloučeny články, ve kterých se termín „Průmysl 4.0“ vyskytoval pouze jako „buzzword“ v abstraktu, aniž by byl jakkoliv reflektován ve zbytku práce, a rovněž články, kde byly ERP systémy jen stručně zmíněny, ale práce samotná se zabývala primárně jinou problematikou. Typicky se jednalo o články, které se zabývaly buď řízením konkrétního fyzického podnikového procesu, nebo informačním systémem sloužícím pro potřeby tohoto řízení (typicky MES systémy pro řízení dílenské výroby). ERP systémy pak byly v těchto pracích zmiňovány pouze okrajově v roli zdroje vstupních dat, nebo naopak příjemce souhrnných výsledků. Z výběru byla rovněž vyloučena skupina článků, jejichž účelem bylo představit laboratoře představující „smart factory“, vybudované pro účely výuky na konkrétních univerzitách, a které se, i přes jejich nespornou inspirativnost, nevěnovaly reálné problematice ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0.

⁴³ Ať už z důvodu toho, že práce nebyla na stránkách vydavatele vůbec dostupná, nebo že daný titul nebyl dostupný v rámci přístupu k elektronickým zdrojům poskytovaným ZČU v Plzni.

Na základě analýzy obsahu bylo z původního souboru vyloučeno 31 článků. Ze záznamů původně dohledaných prostřednictvím databází Web of Science a Scopus tak zbylo celkem 44 prací, u kterých byl dostupný plný text, a které byly zároveň vyhodnoceny jako relevantní ve vztahu ke zkoumané problematice.

Na základě studia takto vycibřovaných článků byly nicméně identifikovány další práce, na které bylo ve studovaných člancích odkazováno, a které se zabývaly vztahem ERP systémů a Průmyslu 4.0. Jednalo se celkem o 31 prací, které byly následně přiřazeny k základnímu souboru dohledanému pomocí citačních databází. Soubor článků, které byly v následujících krocích zkoumány, tak čítal celkem 75 prací.

Během úvodního posouzení zkoumaných článků bylo rovněž zjištěno, že práce Supramaniam et al. (2022) dohledaná v databázi Scopus, ve které autoři dle svého tvrzení podnikli výzkum v oblasti malajských výrobních podniků, je ve skutečnosti téměř doslovnou kopií starší práce Haddara & Erlagal (2015), a to včetně použitých citací z výzkumných rozhovorů, kde bylo pouze slovo „Egypt“ nahrazeno slovem „Malajsie“. Do textu článku byla pouze doplněna douška týkající se pandemie COVID-19. Práce Supramaniam et al. (2022) byla proto jakožto plagiát jiného dohledaného článku vyloučena ze zkoumaného souboru, čímž se snížil počet zkoumaných prací na 74.

3.1.5 Základní klasifikace článků

V rámci tohoto kroku došlo k základnímu rozčlenění zkoumaných článků z hlediska jejich obsahu, přičemž účelem této klasifikace bylo určit, jakými tématy se výzkum v této oblasti zabývá. Pro získání prvotního přehledu o tématice článků byl využit rozbor jejich klíčových slov prostřednictvím softwaru VOSviewer. Pomocí tohoto software byla identifikována klíčová slova, která se vyskytovala alespoň v 5 dohledaných člancích⁴⁴. Tyto termíny a počet jejich výskytů znázorňuje Tabulka 4⁴⁵:

⁴⁴ Byla využita předdefinovaná hranice navržená softwarem VOSviewer pro daný typ analýzy a počet vstupů.

⁴⁵ Tyto termíny se mezi klíčovými slovy zkoumaných prací vyskytovaly v různých formách, např. kyberfyzické systémy byly někde uvedeny jako „*Cyber Physical Systems*“, zatímco v jiných případech jako „*Cyber-Physical Systems*“ či jen zkratkou „*CPS*“. Tato terminologická nejednotnost byla v rámci analýzy řešena prostřednictvím využití teozoru, v němž byly různá slova se stejným významem přetransformována vždy na jeden zastřešující termín.

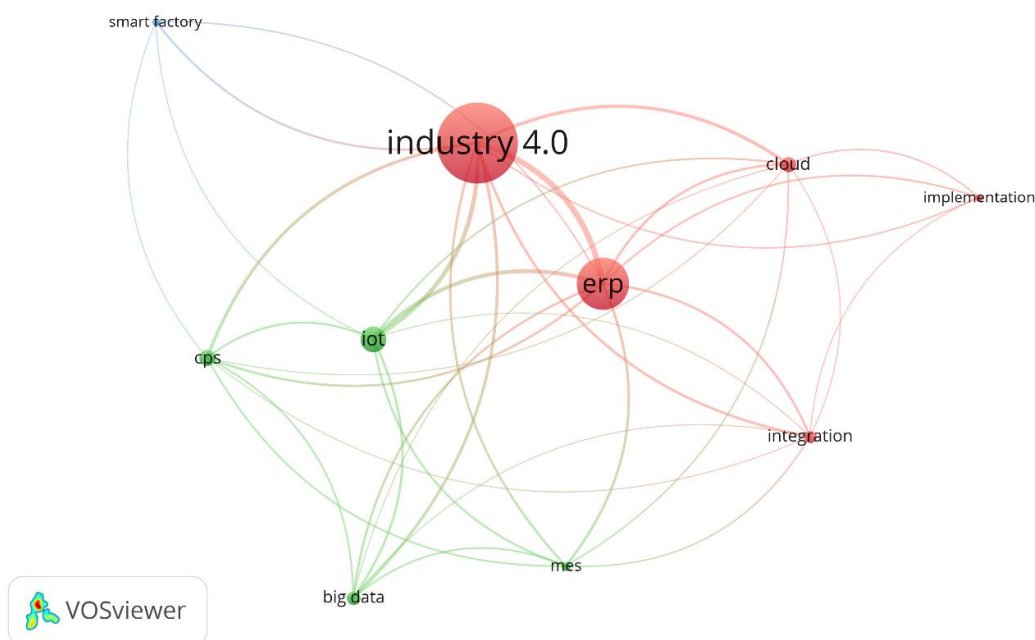
Tabulka 4: Klíčová slova s alespoň 6 výskyty v rámci zkoumaných článků

Tematické zaměření	Počet prací
Industry 4.0	59
ERP	38
IoT	19
CPS	12
Cloud	11
Big data	10
Integration	9
MES	7
Smart factory	5
Implementation	5

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 4 patrné, s výjimkou obecných termínů „Industry 4.0“ a „ERP“, podle kterých byly zkoumané práce dohledávány, se žádný jiný termín nevyskytoval mezi klíčovými slovy většiny dohledaných publikací. Klíčová slova deseti a více článků obsahovaly 4 konkrétní technologie – IoT, CPS, cloud a Big data, ostatní termíny se již vyskytovaly pouze v jednotkách případů. Vzájemné vazby mezi použitými klíčovými slovy, identifikované s využitím software VOSviewer, znázorňuje Obrázek 15.

Obrázek 15: Vazby mezi klíčovými slovy ve zkoumaných pracích



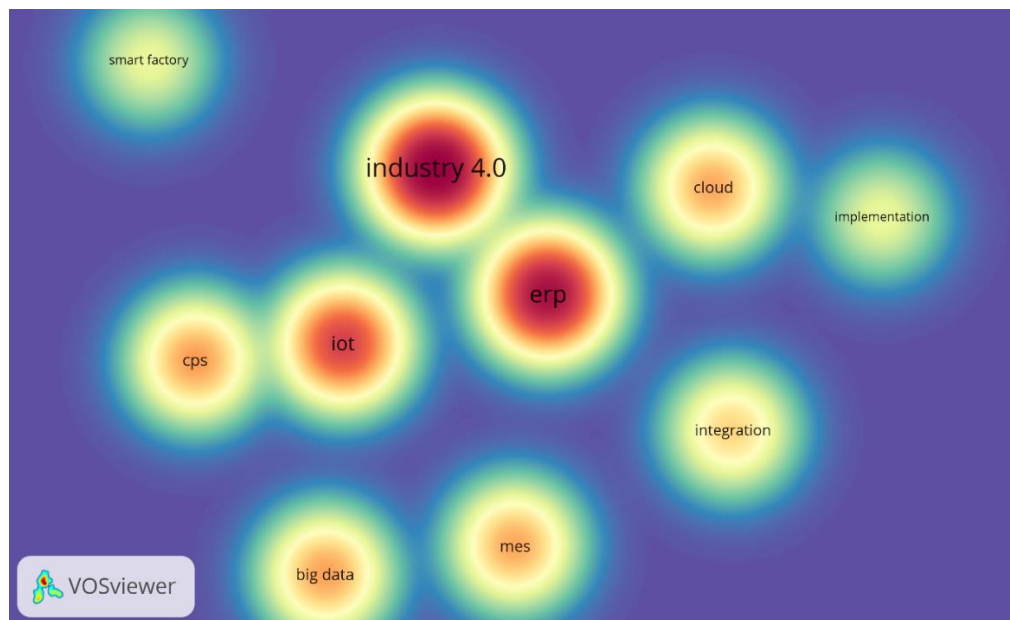
Zdroj: vlastní zpracování

Na Obrázku 15 vrcholy představují jednotlivé termíny a velikost vrcholů reflektuje počet výskytů⁴⁶ daných termínů v klíčových slovech zkoumaných prací. Spojnice mezi jednotlivými vrcholy pak představují jejich vazby, které jsou dány současným výskytem termínů v jednom článku, přičemž síla spojnic symbolizuje počet těchto současných výskytů⁴⁷. Na základě identifikovaných vazeb mezi jednotlivými termíny došlo rovněž k jejich sdružení do shluků, reprezentovaných v Obrázku 15 různými barvami vrcholů.

Jak z Obrázku 15 vyplývá, klíčová slova zkoumaných článků s intenzivním výskytem se v principu shlukují do dvou skupin, kdy jedna skupina je tvořena kombinací „Industry 4.0“, „ERP“, „Cloud“, „Integration“ a „Implementation“, tedy s výjimkou cloudu spíše obecnějších termínů, zatímco ve druhém shluku převažují již konkrétní technologie v podobě „IoT“, „CPS“ a „Big data“, doplněné systémy pro řízení dílenské výroby MES. Stranou obou shluků je potom poslední častěji se vyskytující termín, „Smart factory“. Nejsilněji jsou vzájemně provázány termíny „Industry 4.0“, „ERP“ a „IoT“, obecně je nicméně intenzita vazeb mezi jednotlivými termíny spíše nižší.

To, do jaké míry se určitý termín vyskytoval mezi klíčovými slovy v kombinaci s libovolným z ostatních častěji se vyskytujících výrazů, pak představuje Obrázek 16.

Obrázek 16: Celková intenzita vazeb ke klíčovým slovům ve zkoumaných pracích



Zdroj: vlastní zpracování

⁴⁶ V software VOSviewer byla jako hodnota parametru *Weights* pro tvorbu tohoto obrázku zvolena varianta *Occurences*.

⁴⁷ Pro úplnost dodejme, že kromě síly spojnic je intenzita vazeb mezi jednotlivými termíny v grafu symbolizována i jejich vzájemnou vzdáleností, přičemž platí že čím blíže k sobě určité vrcholy jsou, tím silnější vazba byla mezi nimi dohledána.

Obrázek 16 znázorňuje „teplotní mapu“ celkové intenzity vazeb za jednotlivé termíny, přičemž platí, že v čím větším množství vazeb daný termín vystupuje, tím tmavší červenou barvou je na „teplotní mapě“ vyznačen⁴⁸. Nejintenzivněji jsou tedy s výskytem ostatních klíčových slov provázány termíny „Industry 4.0“, „ERP“ a „IoT“, naopak s nejmenší četností ve vazbách vystupují klíčová slova „Smart factory“ a „Implementation“.

Počáteční analýza obsahu zkoumaných článků s využitím softwarového produktu VOSviewer tedy naznačila, že s problematikou ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 je poměrně intenzivně spojován především fenomén Internetu věcí, z dalších technologií pak Kyber-fyzické systémy, Big data a cloud.

Po této počáteční analýze klíčových slov následoval již detailní rozbor obsahu plného textu prací. Na základě podrobného studia obsahu jednotlivých prací bylo vymezeno 6 základních okruhů, do kterých práce tematicky spadají. Jedná se o okruhy „Modely a příklady využití systémové integrace a sběru reálných dat“, „Připravenost ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0“, „Koncepty náhrady nebo rozšíření ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0“, „Cloudové ERP systémy“, „Přechod od tradiční pyramidy automatizace“ a „Využití blockhainových databází v ERP systémech“. Do těchto okruhů bylo možné přiřadit 62 zkoumaných prací. Zaměření zbývajících 12 prací se tematicky lišilo jak od definovaných okruhů, tak vzájemně, tyto práce byly proto zařazeny do souhrnné skupiny „Ostatní studie“. Množstevní rozdělení prací mezi jednotlivé tematické okruhy znázorňuje Tabulka 5:

Tabulka 5: Četnost prací zkoumaných v rámci systematické rešerše dle jejich hlavního tematického zaměření.

Tematické zaměření prací	Počet
Modely a příklady využití systémové integrace a sběru reálných dat	33
Připravenost ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0	10
Koncepty náhrady nebo rozšíření ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0	9
Cloudové ERP systémy	4
Přechod od tradiční pyramidy automatizace	4
Využití blockhainových databází v ERP systémech	2
<i>Ostatní studie</i>	12

Zdroj: vlastní zpracování

⁴⁸ V software VOSviewer byla jako hodnota parametru *Weights* pro tvorbu tohoto obrázku zvolena varianta *Total link strength*.

V následujícím textu jsou podrobně rozebrány jednotlivé hlavní tematické okruhy a obsah prací, které do nich spadají.

3.1.6 Přípravenost ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0

Existují práce, které se cíleně zabývají připraveností ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0. Haddara & Erlagal (2015) tuto problematiku zkoumali formou deseti strukturovaných výzkumných rozhovorů se zástupci uživatelů i konzultantů ERP systémů, přičemž se zaměřovali především na schopnosti systému získávat velké objemy dat z výroby prostřednictvím IoT a tyto objemy dále zpracovávat. Výzkum ukázal, že většina respondentů spojuje připravenost ERP systému na továrnu budoucnosti především s jeho schopností přijímat data ze strojů a zařízení prostřednictvím systémové integrace. Co se této schopnosti týče, hodnotili respondenti ERP systémy (a tedy i jejich připravenost na prostředí Průmyslu 4.0) používané v jejich společnostech převážně pozitivně.

Telukdarie & Sishi (2018) prezentují výsledky výzkumu, který formou dotazníku mezi 10 významnými dodavateli ERP systémů zjišťoval připravenost jimi dodávaných systémů na vybrané technologie Průmyslu 4.0. Z výzkumu vyplynulo, že ERP systémy jsou nejvíce připravené na technologii vnitropodnikové systémové integrace (7 z 10 zkoumaných systémů bylo na tuto technologii připraveno) a mezipodnikové integrace napříč dodavatelským řetězcem (4 z 10). Naopak technologie rozšířené reality a digitálního dvojčete nebyl v době výzkumu dle vyjádření dodavatelů připraven využívat žádný ze zkoumaných ERP systémů.

Basl (2018b) hodnotil připravenost ERP systémů na prostředí Průmyslu 4.0 v prostředí české ekonomiky prostřednictvím dotazníkového šetření mezi dodavateli ERP systémů na tuzemském trhu. Podle výsledků šetření se 80 % dodavatelů ERP systémů domnívalo, že již implementovali některé principy Průmyslu 4.0 do svých systémů. 67 % respondentů pak již k datu výzkumu disponovalo strategií v oblasti Průmyslu 4.0 a 13 % tuto strategii alespoň připravovalo. Co se týče konkrétních technologií, v největší míře byla v rámci ERP systémů využívána technologie mobilních zařízení, následovaná využitím cloud computingu a analýzou velkých dat. Z technologií, které by chtěli dodavatelé rozvíjet do budoucna, pak byla nejčastěji zmiňována umělá inteligence. Na tuto práci navazovala studie Basl & Nováková (2019), kde byla opět využita metoda dotazníkového šetření mezi dodavateli ERP systémů. Výzkum se

tentokrát soustředil na tři hlavní trendy, které autoři identifikovali jako základní vlastnosti ERP 4.0 – využití cloudu, internetu věcí (především ve smyslu získávání online dat z fyzických zařízení) a umělé inteligence, přičemž výzkum ukázal, že v největší míře dodavatelé ERP systémů využívají technologii cloudu. Využití IoT a umělé inteligence v ERP systémech se oproti tomu ukázalo jako významně nižší, byť existují rozvojové plány dodavatelů v této oblasti.

Perera et al. (2018) identifikovali několik okruhů požadavků, které by měl ERP systém v prostředí Průmyslu 4.0 splňovat. Těmito okruhy jsou schopnost spolupráce s IoT (především v oblasti získávání dat z reálných procesů), pokročilá datová analýza včetně využívání strojového učení, automatizace procesů prostřednictvím softwarových robotů, schopnost systémové integrace s ostatními informačními systémy a využívání technologie blockchainu. Následně hodnotili, nakolik současná generace ERP systému SAP, SAP S4/HANA, těmto požadavkům odpovídá, přičemž došli k závěru, že SAP je již v současné době schopen tyto funkcionality nabídnout, přestože míra jejich implementace přirozeně závisí na konkrétním zákazníkovi.

Obdobný přístup je použit v práci Cocca et al. (2018), kde autoři definují pět hlavních okruhů požadavků na ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0 – okruh zákazníků (reprezentovaný požadavky jako je schopnost systému komunikovat se zákazníky prostřednictvím širokého spektra komunikačních kanálů nebo schopnost systému podporovat proces prodeje s cílem poskytnout zákazníkovi co nejlepší uživatelskou zkušenost), okruh vnitřních procesů (např. požadavky na modularitu systému, schopnosti práce s velkými objemy dat apod.), okruh pracovníků (např. schopnost systému nahradit rutinní, časově náročné operace softwarovými roboty nebo přizpůsobitelnost systému potřebám starších zaměstnanců), okruh dodavatelsko-odběratelského řetězce (reprezentovaný požadavky jako je schopnost systému sdílet informace v rámci spolupracující sítě podniků, sledovat pohyb výrobků řetězcem apod.) a okruh udržitelnosti (např. sledování spotřeby energie, objem produkovaných odpadů a znečištění apod.). Autoři následně posuzovali, nakolik jsou tyto požadavky reflektovány systémem SAP S4/HANA. Došli přitom k závěru, že SAP již pro většinu identifikovaných požadavků nabízí použitelné řešení, a to buď sám o sobě, nebo ve spolupráci s partnerskými systémy.

Problematice SAPu v prostředí Průmyslu 4.0 se ve své knize, která široce mapuje celý koncept Průmyslu 4.0, věnuje i Babel (2022). Roli ERP systému v prostředí Průmyslu

4.0 chápe autor především v rovině centrálního úložiště dat, ve kterém by se měla v reálném čase sbíhat data ze všech podnikových procesů. Toho by mělo být dosaženo především prostřednictvím systémové integrace ERP systému s nižšími úrovněmi pyramidu automatizace, typicky se systémem MES, který se v automatizační pyramidě nachází přímo pod úrovní ERP. Na základě svých zkušeností se SAPem potom autor dochází k závěru, že SAP, zejména ve své současné generaci SAP S4/HANA, je na tuto integraci velmi dobře připraven.

Majstorovic et al. (2020) ve svém článku představili model ERP systému připraveného na prostředí Průmyslu 4.0. V jejich pojetí se takový systém skládá ze tří základních komponent. ERP systém se svými tradičními funkcionalitami v tomto modelu tvoří jádrovou komponentu, která je prostřednictvím komponenty rozhraní propojena s třetí, tzv. virtuální komponentou, která obsahuje velké objemy dat získávané z reálných procesů, uložené v cloudu a vytěžované specializovanými nástroji.

Rathnayke et al. (2022) provedli systematickou rešerši literatury týkající se vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0, přičemž rozebírají stejné články jako tato práce. Zajímavostí je, že autoři používají termín ERP 4.0, který má představovat další vývojový stupeň ERP systémů. Kromě odkazovaného článku se nicméně toto označení v odborné literatuře vyskytuje pouze velmi výjimečně, v praxi se potom (rovněž výjimečně) používá primárně pro marketingové účely. Nejedná se tedy o obecně přijímaný termín, jako je tomu u ERP I-III.

Rovněž Morawiec & Soltysik-Piorunkiewicz (2023) postupovali metodou systematické rešerše, přičemž jejich cílem bylo identifikovat faktory, které ovlivňují implementaci ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0, a které mají v konečném důsledku dopad na agilitu (tzn. schopnost rychle se přizpůsobovat změnám) podniku. V souladu s principy *Technology-Organization-Environment* (zkráceně *TOE*) frameworku zároveň tyto faktory rozčlenili dle toho, zda souvisí s problematikou technologií, organizace nebo prostředí. Jako významné faktory související s technologií označili Big data, cloud, IoT, autonomní roboty a rozšířenou realitu, jako faktory související s organizací potom aditivní výrobu, simulace, kybernetickou bezpečnost a systémovou integraci⁴⁹. Co se týče faktorů souvisejících s prostředím, k nim autoři zařadili jednak rozvoj

⁴⁹ Poněkud paradoxně tak některé technologie, které tvoří základních „9 pilířů Průmyslu 4.0“, byly zařazeny mezi faktory související s organizací, nikoliv s technologiemi.

mobilních technologií, jednak koncepty udržitelného rozvoje, informační společnosti a tzv. Společnosti 5.0.

3.1.7 Modely a příklady využití systémové integrace a sběru reálných dat

Nejčastějším tématem, které je ve zkoumaných pracích rozebíráno, je využívání systémové integrace. Ta by měla sloužit jednak pro spojení s informačními systémy nižší úrovně, které slouží k řízení a monitorování fyzických procesů (např. MES pro oblast výroby nebo WMS pro oblast logistiky), jednak pro integraci s informačními systémy partnerů v rámci dodavatelsko-odběratelského řetězce s cílem umožnit sledování toku zboží napříč celým řetězcem, a konečně pro napojení na platformy dodávající data přímo z výrobních a logistických strojů a zařízení. Primárním hlediskem těchto prací je tedy vždy snaha integrovat do ERP systému detailní data o průběhu reálných procesů, a tato data dále zpracovávat. Charakteristickou vlastností těchto studií je, že obvykle obsahují konkrétní příklady daného řešení, a to buď ve formě případové studie v konkrétním podniku, nebo alespoň v podobě návrhu modelu konkrétního řešení.

Ji et al. (2016) ve svém článku popisují příklady implementace principů Průmyslu 4.0 v konkrétním slévárenském podniku ve vztahu k ERP systému. Jedná se jednak o sledování průběhu a kvality výroby pomocí načítání čárových kódů a integraci těchto dat do ERP systému, jednak o přímé načítání dat do ERP systému z některých výrobních zařízení. Z prostředí hutního průmyslu je rovněž práce Govender et al. (2019), která teoreticky rozebírala možnosti implementace Průmyslu 4.0 v ocelářském průmyslu, a která rovněž představuje model úzkého propojení ERP systému s dalšími softwary a technologiemi pro řízení dílčích procesů. Část autorského kolektivu tohoto článku se podílela i na studii Sishi & Telukdarie (2020), která se orientovala primárně na možnosti implementace Průmyslu 4.0 v důlním průmyslu, přičemž se zabývala rovněž rolí ERP systému v tomto prostředí. Na základě výzkumných rozhovorů s relevantními pracovníky v konkrétním dole docházejí autoři k závěru, že v dole využívaným technologie Průmyslu 4.0 bude ERP systém úzce a obousměrně integrován se systémy pro řízení dílčích procesů, jako je systém pro řízení těžby, správu těžebních zařízení, správu paliva apod. Data z těchto dílčích systémů, společně se vstupy z různých senzorů a čidel, která mohou mít charakter velkých dat,

potom budou opět integrována v centrální databázi a zde, mimo jiné i prostřednictvím nástrojů ERP systému, vyhodnocována.

Do určité míry je podobná práce od Saboor et al. (2019), která se zabývá primárně návrhem systému pro automatický transport materiálu a polotovarů mezi jednotlivými pracovišti prostřednictvím robotických vozidel. ERP systémy jsou v této práci uvedeny jako vrcholový prvek, který na základě svých kalkulací jednotlivým vozidlům zadává příkazy k transportu, a zároveň od nich získává zpětnou vazbu. Do stejné skupiny je pak možné zařadit i práci Liu et al. (2019a), která přináší konkrétní modelový návrh výrobního systému založeného na principech Průmyslu 4.0. Systém navržený v této práci opět klade důraz na IoT a úzkou integraci veškerých prvků systému, s ERP jakožto centrálním prvkem pro plánování.

Ještě konkrétnější je potom práce od Temel & Ayaz (2019), která představuje už nikoliv model, ale konkrétní implementaci principů Průmyslu 4.0 ve výrobním podniku. I v tomto reálném příkladě autoři zdůrazňují roli úzké systémové integrace celého výrobního procesu, přičemž ERP systém je v tomto případě umístěn v cloudu. Na rozdíl od jiných prací citovaných níže, ve kterých je tradiční pyramida automatizace označována jako nevhodná pro prostředí Průmyslu 4.0 a jsou diskutovány možnosti jejího nahrazení, naopak Temel & Ayaz (2019) na ní svou práci staví. Případovou studii implementace Průmyslu 4.0 v konkrétním výrobním podniku předkládají rovněž Doyle & Cosgrove (2019), i zde je pak kladen důraz na inkorporaci výrobních dat do ERP systému pomocí automatické identifikace a sběru dat a systémové integrace. Také Avvaru et al. (2020) ve své studii předkládají model systémové integrace jednotlivých informačních systémů (ERP, MES a PLM systému) ve firmě, kdy doporučují jejich integraci prostřednictvím centrální databáze znalostí, s níž by jednotlivé systémy komunikovaly prostřednictvím webových služeb, a případovou studii využití navrženého modelu v italském podniku automobilového průmyslu. Ani tento model tradiční pyramidu automatizace neodmítá, ale do určité míry je na ní založen.

Úzké propojení fyzického výrobního procesu s ERP je rovněž náplní práce Magalhaes et al. (2022), která představuje konkrétní příklad vybudování digitálního dvojčete výrobního procesu v ERP systému. Data získávaná z výrobního procesu jsou v tomto případě prostřednictvím IoT sdílěna do ERP systému, díky čemuž jsou kdykoliv dostupná pro potřeby řízení a provádění simulací. Problematikou tvorby digitálního

dvojčete výrobního procesu a jeho využitím pro simulaci se zabývají rovněž Malaga et al. (2022). V jejich pojetí jsou data z digitálního dvojčete následně nainportována do ERP systému, který je může využít pro potřeby kalkulací a plánování výroby. Maia et al. (2022) potom představili koncept digitálního dvojčete výrobních procesů podniku sloužící pro dohled na jejich bezpečnosti. Tu přitom autoři vnímají komplexně, nikoliv tedy pouze z pohledu zabezpečení vůči kybernetickým hrozbám, ale např. i z pohledu odolnosti systému vůči chybným operacím ze strany pracovníků, způsobeným jejich únavou nebo nepozorností. Celý dohledový systém je potom úzce integrován s ERP systémem tak, aby zde byly veškeré informace o nastalých či hrozících problémech online k dispozici a mohly být použity pro další řízení. Součástí práce je i případová studie využití navrženého systému v konkrétním podniku textilního průmyslu.

Integrace nízkourovňových dat jednak z MESu, jednak z různých senzorů a čidel přímo ve výrobě prostřednictvím IoT, hraje významnou roli rovněž v práci Ferrarri et al. (2021), která se zabývá problematikou sledování spotřeby environmentálních zdrojů ve výrobě v prostředí Průmyslu 4.0. Autoři na případové studii realizované v italské keramičce dokládají, že právě systémová integrace nízkourovňových dat z MESu a IoT na straně jedné s centrálními daty pro plánování a řízení z ERP systému na straně druhé umožňuje tyto vstupy exaktně měřit a analyzovat. Pro samotnou integraci obou úrovní dat autoři navrhuje využití business intelligence. Obdobná problematika je řešena v práci Alarcon et al. (2021), která popisuje využití IoT pro sledování spotřeby energie a stavu jednotlivých zařízení a následné integraci těchto dat do ERP systému a systému pro business intelligence v prostředí španělské chemičky.

Obdobné příklady, třebaže bez environmentálního přesahu, jsou uváděny i ve studiích Piedade et al. (2020) a Patalas-Maliszewska et al. (2022). Tito autoři představují případové studie čtení dat z výrobního zařízení v reálném čase a jejich následné integrace do ERP systému, kde mohou být tato data následně zpracovávána a vytěžována prostřednictvím specializovaných nástrojů (v práci Patalas-Maliszewska et al. (2022) je pro tyto účely používáno řešení pro business intelligence, v první jmenované práci není konkrétní nástroj specifikován). Cílem této analýzy by v obou uvedených případech mělo být především získání schopnosti predikovat problémy ve výrobním procesu.

El Hamdi et al. (2018) kladou rovněž důraz na integraci dat z výrobních procesů do ERP systému, čímž dojde ke vzniku velkých dat, která budou následně zpracovávána

specializovanými nástroji. Obdobně chápou problematiku Průmyslu 4.0 ve vztahu k ERP systémům rovněž Pavlovic et al. (2020), kteří se ve své práci zabývali především problematikou systémové integrace jednotlivých informačních systémů (jak v rámci podniku, tak napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem) jakožto základního zdroje velkých dat využitelných pro další analýzy. Ve své studii vycházejí z dílčích dat o srbských podnicích, získaných v rámci pravidelného evropského šetření European Manufacturing Survey. Na základě těchto dat vyvozují, že míra sběru dat z výroby, jejich vnitropodniková integrace do ERP systému a mezipodniková integrace s daty obchodních partnerů je v srbských výrobních podnicích poměrně velká, a existuje zde tedy prostor pro intenzivnější využívání technologie Big data pro jejich analýzu. Srbskými výrobními podniky se zabývali rovněž Ciric et al. (2020), kteří formou dotazníku zkoumali míru využívání jednotlivých informačních a komunikačních technologií v tomto prostředí, a jejich vliv na konkurenceschopnost těchto podniků v prostředí Průmyslu 4.0. Výsledky ukázaly, že největší význam přikládají podniky právě využívání ERP systémů, především pro oblast řízení prodeje a CRM, a že dle názoru respondentů se využívání ICT pozitivně projevuje především zvýšením flexibility podniku a schopnosti inovovat.

Význam systémové integrace dat z výroby, která jsou sbírána MES systémem prostřednictvím internetu věcí a AIDC, do ERP systému je potom zdůrazňován i v článku Tsai et al. (2020), který se zabývá problematikou zavedení systému Activity Based Costing v prostředí Průmyslu 4.0 v ocelářském podniku. Právě získávání velkých objemů dat přímo z výrobních procesů podle autorů umožní identifikovat v rámci ERP systému míru aktivit vynaložených na jednotlivé výkony, porovnávat ji zde s kalkulovanými hodnotami a výsledky porovnání následně využít pro další plánování a řízení. Tuto myšlenku jeden z autorů dále rozvíjí v práci Tsai (2023), kde rovněž zdůrazňuje význam získávání reálných dat o průběhu výrobního procesu prostřednictvím senzorů a čidel, jejich integraci do prostředí ERP systému a následné vyhodnocení s pomocí nástrojů pro analýzu velkých dat a cloud computingu. Práce rovněž obsahuje formulaci optimalizační úlohy, která rozhodování takto řízeného textilního podniku popisuje prostřednictvím matematického modelu.

Rovněž Varga et al. (2022) ve své rozsáhlé práci, která se věnuje využití rychlých mobilních sítí standardu 5G v prostředí Průmyslu 4.0, zdůrazňují význam integrace ERP systému s MES systémem (který prostřednictvím automatické identifikace a

sběru dat získává detailní informace o průběhu výroby a následně je poskytuje ERP systému) na straně jedné a s řešením pro analýzu velkých dat (který slouží k vytěžování dat centralizovaných v ERP systému), typicky využívajícím cloud computing, na straně druhé. Význam úzké integrace jednotlivých systémů pro plánování a řízení výroby, a to jak vertikální, především v podobě integrace ERP a MES systému, tak horizontální, např. v podobě automatických přenosů požadavků na dodávky materiálu, které vznikají v ERP systému (mimo jiné) na základě dat z MESu, do systémů dodavatelů, zdůrazňují rovněž Wally et al. (2023). Autoři zároveň diskutují různé přístupy k návrhu a modelování procesů v takovém prostředí. Jako vhodný přístup navrhuje využití tzv. „Modelu zdrojů, událostí a agentů“ (tzv. REA model z anglického *Resource-Events-Agents*), který byl již v minulosti úspěšně využit pro modelování účetní problematiky v podnikových informačních systémech.

Integraci dalšího datového vstupu do procesu plánování výroby potom řeší ve své práci Dudek et al. (2023). Tito autoři představují případovou studii modelu automatizovaného plánování customizované výroby, který, kromě pro těchto účely tradičně používaných výrobních a logistických dat z ERP systému, bere do úvahy i podklady získávané z konkrétních požadavků jednotlivých zákazníků za pomoci zpracovávání přirozeného jazyka umělou inteligencí. Výsledné plánování výroby v rámci ERP systému je potom syntézou obou kategorií vstupů.

De Felice et al. (2016) se zabývali problematikou využití automatické identifikace a sběru dat pro potřeby řízení logistického procesu v rámci ERP systému. Představili případovou studii italského průmyslového podniku, v němž je pro identifikaci jednotlivých objektů používána kombinace RFID technologie a čárových kódů. Veškeré logistické operace jsou poté evidovány prostřednictvím načítání těchto identifikátorů a data jsou přenášena do ERP systému pro účely řízení a vyhodnocování. Na obdobné téma se zaměřili Majeed & Rupasinghe (2017), kteří diskutovali možnost využití IoT a automatické identifikace a sběru dat prostřednictvím RFID technologie pro řízení logistického procesu v ERP systému SAP. Na základě dotazníku mezi konzultanty a uživateli SAPu došli k závěru, že za největší benefit nasazení těchto technologií by respondenti považovali možnost získávat logistické informace v reálném čase. Naopak největší překážkou jejich implementace jsou náklady spojené s jejich zavedením. Výzkum zároveň ukázal, že SAP disponuje potřebnými nástroji pro zpracování takto získaných dat a pro jejich využití v

automatizaci procesů. Giuliano et al. (2023) potom představili případovou studii potravinářského podniku, který využívá integraci reálných dat z výroby a logistiky, získaných pomocí kombinace různých typů senzorů monitorujících výrobní proces a sledování pohybu přepravek s výrobky pomocí technologie RFID, s daty z ERP systému a sociálních sítí. Veškerá získaná data jsou poté analyzována prostřednictvím specializovaného cloudového řešení pro analýzu velkých dat a využívána pro plánování výroby a další optimalizaci provozu.

Logistice z širšího úhlu pohledu se pak věnovali i Paththinige et al. (2022), kteří zkoumali možnosti využití technologie IoT (především v podobě automatizovaného získávání online dat z jednotlivých zařízení a produktů do ERP systému) pro řízení celého dodavatelsko-odběratelského řetězce. Na základě rešerše existující literatury dospěli k závěru, že technologie IoT má v této oblasti široké využití, kdy např. umožňuje okamžitě a automatizovaně reagovat na změny skladových zásob nebo získávat informace o konečném zákazníkovi, kterému byl určitý produkt dodán. Naopak jako hlavní překážky intenzivnějšího využití IoT v logistice vidí jednak stávající nedůvěru podniků k této technologii, jednak jejich neschopnost zpracovat velké objemy dat, které technologie IoT generuje.

Z úzkého technického hlediska se problematikou systémové integrace ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 zabývali Qureshi et al. (2017), kteří se věnovali metodám využitelným pro mezipodnikovou integraci ERP systému s cloudovou platformou pro sdílení výrobních dat napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem, a představili konkrétní technické řešení takové integrace. Další technickou studií jsou práce od Gjeldum et al. (2018) a Mladineo et al. (2019), kteří představili výsledky experimentů zkoumajícího možnosti využití technologie RFID ve výrobním procesu pro sledování průchodu výrobku výrobou a skladem. Tato data byla následně integrována s ERP systémem s cílem zlepšit proces plánování. Nugroho et al. (2020) pak představili konkrétní technické řešení přenosu dat z ERP systému do světelné signalizace ve výrobě, které umožňuje uživatelům ERP systému (tzn. např. plánovačům výroby) předávat informace pracovníkům ve výrobě. Technický charakter měla rovněž práce Ye et al. (2021), která se věnovala problematice úzké systémové integrace ERP a MES systémů v prostředí Průmyslu 4.0, a která obsahuje návrh konkrétní metody využitelné pro propojení těchto dvou kategorií systémů.

Amara et al. (2022) pak považují schopnost integrovat se s jinými systémy, především z oblasti výroby, za vůbec nejdůležitější podmínku pro zapojení ERP systémů do prostředí Průmyslu 4.0. Ve své práci zkoumají problematiku sémantických rozdílů mezi jednotlivými typy informačních systémů, které považují za jednu z potenciálních překážek pro úspěšnou systémovou integraci. Představují proto ontologický model entit používaných v ERP systémech, který by těmto problémům měl zamezit.

3.1.8 Přejchod od tradiční pyramidy automatizace

Salomon et al. (2017) přišli ve své studii s tvrzením, podle kterého musí být v prostředí Průmyslu 4.0 tradiční hierarchicky orientovaná pyramida automatizace s ERP systémem na vrcholu, popsaná v subkapitole 2.3.2, nahrazena decentralizovaným integračním ekosystémem využívajícím architekturu orientovanou na služby. Jako příklad uvádí konkrétní případovou studii realizovanou v podniku na výrobu obráběcích strojů, kde za použití této filosofie došlo k integraci dat z testovacího provozu jednotlivých strojů a jejich využití pro potřeby dalšího vývoje (jedná se tedy o kombinaci vnitropodnikové a end-to-end integrace).

O přechodu od tradiční pyramidy automatizace k obousměrnému flexibilnímu propojení ERP systému s technologiemi, které řídí vlastní výrobní a logistické procesy, píší ve své práci rovněž Faller & Höftmann (2018), kteří kromě teoretického rozboru takové architektury popisují i tvorbu odpovídajícího modelového prostředí na univerzitě v Bochumi, a Antonino et al. (2019), kteří rozebírají několik modelových scénářů implementace principů Průmyslu 4.0 (např. v podobě využití digitálního dvojčete fyzických entit nebo architektury orientované na služby). Obdobně dle Kannoht et al. (2021) je v rámci Průmyslu 4.0 nutná kompletní změna tradiční automatizační architektury, která umožní komunikaci i mimo tradiční hierarchii představovanou pyramidou. Kannoht et al. (2021) představují dvě případové studie takové změny v konkrétních podnicích, založené na využití platformy Eclipse BaSyx 4.0.⁵⁰

⁵⁰ Dodejme, že výzvy, kterou Průmysl 4.0 představuje pro hierarchický model pyramidy autentizace, si je vědoma i samotná organizace ISA, která v souladu s odkazovanými články předpokládá nahrazení tradičního hierarchického modelu decentralizovaným a pružnějším modelem propojené sítě. Více viz Brandl & Johnsson (2021).

3.1.9 Koncepty náhrady nebo rozšíření ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0

Některé práce potom zacházejí ještě dále než k opuštění tradiční pyramidy automatizace, a navrhují doplnění informační infrastruktury podniku o zcela nový prvek, který by převzal podstatnou část stávající funkcionality ERP systémů, nebo tyto systémy i zcela nahradil. Youssef et al. (2017) tak přicházejí s tvrzením, že pro prostředí Průmyslu 4.0 není vhodný ERP systém jako takový, a to kvůli jeho příliš centralistické a hierarchické charakteristice. Dle těchto autorů je proto pro potřeby Průmyslu 4.0 vytvořit zcela novou kategorii informačních systémů, které označují jako *Enterprise Operating System* (EOS). Tyto systémy by měly být prostřednictvím integrací pokrývat celé fungování podniku a měly by být založeny na architektuře orientované na služby, což by mělo přinést schopnost decentralizované reakce na různé typy událostí přicházející do systému z různých směrů. Autoři rovněž představují prototyp takového systému.

Moghaddam et al. (2019) ve své práci rovněž rozebírají možnost náhrady monolitických ERP systémů tzv. „tržištěm služeb“. Mělo by se jednat o cloudovou platformu, v níž budou koexistovat různé jednoúčelové aplikace a služby. Ty budou moci být vyvíjeny i různými poskytovateli, budou ale schopny vzájemné komunikace. Podnik si poté v této platformě vybere pouze ty komponenty, které pro své fungování potřebuje, a z těch si sestaví svůj konkrétní informační systém. K myšlence náhrady ERP systémů novou kategorií informačních systémů dospěli ve své práci, která se věnovala problematice ERP systémů a IoT v prostředí obchodních přístavů, rovněž Nata Kusuma et al. (2019). Jimi navrhovaná nová generace automatizovaných systémů pro řízení přístavního provozu nicméně není v práci detailněji rozebírána, autoři se omezují pouze na deklaraci potřebného úzkého propojení informačního systému s IoT. Herlyn (2021) naproti tomu nenavrhuje ERP systémy nahradit novou kategorií systémů, zastává ale názor, že stávající podoba ERP systémů není pro prostředí Průmyslu 4.0 vhodná. Představuje proto koncept nové generace ERP systému v podobě komplexního digitálního dvojčete, které by pokrývalo veškeré procesy v podniku a umožňovalo jejich pružné řízení.

Obdobně Hsu et al. (2018) představuje koncept systému pokročilého plánování a rozvrhování výroby založeného na cloudu (*Cloud-based Advanced Planning and*

Schedulling system, CAPS), který dává do protikladu s tradičním plánováním výroby založeném na ERP. V autory navrženém systému slouží ERP systém pouze jako jeden z možných zdrojů vstupních dat, zatímco vlastní plánování a rozvrhování výroby probíhá v CAPS, který bere do úvahy i aktuální výrobní data získávaná online z výrobních zařízení. I v této práci je tedy implicitně, přestože ne explicitně, odmítnut model tradiční pyramidy automatizace. Na tuto studii navazovala práce Liu et al. (2019b), která obsahuje případovou studii využití CAPS v konkrétním podniku vyrábějícím díly pro automobilový průmysl.

Obdobně kladou na integraci ERP systému s nižšími prvky řízení důraz Didden et al. (2021), kteří ve své práci navrhli novou architekturu plánování a řízení výroby v prostředí Průmyslu 4.0. V takto navržené architektuře sice ERP systém zůstává vrcholovým prvkem, ve kterém probíhá dlouhodobé plánování a stanovování výrobních cílů, krátkodobé plánování dílenské výroby je ale delegováno na nižší prvek řízení, kterým je v tomto případě tzv. „globální kontrolní jednotka“, která řídí práci jednotlivých „výrobních buněk“, které navíc komunikují i navzájem. Autory navržená architektura plánování a řízení výroby je tedy částečně decentralizovaná, a ERP systémům přisuzuje relativně menší roli, než jakou zastávaly tradičně. Obdobný model architektury, třebaže s jinými názvy jednotlivých prvků, představili rovněž Grassi et al. (2020).

S určitým umenšením role ERP systémů oproti současnému stavu počítají rovněž Grangel-Gonzáles et al. (2023). Ti přicházejí s myšlenkou tzv. liniového informačního systému (LIS), ve kterém by byly informace z ERP, MES, PLM a případně i dalších systémů převedeny na společnou terminologii a koncentrovány. Systém takového typu by potom do určité míry nahradil ERP systémy v jejich roli vrcholového prvku informační infrastruktury podniku a základního zdroje centralizovaných informací. Autoři zároveň představují případovou studii realizace takového systému v koncernu Bosch, přičemž konstatují, že uživatelské reakce na implementaci LIS jsou v zásadě pozitivní.

3.1.10 Cloudové ERP systémy

Poměrně frekventované jsou v odborné literatuře, která se zabývá problematikou ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0, práce týkající se cloudu. Tongsuksai & Mathrani (2020) ve své práci představují výsledky systematické rešerše, která se zabývala

problematikou cloudových ERP (C-ERP) systémů a jejich připraveností na prostředí Průmyslu 4.0, reprezentované technologiemi jako je IoT, Big data nebo umělá inteligence. Z provedené rešerše dovozují, že ERP systémy založené na cloudu jsou v současné době již velmi dobře připraveny na získávání dat z IoT. Naopak připravenost cloudových systémů na využití Big data nebo umělé inteligence je dosud dle zjištění autorů výrazně nižší.

Marinho et al (2021) se rovněž zabývali cloudovými ERP systémy, konkrétně pak problematikou přechodu podniku od tradičního ERP systému ke cloudovému v prostředí Průmyslu 4.0. Na základě úvodní rešerše existující literatury identifikovali jako hlavní přínosy implementace C-ERP pokles nákladů (ve smyslu celkových nákladů vlastnictví neboli TCO z anglického *Total Cost of Ownership*), vysokou flexibilitu a škálovatelnost a jednoduchost implementace. Naopak jako hlavní faktory hovořící v neprospěch C-ERP byly v literatuře zmiňovány otázky zabezpečení, přístupu k soukromým datům, hrozby závislosti na dodavateli cloudu, a rovněž problematická interoperabilita některých systémů s cloudovými technologiemi. V rámci vlastního výzkumu prováděného formou dotazníkového šetření následně zkoumali vliv 10 proměnných na ochotu podniku přijmout cloudový ERP systém, přičemž tyto proměnné byly rozděleny do tří skupin – technologické, organizační, a související s prostředím. Dotazník byl distribuován mezi osobami zodpovědnými za výběr ERP systémů převážně v amerických firmách vyrábějících spotřební zboží. Výzkum ukázal, že mezi faktory, které pozitivně ovlivňují pravděpodobnost úspěšného přijetí cloudového ERP systému podnikem, patří kompatibilita systému s infrastrukturou i procesy společnosti, obecná připravenost společnosti na cloud jak z hlediska infrastruktury, tak z hlediska znalostí a firemního myšlení, podpora myšlenky cloudu ze strany top managementu společnosti, soulad cloudového ERP systému s regulatorními požadavky, podpora systému ze strany dodavatele a tlak na technologické změny ze strany konkurence.

Obdobnou studii, byť s jinou konstrukcí faktorů a metodikou jejich vyhodnocování, realizovali také Naveed et al. (2021). V jejich případě byla jako nejvýznamnější faktor ovlivňující přijetí cloudového ERP systému vyhodnocena podpora zavedení systému ze strany vrcholového managementu, následovaná úrovní zabezpečení cloudového řešení a strategickým řízením implementace.

Problematikou cloudových ERP systémů ve vztahu k Průmyslu 4.0 se zabývali rovněž Gupta et al. (2020). Autoři zdůraznili význam cloudových ERP systémů, které označili dokonce za jeden ze základních pilířů Průmyslu 4.0, a zkoumali vliv jejich využívání na ekonomický, sociální i environmentální výkon podniku, tzn. na kompletní tripple-bottom line, v prostředí Průmyslu 4.0. Jako výzkumná metoda byl použit dotazník distribuovaný mezi podniky v severní Indii využívající pokročilé technologie. Výsledky výzkumu ukázaly, že podle názoru respondentů má využívání cloudových ERP systémů pozitivní dopad na všechny tři komponenty trojitě výsledovky.

3.1.11 Využití blockhainových databází v ERP systémech

Ve zkoumaných studiích se objevily také dvě práce, které se zabývaly možnostmi využití technologie tzv. blockchainu, neboli distribuované decentralizované databáze uchovávající informace o transakcích, pro účely ERP systémů.

Dasaklis et al. (2021) se zabývali otázkou, jaké hlavní výhody by s sebou implementace blockchainu do oblasti ERP přinášela a jaké jsou hlavní překážky této implementace. Domnívají se, že hlavní potenciál blockchainu ve vztahu k ERP systémům spočívá především v oblasti mezipodnikové systémové integrace, kdy by blockchainová databáze mohla sloužit jako centrální platforma pro zapisování dat, u nichž by využití blockchainu zajišťovalo jejich nespornost, důvěrnost a integritu. Naopak překážky ve využití blockchainu v rámci ERP systémů vidí v oblasti organizační (typicky v podobě odporu ke změně), technologické (problémy s výpočetní náročností a nízkou mírou škálovatelnosti blockhainových databází), regulatorní (chybějící legislativa v této oblasti) a finanční (nákladnost celého řešení). Využití blockchainu v ERP systémech se věnoval rovněž Kitsantas (2022), který rovněž spatřuje přínosy této technologie především v oblasti systémové integrace, a to jak vnitropodnikové, tak mezipodnikové.

3.1.12 Ostatní studie

Zbývající studie nespádaly svým zaměřením do žádné z výše identifikovaných tematických skupin, a budou proto uvedeny v této subkapitole již bez rozlišení konkrétního tématu.

Studie Trusculescu et al. (2015) zkoumá faktory, které ovlivňují tržní valuaci podniků zabývajících se vývojem ERP systémů. Přestože ve svém výpočtovém modelu autoři s problematikou připravenosti těmito podniky dodávaných systémů na Průmysl 4.0

nepracují, v úvodu práce se této problematice věnují. Dle jejich názoru je nástup Průmyslu 4.0 v oblasti ERP systémů spojen především s využíváním technologií cloud computingu a internetu věcí.

Autenrieth et al. (2018) se zabývali otázkou připravenosti IT infrastruktury firem na prostředí Průmyslu 4.0. Tuto připravenost definovali několika kritérii, přičemž ERP systémů se týkala kritéria počítačově řízené výroby (pro získávání dat o průběhu výroby), kritérium datové výměny (pro získávání dat z dodavatelsko-odběratelského řetězce), kritérium využití cloud computingu (pro získání dostatečně výkonného prostředí pro následnou analýzu dat), kritérium datové analytiky (pro vlastní analýzu získaných dat) a konečně kritérium integrace ERP systému (které by mělo umožnit integraci dat napříč podnikem). Autoři následně tuto připravenost IT infrastruktury na Průmysl 4.0 testovali formou kvalitativního výzkumu, sestávajícího z dotazníků a tvorby případových studií popisujících situaci tří velkých německých výrobních firem. Výsledky ukázaly, že tato připravenost nebyla mezi zkoumanými subjekty dosud na příliš vysoké úrovni.

Basl (2018a) zkoumal, nakolik je v jednotlivých maturity modelech připravenosti podniku, resp. jeho informační infrastruktury, na Průmysl 4.0, zahrnuta problematika ERP systémů. Došel přitom k závěru, že ERP systémy nejsou v těchto modelech vzhledem k jejich vysoké míře agregace dostatečně reflektovány. Za vhodné proto považuje doplnění dimenze podnikových informačních systémů do jednotlivých maturity modelů, kdy kritéria týkající se ERP systémů by byla součástí této dimenze.

Připravenosti podniků na čtvrtou průmyslovou revoluci se věnovali rovněž Kilimis et al. (2019), kteří zkoumali míru digitalizace malých a středních podniků v Braniborsku. Provedené dotazníkové šetření ukázalo, že největší rezervy spatřují zástupci těchto podniků právě v oblasti svého využívání ERP systémů. Veškeré oslovené podniky tak rozvoj ERP systému označily jako svou prioritu v oblasti digitalizace. Obdobnou problematikou, tentokrát však v prostředí indické ekonomiky, se zabývali Upadhyay et al. (2023). Ti ve své práci identifikovali 26 potenciálních faktorů, které by mohli ovlivňovat implementaci konceptu Průmyslu 4.0 v mikro, malých a středních podnicích, a jejich skutečný význam následně hodnotili pomocí fuzzy analytického hierarchického procesu. ERP systémy byly mezi těmito faktory vyhodnoceny jako čtvrté nejvýznamnější, po využívání umělé inteligence, podpoře vrcholového managementu a využití virtuální reality. Využívání ERP systému tak z daného výzkumu vychází jako

jeden ze základních předpokladů pro přechod mikro, malých a středních podniků na Průmysl 4.0.

Haberli et al. (2019) zkoumali faktory, které ovlivňují úspěšnost jednotlivých stádií zavádění ERP systémů vybavených prostředky pro pokročilou analýzu dat od výběru systému přes jeho implementaci až po jeho rutinní využívání. Samotná studie byla zaměřena na prostředí brazilského zemědělského sektoru, a byla realizována formou smíšeného výzkumu, který kombinoval úvodní výzkumné rozhovory exploratorního charakteru s následným dotazníkovým šetřením. Výzkum ukázal, že na úspěšnost všech fází zavádění ERP systému má pozitivní vliv faktor konkurenčního tlaku, což autoři vysvětlují vysokým stupněm konkurence na trhu se zemědělskými komoditami. Využívání ERP systému se v takovém prostředí může stát klíčovou konkurenční výhodou. Ostatní zkoumané faktory, mezi které patřila například komplexnost systému, podpora zavedení systému ze strany vrcholového managementu apod., měly oproti tomu dopad pouze na vybraná stadia zavádění systému.

Barna (2021) zkoumala prostřednictvím rešerše 25 odborných článků, jak koncept Průmyslu 4.0 ovlivňuje provoz podniků, a zda jsou ERP systémy vhodným nástrojem pro jejich digitalizaci. Autorka na základě zkoumané literatury dochází k závěru, že ERP systémy jsou díky své schopnosti centralizovat a integrovat informace ze všech podnikových procesů ideálním nástrojem pro optimalizaci provozu podniku v éře digitalizace.

Szelagovski et al. (2022) ve své práci rozebírají vzájemný vztah ERP systémů a systémů pro řízení podnikových procesů (označovaných jako BPMS z anglického *Business Process Management Systems*), přičemž zkoumají, jak se na tomto vztahu podepíše Průmysl 4.0. Kombinací systematické rešerše a výzkumných rozhovorů se zástupci pěti dodavatelů ERP systémů docházejí k závěru, že v prostředí Průmyslu 4.0 bude nezbytné, aby ERP systémy kromě svých historických funkcí v podobě plánování výroby, vedení účetnictví apod. disponovaly rovněž nástroji pro modelování a řízení procesů, jejichž nositeli byly v minulosti právě BPMS. Výzkum autorů přitom ukazuje, že stávající ERP systémy jsou již nyní schopny tyto funkcionality svým uživatelům poskytnout, a to buď samy o sobě (neboť již zpravidla disponují specializovanými moduly pro tuto problematiku), nebo prostřednictvím úzké integrace s partnerskými BPMS. Z pohledu procesního řízení jsou tedy ERP systémy na prostředí Průmyslu 4.0 připraveny.

Kopishinska et al. (2023a, 2023b) se ve dvojici svých článků zabývají myšlenkou zavedení jednotného ERP systému napříč podniky vlastněnými veřejným sektorem na Ukrajině. Od implementace moderního ERP systému, který by na jedné straně umožňoval využívání moderních technologií jako je IoT, umělá inteligence, AIDC nebo blockchain, na straně druhé potom díky svému jednotnému nasazení snadnou integraci dat napříč podniky, si slibují zásadní posun v oblasti budování Průmyslu 4.0 v dané zemi.

Oproti ostatním citovaným pracím, které zpravidla zdůrazňují význam ERP systémů v oblasti plánování výroby a jejich úzkou integraci s výrobním procesem za pomoci moderních technologií, vyznívá odlišně práce de Man & Strandhagen (2018). Tito autoři tvrdí, že i přes různé funkcionality ERP systémů v této oblasti je dosud ve většině firem vlastní plánování prováděno především manuálně za použití tabulkových procesorů, což dokládají případovými studii tří takto plánujících podniků. Rovněž se nedomnívají, že by se tato situace v dohledné budoucnosti měla změnit, a to ani s přihlédnutím k rozvoji Průmyslu 4.0 (byť zároveň dodávají, že pokud by se přece jen změnila, právě požadavky Průmyslu 4.0 by pravděpodobně byly jedním z významných iniciátorů této změny). S určitou mírou skepse k roli ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 přistupují také Mantravadi et al. (2018), kteří se zabývají sdílením výrobních dat v rámci dodavatelsko-odběratelského řetězce. Přestože je taková forma systémové integrace dle autorů žádoucí, ERP systémy pro toto využití nepovažují za vhodné, protože data v těchto systémech vznikají s časovým zpožděním a v agregované formě. Autoři proto pro tyto účely doporučují vytvořit integrační řešení čerpající data z MESu.

3.1.13 Podrobnější analýza klasifikace

V rámci šestého kroku došlo k rozpracování základní klasifikace s cílem získat komplexnější představu o aktuálním stavu akademické diskuse o problematice vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0. Podrobnější analýza spočívala jednak v rozčlenění prací z hlediska roku a geografické oblasti jejich vzniku, jednak v identifikaci konkrétních technologií Průmyslu 4.0, které byly ve zkoumaných pracích reflektovány.

Cílem členění zkoumaných prací z hlediska **data vydání** bylo zjistit, nakolik je studium vlivu Průmyslu 4.0 na ERP systémy v akademické literatuře aktuálním tématem.

Časové rozdělení zkoumaných studií je znázorněno v Tabulce 6:

Tabulka 6: Časové rozložení studií zabývajících se ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0

Rok vydání	Počet prací
2023	9
2022	12
2021	9
2020	10
2019	13
2018	12
2017	5
2016	2
2015	2

Zdroj: vlastní pracování

Jak je z Tabulky 6 patrné, tematika vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0 začala být v akademickém prostředí intenzivněji diskutována v roce 2018, a zájem o ni je od té doby možné označit za stabilní.

Klasifikace dohledaných článků dle **oblasti jejich vzniku** byla realizována s cílem zjistit, v jakých zemích, resp. v širším slova smyslu oblastech, je problematika vztahu Průmyslu 4.0 a ERP systémů aktuálně diskutována. Jako kritérium pro určení geografické příslušnosti jednotlivých prací bylo zvoleno pracoviště prvního, resp. korespondenčního (byl-li v článku explicitně určen) autora publikace. Geografické rozdělení prací dle země původu znázorňuje Tabulka 7⁵¹:

Tabulka 7: Geografické rozložení studií zabývajících se ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0

Země původu	Počet prací	Země původu	Počet prací
Německo	9	Velká Británie	2
Itálie	6	Alžírsko	1
ČR	4	Dánsko	1
Polsko	4	Finsko	1
Tchaj-wan	4	Indie	1
Jihoafrická Republika	3	Irsko	1
Srbsko	3	Jižní Korea	1
Brazílie	2	Maďarsko	1
Čína	2	Maroko	1
Francie	2	Nizozemsko	1

⁵¹ Pozn. Čínská lidová republika (tzn. pevninská Čína) a Čínská republika (tzn. Tchaj-wan) jsou v tabulce chápány jako dvě různé entity.

Země původu	Počet prací	Země původu	Počet prací
Chorvatsko	2	Norsko	1
Indonézie	2	Nový Zéland	1
Portugalsko	2	Pákistán	1
Rakousko	2	Rumunsko	1
Řecko	2	Saudská Arábie	1
Srí Lanka	2	Švédsko	1
Španělsko	2	Turecko	1
Ukrajina	2	USA	1

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 7 ukazuje, že jednoznačně nejvíce, přinejmenším v akademickém prostředí, je v současné době problematika vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0 diskutována v Evropě – ze 74 zkoumaných článků jich 42 pochází z pracovišť v zemích Evropské unie, dalších 8 pak z ostatních evropských zemí. Podíl evropských pracovišť na celkovém počtu článků tak dosahuje více než dvou třetin. Ze zemí je nejvíce zastoupeno Německo, což odpovídá skutečnosti, že právě zde na jedné straně samotný koncept Průmyslu 4.0 vznikl, na straně druhé je pak Německo rovněž významným centrem vývoje ERP systémů⁵². Poměrně velké množství publikací věnovaných zkoumané problematice pochází rovněž z Asie, a to jak z její vysoce industrializované východní části (z pracovišť z Tchaj-wanu, pevninské Číny a Jižní Korey pochází celkem 7 článků), tak z jejích ostatních, povětšinou méně rozvinutých oblastí (celkem 8 prací).

Publikace z evropských a asijských pracovišť tvoří dohromady více než 87 % dohledaných prací. Je tedy možné konstatovat, že akademická diskuse týkající se problematiky vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0 se koncentruje právě do těchto oblastí, zatímco v ostatních regionech je zjevně toto téma spíše na okraji zájmu.

Poslední využitou podrobnější klasifikací potom bylo rozčlenění dohledaných prací na základě konkrétních **technologií Průmyslu 4.0**, které v nich byly diskutovány. Účelem této podrobnější klasifikace bylo identifikovat, které moderní technologie jsou odborníky v akademické oblasti chápány ve vztahu k ERP systémům jako relevantní.

Identifikace technologií diskutovaných v jednotlivých článcích neprobíhala mechanicky, tzn. na základě pouhého výskytu názvu některé z technologií v textu

⁵² Právě zde ostatně sídlí výrobce jednoho z nejrozšířenějších ERP systémů světa, firma SAP.

práce, ale na základě podrobné obsahové analýzy článků, a to ze dvou hlavních důvodů.

Prvním důvodem je skutečnost, že text naprosté většiny zkoumaných prací obsahuje stručný výčet širokého spektra technologií, které jsou považovány za součást Průmyslu 4.0, a to buď ve svém úvodu, který zpravidla zahrnuje krátké představení termínu „Průmysl 4.0“, nebo v závěru, kde jsou zjištění dané práce diskutována v širším kontextu. Z tohoto důvodu by pouhá mechanická identifikace konkrétních technologií na základě výskytu názvu technologie v těle práce poskytovala zavádějící informace, neboť by docházelo k falešně pozitivní identifikaci výskytu určitých technologií i u prací, které se přitom danou problematikou vůbec nezabývají. V rámci této klasifikace byly proto brány do úvahy pouze ty výskyty moderních technologií, které jsou v daných pracích ve vztahu k ERP systémům skutečně podrobně rozebírány.

Druhým argumentem proti využití mechanického přístupu k identifikaci diskutovaných technologií byla potom terminologická nejednotnost jednotlivých článků, a rovněž terminologická nekonzistence zkoumaných článků s touto prací. Tato nejednotnost se projevovala především v oblasti internetu věcí a automatické identifikace a sběru dat, kdy v celkem 22 zkoumaných člancích byla diskutována problematika získávání dat z reálných procesů prostřednictvím skenování čárových nebo QR kódů, automatizovaného čtení RFID transpondérů nebo získávání dat ze senzorů umístěných na výrobních zařízeních. V některých případech bylo toto automatizované získávání dat označováno jako využití IoT, přestože celý koncept internetu věcí je, jak je vysvětleno v subkapitole 2.3.2, podstatně komplexnějším fenoménem. V jiných případech pak tato řešení nebyla uváděna pod žádným souhrnným názvem, přestože dle terminologie definované v subkapitole 2.3.3 se jedná o technologii AIDC. V rámci této klasifikace bylo proto těchto 22 případů označeno jako výskyty technologie AIDC. Naopak jako výskyty technologie IoT byly označeny pouze ty případy, které pracovaly s obousměrnou komunikací s jednotlivými zařízeními, vzájemnou komunikaci M2M apod. Je nicméně třeba zdůraznit, že i v těchto případech byla v člancích jednoznačně zdůrazňována především role ERP systému v podobě příjemce dat získávaných z jednotlivých chytrých zařízení prostřednictvím různých mezivrstev. Naopak koncepty, ve kterých by ERP systém měl sám chytrá zařízení organizovat a řídit, se ve zkoumaných pracích prakticky nevyskytly.

Četnost výskytu jednotlivých moderních technologií je zaznamenána v Tabulce 8.⁵³

Tabulka 8: Četnost výskytu jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 v pracích zkoumaných v rámci systematické rešerše.

Technologie Průmyslu 4.0	Četnost výskytu ve zkoumaných pracích
Systémová integrace vnitropodniková (vertikální)	47
AIDC (včetně řešení označovaných jako IoT, ve kterých se jednalo o pouze o jednosměrné získávání dat ze senzorů a výrobních zařízení)	29
Cloudové technologie	21
Systémová integrace mezipodniková (horizontální)	20
Big data a pokročilá analýza dat	19
IoT	19
Umělá inteligence a strojové učení	8
Simulace a problematika digitálního dvojčete	8
Kyber-fyzické systémy	6
Systémová integrace všech inženýrských procesů (end-to-end)	4
Blockchainové databáze	3
Virtuální a rozšířená realita	3
Kyberbezpečnost	3
Využívání mobilních a smart zařízení	2
Aditivní výroba	2
Drony	1

Zdroj: vlastní zpracování

Data v Tabulce 8 ukazují, že v akademické literatuře, která se zabývá problematikou ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0, je jednoznačně nejčastěji diskutována technologie systémové integrace pro potřebu vertikálního propojení firemních procesů, která byla rozebírána ve 47 člancích ze 74 zkoumaných, tzn. v cca dvou třetinách všech prací. Problematika automatické identifikace fyzických objektů a sběru dat o nich tvořila významnou část obsahu ve více než třetině prací, následovaná cloudovými řešeními, mezipodnikovou systémovou integrací, velkými daty ve spojení s pokročilou

⁵³ Skutečnost, že součet četností jednotlivých technologií v Tabulce 8 převyšuje celkový počet zkoumaných článků, je dána tím, že v některých pracích hrálo významnou roli více technologií.

datovou analýzou a technologií IoT. Zbývající technologie se pak mezi zkoumanými články vyskytovaly pouze v jednotkách procent případů.

3.1.14 Shrnutí stávajícího stavu poznání v oblasti vztahu Průmyslu 4.0 a ERP systémů

Na základě realizované systematické rešerše literatury je možné konstatovat, že počet prací, které se problematikou vztahu ERP systémů a Průmyslu 4.0 věnují, je sice v porovnání s celkovým objemem studií zabývajících se Průmyslem 4.0, který ilustruje např. v subkapitole 2.2.2 uvedený Graf 1, marginální, přesto je mu však v posledních letech věnována určitá stabilní míra pozornosti.

Autoři, kteří se touto problematikou zabývají, zdůrazňují především význam ERP systému jako centrálního informačního uzlu, do kterého by v prostředí Průmyslu 4.0 měla plynout detailní data z fyzických podnikových procesů, ať už prostřednictvím vertikální systémové integrace s informačními systémy nižších úrovní určenými k řízení těchto procesů, horizontální systémové integrace se systémy partnerů v dodavatelsko-odběratelském řetězci, nebo přímo prostřednictvím technologie AIDC. Tato data by poté měla být v prostředí ERP systémů vyhodnocována prostřednictvím pokročilých analytických nástrojů pro práci s velkými daty, a následně použita formou zpětné vazby pro potřeby řízení.

Poměrně velká pozornost je věnována rovněž využití cloudu, a to i v souvislosti s výše uvedeným konceptem ERP systému jako centrální databáze komunikující s dalšími systémy a objekty, kdy jsou v některých dohledaných pracích zdůrazňovány výhody využívání cloudového ERP právě pro potřeby mezipodnikové systémové integrace a integrace se zařízeními v rámci IoT.

Někteří autoři přitom zdůrazňují fakt, že pro takto navrženou informační infrastrukturu podniku již není vhodná tradiční pyramida automatizace, ale je třeba ji nahradit novou, flexibilnější a méně hierarchizovanou architekturou. Samotná role ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 však většinou není zpochybňována – pouze ve 3 studiích z 74 vyslovují autoři domněnku o vhodnosti jejich náhrady novou kategorií informačních systémů, v dalších 6 pak navrhují doplnění informační infrastruktury o další prvek, který by převzal část jejich funkcionality.

Pokud se týká otázky připravenosti současných ERP systémů na Průmysl 4.0, té bylo věnováno pouze 10 z celkem 74 zkoumaných prací, z nichž pouze Cocca et al. (2018) přináší podrobný soupis požadavků kladených na ERP systémy prostředím Průmyslu 4.0, a Basl & Nováková (2019) představují jednoduchý model zralosti s definovanými kritérii pro posouzení připravenosti ERP systému na Průmysl 4.0. V ostatních případech jsou potřebné schopnosti ERP systému v prostředí 4.0 reprezentovány pouze stručným výčtem technologií, s nimiž by měl být schopen interagovat, aniž by byla jakkoliv specifikována míra této interakce nebo kritéria pro její hodnocení.

3.2 Vymezení technologií Průmyslu 4.0 relevantní pro oblast ERP systémů

Informace získané z realizované systematické rešerše, společně s popisem stávajícího stavu problematiky ERP systémů a Průmyslu 4.0 zaznamenaným v subkapitolách 2.1 a 2.3., byly následně využity jako vstupy pro analýzu, jejímž cílem bylo zjistit, které technologie Průmyslu 4.0 jsou relevantní pro oblast ERP systémů, a tím zodpovědět **SVO 1.a**.

Jako základní soubor možných technologií vstupující do analýzy bylo zvoleno v předchozím textu diskutovaných 9 pilířů Průmyslu 4.0, doplněných o technologii automatické identifikace a sběru dat. Jak vyplývá z výsledků realizované rešerše, v odborné literatuře, zabývající se problematikou ERP systémů v Průmyslu 4.0 jsou v této souvislosti nejčastěji rozebírány technologie systémové integrace, automatické identifikace a sběru dat, cloudu, velkých dat a konečně internetu věcí, přičemž však poslední jmenovaná technologie se ERP systémů dotýká spíše okrajově.

To odpovídá skutečnosti, že ERP systémy jsou centrálním prvkem informační infrastruktury podniku (Yang et al., 2007; Verville et al., 2007; Cebeci, 2009), ve kterém se koncentrují souhrnná data o veškerých podnikových procesech. Tato data jsou následně v rámci ERP systémů reportována a vyhodnocována a slouží jako podklad pro další řízení podniku.

Ne všechna tato data jsou ale v rámci ERP systému i přímo pořizována, neboť i přes snahu řady jejich dodavatelů ERP systém zpravidla nenahradí veškeré dosavadní informační systémy v podniku, ale nadále koexistuje s řadou dalších, úžeji orientovaných aplikací (Themistocleous & Irani, 2001; Azevedo et al., 2014; Kähkönen

et al.; 2014). V ERP systémech jsou tak obvykle řízeny jednak administrativní procesy, jako např. fakturace nebo účtování, jednak průřezové procesy využívající data z celé firmy, jako je centrální plánování nákupu a výroby. Samotné operativní řízení fyzických procesů, jakými jsou výroba nebo logistika, je však spíše doménou specializovaných, úzce zaměřených systémů typu MES, WMS apod. ERP systémy jsou totiž oproti těmto jednoúčelovým softwarům limitovány jednak omezenou funkcionalitou v dané oblasti, jednak svou technickou podstatou založenou na transakcích, která jejich využití v některých scénářích zcela vylučuje (Oman et al., 2017, Wozniakovski et al., 2018).⁵⁴

Právě technologie Big data, systémové integrace, cloudu a automatické identifikace a sběr dat, které primárně souvisí s řízením administrativních procesů a/nebo s vyhodnocováním centralizovaných dat, je proto v rámci zodpovězení SVO 1.a možné označit za technologie Průmyslu 4.0 relevantní pro ERP systémy.

Co se týká technologie Big data, pro její využití musí být organizace jednak schopna sbírat velké objemy primárních dat, jednak musí být schopna tato data uchovávat a vyhodnocovat. Již pro samotný sběr dat o některých procesech je přitom nutná součinnost ERP systému – zatímco data popisující fyzické procesy jsou sbírána primárně prostřednictvím senzorů a čidel, průběh administrativních procesů je zpravidla monitorován formou záznamů v ERP systému, jehož prostřednictvím jsou tyto procesy řízeny a koordinovány. Pro zajištění vhodného uchování a analýzy získaných velkých dat potom musí ERP systém obsahovat vhodně navržené, dostatečně robustní datové struktury, a dále musí buď sám disponovat výkonnými nástroji na jejich vyhodnocování, nebo alespoň být schopen se specializovanými analytickými nástroji spolupracovat. Je tedy zřejmé, že technologie Big data má přímou souvislost s ERP systémy.

Systémová integrace spočívá ve vzájemném propojení informačních systémů a výměně dat mezi nimi buď v rámci firmy (někdy označováno jako tzv. vertikální integrace) nebo i napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem (tzv. horizontální integrace). Jakkoliv se jednotlivá integrační řešení v praxi významně liší jak technickým

⁵⁴ Typicky se jedná o situace, kdy má systém pro řízení výroby online komunikovat s výrobními stroji a zařízeními a komunikační protokol vyžaduje rychlost zpětné vazby v řádu milisekund. Taková reakční doba však nemusí být v případě ERP systémů, obsahujících rozsáhlé, vzájemně silně provázané databáze s velkou mírou business logiky, technicky vůbec dosažitelná

řešením, tak funkcionalitou, ERP systémy v nich zpravidla vystupují jako jeden ze základních prvků. V případě vnitropodnikové integrace je obvyklým scénářem propojení dílčích, specificky zaměřených subsystémů (např. v podobě MES, WMS nebo PLM systémů) na centrální prvek podnikové informační infrastruktury představovaný ERP systémem, horizontální propojení napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem se potom logicky týká především vzájemných obchodních vztahů mezi firmami, které jsou z datového hlediska reprezentovány oběhem objednávek a faktur, přičemž tyto entity jsou standardně evidovány a zpracovávány právě v rámci ERP systémů.

Co se týče technologie cloudu, ta umožňuje přesun datových úložišť (případně i dalších prvků informační infrastruktury podniku, např. v podobě aplikačních serverů) do sdíleného prostředí provozovaného poskytovatelem a dostupného prostřednictvím internetu. Je proto úzce spojena právě s problematikou podnikových informačních systémů, které v případě převodu do cloudu již nejsou provozovány ve vnitřním prostředí firmy, ale jejich dostupnost je firmě poskytována formou služby. Právě ERP systémy jsou přitom tou částí informační infrastruktury, která je pro přenos do cloudu vhodným kandidátem – jednak ERP systém jakožto centrální uzel informační soustavy obsahuje velké množství dat, pro jejichž efektivní zpracování nemusí být lokální prostředky dostačující, jednak se na rozdíl od provozních systémů typu MES nebo WMS zpravidla nejedná o business critical aplikaci, jejíž dočasný výpadek by zcela zastavil provoz v podniku. Krátkodobou nedostupnost cloudových služeb vyvolanou např. fyzickým přerušením datového vedení je tak možné chápat jako akceptovatelné riziko, které postihne pouze administrativní procesy, nenese s sebou ale náklady např. v podobě úplného zastavení výroby, znehodnocení zásob apod.

Technologie automatické identifikace a sběru dat je potom sice zdánlivě spojena především s fyzickými zařízeními v podobě senzorů nebo čidel, tato zařízení jsou však v jejím případě pouze prostředkem k automatizovanému získávání dat (ať už se jedná o účetní či obchodní data v případě strojového vytěžování dokumentů nebo o data o fyzických pohybech zboží, materiálu a výrobků získávaná prostřednictvím načítání čárových kódů nebo RFID transpondérů). Tato data jsou následně opět zpracovávána, ukládána a analyzována v centrálních informačních systémech, typicky v ERP. I v jejím případě proto existuje úzká souvislost s problematikou ERP.

Co se týče ostatních technologií čtvrté průmyslové revoluce, ty jsou primárně spojeny buď s fyzickými procesy (v případě autonomních robotů a aditivní výroby), nebo s jejich softwarovým řízením (v případě simulací a kyber-fyzických systémů) a získáváním dat pro toto řízení (v případě internetu věcí). Nesouvisí ale primárně s ERP systémy.

Specifickou otázkou je potom pilíř kybernetické bezpečnosti. Nutnost tzv. datové bezpečnosti, tzn. zabezpečení dat v ERP systémech před neoprávněným přístupem a modifikací, je samozřejmě zdůrazňována dlouhodobě (srovnej de Riet et al., 1998 nebo Hrishev, 2020), přičemž tato potřeba se postupně stala ještě aktuálnější jednak se vznikem ERP II systémů vystavených mimo interní síť firmy (She & Thuraisingham, 2007), jednak v reakci na propuknutí různých finančních skandálů, jejichž součástí bylo reportování falešných výkazů (Chang et al., 2014). Zabezpečení na úrovni ERP systému jako takového, spočívající například v použití vhodného modelu uživatelských účtů, rolí a jejich práv, využívání vhodného databázového stroje a bezpečného způsobu komunikace s ním, případně bezpečného způsobu vzájemné komunikace jednotlivých komponent ERP systému, je nicméně pouze malou součástí celkové kybernetické bezpečnosti podniku. Samotná vhodně zvolená bezpečnostní architektura ERP systému proto nestačí, ale musí být podpořena rovněž zabezpečením síťové komunikace, serverů, na kterých jsou komponenty systému hostovány, a konečně i uživatelských stanic (srovnej Trunina et al., 2018, Hrishev, 2020). V případě Průmyslu 4.0 a otevřených kyber-fyzických systémů pak k těmto bezpečnostním otázkám přibývá navíc nutnost zabezpečení všech prvků internetu věcí, které do systému vstupují, a jejich vzájemné komunikace. Podstatná část zařízení IoT účastnících se daného kyber-fyzického systému se přitom může nacházet zcela mimo kontrolu podniku (např. v případě využití systémové integrace), a komunikace nemusí probíhat prostřednictvím standardních datových sítí, ale s využitím specifických sítí internetu věcí.⁵⁵

Autor této práce se proto domnívá, že datovou bezpečnost ERP systémů, tak jak je tradičně chápána a vyhodnocována, není možné ztotožňovat s kybernetickou bezpečností kyber-fyzických systémů, která je jedním z 9 pilířů Průmyslu 4.0. V navrženém výzkumu proto bezpečnost ERP systému bude chápána jako jedna

⁵⁵ Jedná se např. o síť Lora nebo Sigfox.

z tradičních vlastností ERP systémů, nikoliv jako vlastnost nová, související se vznikem Průmyslu 4.0.

3.3 Vlastnosti ERP systémů nutné pro součinnost s relevantními technologiemi

Po vymezení technologií Průmyslu 4.0 relevantních pro ERP systémy bylo možné, opět především na základě analýzy a syntézy informací ze subkapitol 2.1, 2.3 a 3.1, identifikovat funkční a technické vlastnosti, kterými by ERP systémy měly disponovat, aby byly s těmito technologiemi schopny úspěšně interagovat, a zodpovědět tak **SVO 1.b.**

Co se týče technologie **Big data**, prvotním požadavkem, který musí ERP systém splnit, je samozřejmě schopnost velké objemy dat vůbec uchovávat. Vzhledem k tomu, že ERP systémy, které se v současné době na trhu vyskytují, v naprosté většině případů jako svůj systém řízení báze dat využívají některý ze standardních databázových strojů (např. MSSQL Server nebo Oracle), které s ukládáním velkých dat počítají⁵⁶, však samotné uchování dat zpravidla problém nepředstavuje.

Problematickým místem je však jejich analýza, která při diskutovaných objemech dat již naráží na limity dané koncepcí transakčně orientovaných relačních databází (označovaných též jako OLTP z anglického *Online Transactional Processing*), které tvoří základ ERP systémů. Pro analýzu velkých dat je proto nutné nejprve provést jejich transformaci do struktury vhodné pro analytické zpracování, označované jako OLAP (z anglického *Online Analytical Processing*)⁵⁷.

Je proto možné konstatovat, že aby byl ERP systém schopen využívat technologii Big data, musí disponovat specializovaným řešením pro business intelligence, které takovou transformaci zajistí, a umožní nad transformovanými daty provádět analýzy. Může se přitom jednat jak o integrální součást systému (např.

⁵⁶ Např. maximální velikost databáze v MSSQL Serveru teoreticky činí 524 272 TB (Microsoft, 2023). Omezení maximální velikosti databázových souborů, které je dáno použitým souborovým systémem, je pak možné řešit pomocí technologie tzv. partitioningu, spočívající v rozdělení logických databázových objektů do několika fyzických souborů. Tato technologie je v současné době podporována všemi relevantními databázovými řešeními.

⁵⁷ Detailnější popis OLTP a OLAP principů, jejich srovnání a využití viz Sinha (2021) Pro přenos dat z transakčně orientované databáze do OLAP se používá označení „ETL transformace“, z anglického *Extract, Transform, Load*. Jeho podstatou je výběr specifikovaných dat, jejich transformace do struktury vhodné pro analýzu, a následné nahrání do datového skladu, ze kterého následně čerpá OLAP (více viz IBM (n.d.b)).

v podobě specializovaného modulu), **tak o samostatně stojící řešení, do kterého jsou data z ERP systému přenášena datovou pumpou.** V takovém případě bude nicméně daný ERP systém hodnocen jako připravený na práci s velkými daty pouze tehdy, jestliže má jím nabízení propojení se samostatně stojícím řešením pro BI standardizovanou podobu, a je tedy nasaditelné bez dalších vývojových nákladů na straně zákazníka.

Podstatou technologie **systemové integrace** je zajištění vzájemné komunikace a výměny dat mezi jednotlivými informačními systémy, případně i mezi informačními systémy a chytrými zařízeními a produkty v rámci internetu věcí. Základní vlastností, kterou musí ERP systém disponovat, aby byl na tuto technologii připraven, je proto existence standardizovaného rozhraní pro systémovou komunikaci s prostředím vně systému.

Z technického hlediska je možné takovou komunikaci zajistit řadou způsobů. Historicky byla pro tyto účely využívána např. automatizovaná výměna textových souborů v proprietárním i standardizovaném formátu⁵⁸ přes definovaná úložiště, výměna dat prostřednictvím integrační databáze apod. V současné době je však v praxi jednoznačně preferována technologie tzv. aplikačního programového rozhraní, obvykle zkracovaného jako API (z anglického *Application Programmable Interface*). Jedná se o komunikační vrstvu nad vlastním informačním systémem, která umožňuje reprezentantům vnějšího světa (např. jiným informačním systémům, webovým stránkám apod.) využívat jeho funkcionality (např. získávat z něj data, tvořit v něm nové záznamy apod.), aniž by museli znát jeho vnitřní logiku a přizpůsobovat se jí. Systém sám potom pro vnější svět funguje jako černá skříňka, která pouze vrací výsledky dle požadavků zaslaných prostřednictvím API⁵⁹.

Rychlý růst, který využívání API zejména v 10. letech tohoto století v oblasti systémové integrace zaznamenalo, dokládá průzkum Cloud Elements z roku 2017, podle kterého se mezi lety 2010 - 2016 míra využívání API zvýšila o 758 %, přičemž nejčastější je využití API založeného na principech *Representational State Transfer*, zkráceně označovaných jako REST API (Motroc, 2017). Technologie REST API byla záhy

⁵⁸ Právě výměna textových souborů v předem definované, obvykle standardizované struktuře, je základem tzv. EDI (z anglického *Elektronic Data Exchange*), které se dodnes intenzivně pro potřeby mezipodnikové systémové integrace používá například v oblasti automobilového průmyslu. Více viz poznámka pod čarou 9 v subkapitole 2.1.4.

⁵⁹ Více o problematice API viz IBM (n.d.c).

implementována i velkými technologickými společnostmi⁶⁰ a v současné době je tak někdy označována jako “páteř internetu” (Gillis, n.d.). Zároveň je v současné době využívána i jako komunikační nástroj platform, které zajišťují komunikaci informačních systémů s objekty IoT, jako je cloudová platforma od společnosti Oracle nebo Microsoft.

Vzhledem k současnému významu REST API nejen pro komunikaci s ostatními informačními systémy, ale i v rámci internetu věcí, je proto možné konstatovat, že **na interakci s technologií systémové integrace je připraven pouze takový systém, který disponuje připravenou a standardizovanou REST API vrstvou, která je využitelná pro plnohodnotnou manipulaci (tzn. umožňující získávání dat o záznamech, tvorbu nových, úpravu stávajících i mazání záznamů) základních entit v rámci ERP systému.**

V případě **cloudových technologií** je třeba na úvod konstatovat, že z technického hlediska je v cloudu provozovatelný každý systém, který je možné provozovat na lokálním serveru. Cloud poskytovaný formou IaaS nebo PaaS funguje totiž z funkčního hlediska stejně, jako standardní virtuální server, liší se pouze technické pozadí poskytované infrastruktury nebo platformy. Stejně tak je již z webových stránek dodavatelů ERP systémů zřejmé, že v současné době je schopen provoz svého systému v cloudu nějakou formou nabídnout prakticky každý relevantní dodavatel.

Jednotlivé ERP systémy se nicméně přirozeně mohou lišit stupněm připravenosti pro cloudový provoz, která se odvíjí od jejich architektury. Systémy založené na dvouvrstvé architektuře s desktopovými klienty je sice možné technicky v cloudu provozovat, umístění business logiky v klientu s sebou však v tomto případě přináší řadu problémů, kdy je nutné buď klienty umístit rovněž na cloudovém aplikačním serveru, kam se uživatelé připojují formou vzdálené plochy (což s sebou nese jednak problémy z hlediska uživatelského komfortu, jednak, v případě využití serverového operačního systému Windows Server, nutnost pořízení příslušných licencí terminálových služeb), nebo musí být klienti umístěni na pracovních stanicích daných uživatelů. To s sebou však v případě dvouvrstvého systému nese nutnost jejich administrace, kdy je třeba tyto klienty aktualizovat při každé změně business logiky systému. V případě, že takový klient nebyl od počátku navržen pro provoz v rámci

⁶⁰ Pro integraci svých služeb ji nabízí např. Google nebo Amazon.

internetu, pak může docházet i k problémům s velkými objemy přenášených dat. Rovněž je třeba zdůraznit, že v případě umístění klientů s aplikační logikou na pracovních stanicích nejsou plně využívány schopnosti cloud computingu, protože výkonnost aplikační logiky v tomto případě závisí na hardwarových prostředcích pracovní stanice.

Za ERP systémy dostatečně připravené pro interakci s technologií cloudu je proto dle autora této práce možné označit pouze ty ERP systémy, které disponují alespoň třívrstvou architekturou, případně architekturou zaměřenou na služby, a které disponují buď tzv. “tenkým” (tzn. bez business logiky), nebo plnohodnotným webovým klientem. Pouze v takovém případě je možné využít všech výhod cloudové technologie, kdy jsou všechny výkonné části provozovány v centrálně spravovatelném cloudu, a jednotlivé pracovní stanice zajišťují pouze samotnou interakci s uživatelem a prezentaci dat.

Jak bylo uvedeno v podkapitole 2.3.3, do problematiky **Automatické identifikace a sběru dat** spadá široké spektrum konkrétních technologických řešení a jejich užití, od optického čtení čárových nebo QR kódů až po automatickou analýzu dat z kamerových záznamů prostřednictvím umělé inteligence⁶¹ nebo analýzu zvuku⁶². Ne všechna užití této technologie však souvisí s ERP systémy jakožto centrálními informačními uzly podniků - provedená systematická rešerše literatury ukázala, že v kontextu ERP systémů je technologie AIDC dávána především do souvislosti se získáváním dat o fyzických výrobních a logistických procesech, a to primárně prostřednictvím čtení čárových a QR kódů, RFID transpondérů a dat z výrobních strojů a zařízení, přičemž v těchto případech ERP systém obvykle nezajišťuje samotné čtení, ale pouze poskytuje datové struktury, kde je evidováno přiřazení jednotlivých strojově čitelných identifikátorů fyzickým objektům a jejich následné pohyby.

Dalším využitím AIDC, které je v praxi současných informačních systémů používáno, je potom technologie OCR sloužící pro automatizované vytěžování dat z dokumentů, která v případě ERP systémů logicky slouží především k vytěžování dokladů relevantních pro centrální databázi podniku, jako jsou faktury, objednávky apod. Stejně

⁶¹ Tato řešení se používají např. pro zjišťování počtu osob v určité oblasti, nebo i pro identifikaci jejich nestandardního chování.

⁶² Existují např. řešení, která průběžně analyzují zvuky vydávané určitým výrobním zařízením. V případě, že dojde k náhlé odchylce nebo změně zvuku (a to i na úrovni lidskými smysly nepozorovatelné), je tato skutečnost okamžitě identifikována a reportována obsluze

jako v případě výše zmíněného získávání dat z fyzických procesů přitom ani v tomto případě není nezbytné, aby kompletní OCR realizoval samotný ERP systém, vlastní vytěžování dokumentů může být zajišťováno specializovaným jednoúčelovým nástrojem. Je však nezbytné, aby byl ERP systém schopen přijímat data z takového nástroje a dále je zpracovávat v rámci své databáze.

Je tedy možné konstatovat, že v oblasti AIDC je pro efektivní fungování ERP systému v prostředí Průmyslu 4.0 nezbytné, aby byl jednak schopen přijímat, ukládat a dále zpracovávat data o fyzických výrobních a logistických procesech získávaná prostřednictvím načítání čárových / QR kódů, RFID transpondérů, případně z různých druhů senzorů, jednak schopen komunikace a získávání dat z vytěžovacích OCR nástrojů.

4 Požadavky relevantních uživatelů na ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0

Tato kapitola popisuje výzkum, který se zabýval požadavky relevantních uživatelů ERP systémů (tzn. uživatelů, kteří mají reálný vliv na rozhodování v situaci, kdy podnik vybírá nový ERP software) na tyto systémy. Realizovaný výzkum se skládal ze dvou částí. První částí byla rešerše stávající odborné literatury, jejímž cílem bylo zjistit, jaká kritéria byla při výběru ERP systému historicky brána do úvahy a jaký byl jejich relativní význam. Cílem této části výzkumu bylo získat odpověď na **SVO 2.a**. Druhá část výzkumu poté spočívala v dotazníkovém šetření realizovaném mezi relevantními uživateli ERP systémů, které mělo za cíl přinést informace nutné k zodpovězení **SVO 1.c, SVO 1.d, SVO 2.b, SVO 2.c a SVO 2.d**.

4.1 Dosud využívaná kritéria pro výběr ERP systému

Cílem této subkapitoly je specifikovat, jaká kritéria jsou v současné době podniky využívána v rámci procesu výběru nového ERP systému, a tím zodpovědět **SVO 2.a**. Na úvod je třeba konstatovat, že výběr ERP systému je v praxi individuální proces, jehož průběh se může u jednotlivých podniků značně lišit, a to jak z důvodů objektivních, daných např. rozdílnými obory činnosti, velikostí nebo stávající provozní praxí v různých podnicích, tak z důvodů subjektivních, daných znalostmi, názory a postoji zaměstnanců podniku, kteří na výběru participují.

Stejně tak se přirozeně liší i kritéria, podle kterých je systém v konkrétním případě vybírán, přičemž je třeba zdůraznit, že ani mezi specialisty poskytujícími konzultační služby v této oblasti dosud nepanuje metodická shoda na vymezení určitých základních kritérií, ze kterých by bylo možné obecně vycházet, a pouze je přizpůsobovat specifikům daného případu⁶³.

Existují nicméně akademické výzkumy, které se pokusily identifikovat kritéria, respektive jejich skupiny, které obecně hrají při rozhodování podniků o výběru nového

⁶³ Viz např. popularizační, prakticky zaměřené texty Terrilium (n.d.), Miller (2023) nebo Luther (2022), které se snaží identifikovat 10 stěžejních kritérií pro výběr systému, přičemž se však jednotlivé seznamy vzájemně odlišují.

ERP systému stěžejní roli. Wei et al. (2005) k tomuto účelu využili analytický hierarchický proces (AHP), kdy v rámci případové studie vytvořili model obsahující 9 atributů rozdělených do dvou skupin (atributy systému a atributy dodavatele), kterým byly následně přiřazeny váhy na základě názorů tří pracovníků zodpovědných za výběr ERP systému. V rámci této případové studie byla jako nejdůležitější kritérium z atributů systému vyhodnocena nabízená funkcionalita, následovaná flexibilitou, v případě atributů dodavatele byla jako nejvýznamnější hodnocena úroveň jeho technických kompetencí.

Z AHP procesu vyšli ve svém výzkumu rovněž Karsak & Özogul (2009), kteří vypracovali metodu výběru systému založenou na celkem 6 kritériích. V rámci případové studie výběru ERP systému v turecké výrobní firmě bylo jako nejvýznamnější vyhodnoceno kritérium představující schopnost systému nabídnout požadované funkce, následované kvalitou služeb poskytovaných dodavatelem.

AHP přístup pro stanovení relativního významu jednotlivých kritérií využili rovněž Kilic et al. (2014), kteří ve své práci definovali celkem 12 kritérií pro výběr systému rozdělených do 3 skupin (technická kritéria, kritéria spojená s dodavatelem, finanční kritéria). V rámci případové studie výběru nového ERP systému ve společnosti Turkish Airlines byla hodnotiteli největší váha přidělena technickým kritériím, která reprezentovala jednak uživatelskou přívětivost a customizovatelnost systému, jednak úroveň jeho zabezpečení. Stejný přístup potom využil také Efe (2016), lišil se pouze výchozí soubor kritérií, kdy Efe (2016) hodnotil celkem 15 kritérií rozdělených do 4 skupin, přičemž oproti předchozí zmiňované studii přibyla skupina reprezentující jednoduchost využívání systému. V této studii vyšla jako nejdůležitější kritéria spojená s cenou.

Bhatt et al. (2021) nejprve stanovili základní soubor 16 hodnotících kritérií na základě rešerše existující literatury na dané téma, které následně podrobili faktorové analýze. Výsledkem faktorové analýzy bylo identifikování 4 konstruktů (kvalita dodavatele, naplnění potřeb společnosti, uživatelská přívětivost a zabezpečení, cena) a 10 konkrétních kritérií. Pro stanovení jejich vah byl následně využit fuzzy AHP přístup. V rámci této studie byla jako nejvýznamnější identifikována kritéria související s cenou systému.

AHP přístup byl využit rovněž ve studii Lacurezeanu et al. (2021), která se zabývala specifickým případem výběru udržitelného ERP systému (S-ERP). V tomto případě autoři stanovili soubor celkem 11 výběrových kritérií, kde byla kromě tradičních kritérií převzatých z jiných studií, jako je cena nebo nabízené funkcionality, zahrnuta rovněž kritéria spojená s udržitelností. Jako nejvýznamnější kritérium byla v rámci studie nicméně identifikována kvalita dokumentace následovaná úrovní podpory ze strany dodavatele systému a cenou, zatímco význam kritérií spojených s udržitelností se ukázal jako relativně nízký.

Vedle využívání AHP je časté rovněž využívání analytického síťového procesu (ANP z anglického *Analytic Network Process*). Gürbüz et al. (2012) ve svém výzkumu pracují se sadou 16 výběrových kritérií rozdělených do 3 skupin – kritéria spojená s dodavatelem systému, kritéria spojená s přizpůsobením systému konkrétnímu zákazníkovi a kritéria spojená se samotným kandidátním softwarem. Relativní význam těchto kritérií následně určili prostřednictvím ANP, přičemž jako nejvýznamnější v jejich studii vycházela kritéria spojená s dodavatelem. Analytický síťový proces pro stanovení vah jednotlivých kritérií využili rovněž Kilic et al. (2015), kteří stanovili 11 kritérií rozdělených do 3 základních skupin – kritéria spojená s aktuální tržní pozicí jednotlivých kandidátních systémů, kritéria spojená s náklady a technická kritéria. Na základě názorů dotázaných expertů byla jako jednoznačně nejvýznamnější vyhodnocena skupina kritérií spojených s náklady.

López & Ishizaka (2017) navrhli pro výběr ERP systému dvě sady kritérií, vyhodnocovaných postupně v rámci dvoukolového výběru. První sada obsahovala 6 kritérií vztahujících se čistě k dodavateli systému, a měla sloužit v rámci prvního kola výběru k identifikaci a vyřazení nevhodných dodavatelů. Pro posouzení systémů nabízených vyhovujícími dodavateli byla poté navržena sada 22 kritérií rozdělených do 4 skupin (kritéria spojená se systémem, kritéria spojená s implementací systému, nákladová kritéria a kritéria spojená s časovou náročností implementace), přičemž pro posouzení jejich relativního významu byl využit ANP. Jako nejdůležitější byla vyhodnocena skupina kritérií spojených se systémem, přičemž jednoznačně největší význam byl přikládán kritériu bezpečnosti systému.

Odišnou metodu stanovení vah kritérií využili Asl et al. (2012), kteří se nejprve pokusili stanovit relevantní kritéria pro výběr ERP systému pomocí metody Delphi, v jejímž

rámci bylo experty identifikováno celkem 14 kritérií rozdělených do 4 skupin – cena, kvalita systému (ve smyslu uživatelské přívětivosti a nabízených funkcionalit), kvalita dodavatele a schopnosti dalšího rozvoje systému. Pro porovnání významu jednotlivých kritérií a skupin byla následně použita shannonovská entropie, přičemž jako nejvýznamnější se jevila kritéria spadající do skupiny kvality systému, následovaná skupinou kvality dodavatele.

Celkový přehled kritérií využívaný v jednotlivých výzkumech je znázorněn v Tabulce 9. **Pozn.** názvy jednotlivých kritérií v Tabulce 9 nejsou ve všech případech doslovným překladem názvů použitých v citovaných člancích, ale došlo k jejich normalizaci tak, aby kritéria se shodně definovaným obsahem byla i v Tabulce 9 nazývána shodně.

Tabulka 9: Kritéria pro výběr ERP systémů používaná v dosavadních studiích

Studie	Skupiny kritérií	Kritéria v rámci skupiny
Wei et al. (2005)	Kritéria spojená se systémem	Celkové náklady Časová náročnost implementace Nabízené funkcionality systému Uživatelská přívětivost Flexibilita systému Spolehlivost systému
	Kritéria spojená s dodavatelem	Reputace dodavatele Technická způsobilost dodavatele Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory)
Karsak & Özegul (2009)	<i>Nebylo využito rozdělení kritérií do skupin</i>	Celkové náklady Nabízené funkcionality systému a jejich přizpůsobení potřebám podniku Uživatelská přívětivost Flexibilita systému Reputace dodavatele Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory)
Asl et al. (2012)	Kritéria spojená s náklady	Náklady na pořízení systému Náklady na požadovanou infrastrukturu Náklady na implementaci
	Kritéria spojená s kvalitou systému	Nabízené funkcionality systému Uživatelská přívětivost Spolehlivost systému - minimalizace chybivosti
	Kritéria spojená s dodavatelem	Reputace dodavatele Technická a finanční způsobilost dodavatele Zkušenosti a znalosti implementačního týmu Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory)
	Kritéria spojená se schopnostmi systému	Míra přizpůsobitelnosti systému potřebám podniku Další zlepšování a vývoj systému Schopnost systému učit a přizpůsobovat se
Gürbuz et al. (2012)	Kritéria spojená s dodavatelem	Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory) Vize dodavatele Pozice dodavatele na trhu Zkušenosti dodavatele s daným odvětvím Reputace dodavatele
	Kritéria spojená s přizpůsobením zákazníkovi	Metodologie implementace systému Jednoduchost customizace systému Míra přizpůsobitelnosti potřebám podniku Míra propojitelnosti se systémy mateřské společnosti zákazníka nebo jeho partnerů
	Kritéria spojená se systémem	Modularita systému a míra integrace jednotlivých modulů systému Nabízené funkcionality systému Technické aspekty Celkové náklady Spolehlivost systému Kompatibilita systému s různými operačními systémy a standardními technologiemi, portovatelnost Časová náročnost implementace

Studie	Skupiny kritérií	Kritéria v rámci skupiny
Kilic et al. (2014)	Technická kritéria	Nabízené funkcionality systému Kompatibilita systému s různými operačními systémy a standardními technologiemi, portovatelnost Uživatelská přívětivost Přístupnost systému (jednoduchý a rychlý přístup externích i interních uživatelů do systému) Zabezpečení systému
	Kritéria spojená s dodavatelem	Reference dodavatele Odpovídající vývojový a implementační tým (personální kapacita) Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory) Otevřenost dodavatele, sdílení know-how
	Finanční kritéria	Náklady na pořízení systému Náklady na implementaci a školení Náklady na údržbu
Kilic et al. (2015)	kritéria spojená s tržní pozicí kandidátních systémů	Vize dodavatele Image značky systému/dodavatele Reference dodavatele Pozice systému/dodavatele na trhu
	Kritéria spojená s náklady	Náklady na pořízení systému Náklady na implementaci Náklady na údržbu
	Technická kritéria	Nabízené funkcionality systému Kompatibilita systému s různými operačními systémy a standardními technologiemi Spolehlivost systému Modularita systému a míra integrace jednotlivých modulů systému
Efe (2016)	Kritéria spojená s náklady	Náklady na pořízení systému Náklady na aktualizace systému
	Kritéria spojená s dodavatelem	Úroveň poskytovaných konzultačních a školicích služeb Reputace dodavatele Reference dodavatele
	Technická kritéria	Úroveň interface systému Nabízené funkcionality systému Modularita systému a míra integrace jednotlivých modulů systému Spolehlivost systému Schopnost systému exportovat a ukládat veškerá data
	Kritéria spojená s užíváním systému	Ergonomičnost systému Rychlost systému Přizpůsobitelnost systému uživateli Rychlost učení se uživateli se systémem Schopnosti systému generovat reporty dle zadání uživatele
Lopéz & Ishizaka (2017)	Kritéria 1. úrovně – spojená s dodavatelem systému	Zkušenosti dodavatele Schopnosti dodavatele v oblasti implementace Schopnosti dodavatele v oblasti údržby Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory) Reference dodavatele Pozice dodavatele na trhu
	Kritéria 2. úrovně – spojená s vlastnostmi systému	Míra přizpůsobitelnosti potřebám zákazníka Jednoduchost údržby systému Spolehlivost systému Zabezpečení systému Využitelnost (ve smyslu uživatelské přívětivosti) Nabízené funkcionality systému Podpora vícejazyčnosti
	Kritéria 2. úrovně – spojená s implementací systému	Existence lokální podpory systému Míra přizpůsobitelnosti systému ostatním systémům v podniku Jednoduchost implementace Rychlost učení se uživateli se systémem Míra přizpůsobitelnosti systému stávajícím procesům v podniku Kvalita dokumentace Podpora řešení třetích stran
	Kritéria 2. úrovně – spojená s náklady	Náklady na pořízení systému Náklady na školení Pravidelné měsíční náklady Náklady na customizaci systému Náklady na aktualizace systému Náklady na nutnou změnu podnikových procesů spojenou se zavedením systému
	Kritéria 2. úrovně – spojená s časem	Časová náročnost implementace Délka školení

Studie	Skupiny kritérií	Kritéria v rámci skupiny
Bhatt et al. (2021)	Kritéria spojená s dodavatelem	Délka praxe dodavatele Reference dodavatele Odpovídající vývojový a implementační tým (personální kapacita) Reputace dodavatele
	Kritéria vyjadřující naplnění požadavků zákazníka	Schopnost systému přizpůsobit se budoucím potřebám zákazníka Schopnost systému řešit stávající problémy zákazníka
	Kritéria spojená s uživatelskou přívětivostí a zabezpečením	Uživatelská přívětivost Zabezpečení systému
	Kritéria spojená s náklady	Počáteční náklady (pořízení a implementace systému) Náklady na údržbu a aktualizace
Lacurezeanu et al. (2021)	Nebylo využito rozdělení kritérií do skupin	Nabízené funkcionality systému
		Uživatelská přívětivost
		Využitelnost ERP systém pro plnění cílů v oblasti udržitelného rozvoje
		Kompatibilita systému s různými operačními systémy a standardními technologiemi, portovatelnost
		Schopnost systému provozu v cloudu a s tím související energetická efektivita
		Jednoduchost implementace
		Cena systému
		Kvalita dokumentace
		Úroveň poskytovaného servisu (systémové podpory)
		Reference a reputace dodavatele
Míra přizpůsobitelnosti systému potřebám podniku		

Zdroj: vlastní zpracování

Z Tabulky 9 ve vztahu k SVO 2.a vyplývá, že **existující odborné práce věnující se výběru ERP systémů se v principu shodují na hodnocení systémů na základě kritérií spojených s náklady na systém, kritérií spojených s hodnocením dodavatele ERP systémů a kritérií spojených s vlastnostmi systému** (přičemž ta jsou v některých případech členěna do více skupin, např. na vlastnosti technické a funkční).

Co se týče konkrétních používaných kritérií, náklady na systém jsou v případě některých studií případech posuzovány formou celkových nákladů vlastnictví, častější je ovšem jejich rozdělení na jednotlivé složky buď z hlediska **kapitálových (v podobě počátečních nákladů na pořízení systému) vs provozních nákladů (reprezentovaných pravidelnými náklady na údržbu systému)**, nebo i ve formě jemnějšího členění nákladů dle účelu (např. **náklady na pořízení licence, implementaci, školení, systémovou podporu, pravidelné aktualizace systému apod.**).

V případě kritérií souvisejících s dodavatelem se nejčastěji vyskytuje **kritérium kvality poskytované systémové podpory a kritérium reputace dodavatele**, následované **kritériem referencí na úspěšné implementace**, které může dodavatel doložit⁶⁴.

⁶⁴ Zde je třeba poznamenat, že potenciální vzájemná provázanost těchto kritérií, kdy lze předpokládat, že úspěšně dokončené projekty, které může dodavatel dokládat jako reference, a následná kvalitní

V oblasti kritérií spojených s vlastnostmi systému se potom nejčastěji objevuje kritérium hodnotící nabízené **funkcionality systému**. Ve většině studií se vyskytlo rovněž **kritérium hodnotící uživatelskou přívětivost systému, míru jeho přizpůsobitelnosti potřebám podniku⁶⁵ a spolehlivost systému**, přičemž toto kritérium bylo definováno jak ve smyslu stability systému, tak ve smyslu přesnosti výpočtů prováděných systémem. Ve třech studiích bylo uvedeno rovněž kritérium **kompatibility systému s různými operačními systémy a hardwarem, tzv. portovatelnosti**, a kritérium představující **modularitu daného systému a úroveň vzájemné provázanosti jednotlivých modulů**.

Relativní význam konkrétních kritérií a jejich skupiny se však mezi jednotlivými studii do značné míry liší, na základě dostupné literatury proto **nebylo možné identifikovat konkrétní kritérium nebo skupinu, která by se jako rozhodující jevila ve většině prací**.

4.2 Dotazníkové šetření mezi relevantními uživateli ERP systémů

Cílem této subkapitoly je představit realizované dotazníkové šetření mezi relevantními uživateli ERP systémů, a to jak z hlediska struktury a logiky dotazníku, tak z hlediska procesu jeho distribuce mezi respondenty.

4.2.1 Struktura dotazníku a logika otázek

Při konstrukci otázek byla využita forma **strukturovaného dotazníku s většinou uzavřených otázek**. Hlavním důvodem pro využití strukturovaného dotazníku byla již výše uvedená skutečnost nejednotného vymezení problematiky Průmyslu 4.0. Uzavřené otázky s jasně definovanými možnostmi tak měly omezit riziko, že bude otázka respondentem chybně pochopena na základě jeho individuální představy o Průmyslu 4.0, která se mohla odlišovat od konceptu využitého v této práci.

Celé znění dotazníku je uvedeno v **Příloze 1**. Dotazník byl rozdělen na tři části. První část zkoumala obecné znalosti problematiky Průmyslu 4.0 respondentů, a souvisela tedy se specifickou výzkumnou otázkou **SVO2.b**. Otázky zkoumaly jak subjektivní

poskytovaná systémová podpora povedou k růstu reputace daného dodavatele, nebyla v dohledaných studiích brána v potaz.

⁶⁵ V praxi je obvykle označováno jako „možnosti customizace“.

názor respondentů na jejich znalost dané problematiky (otázky 1 a 2), tak znalosti objektivní (otázka 3). Otázka 4 měla naproti tomu doplňující charakter a sloužila především k zasazení zbývajících odpovědí (především ve třetí části dotazníku) do kontextu s názorem respondenta na budoucí význam Průmyslu 4.0.

Druhá část se zabývala využíváním relevantních technologií Průmyslu 4.0, které byly vymezeny v předchozí kapitole, v podnicích respondentů, resp. případnými překážkami v jejich využívání. Druhá část dotazníku tedy sloužila k získání dat nezbytných k zodpovězení výzkumných otázek **SVO1.c** (otázky 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22 a 23) a **SVO1.d** (otázky 8, 13, 17, 20 a 24).

Třetí část dotazníku se potom zaměřila na problematiku toho, jaký význam je relevantním technologiím Průmyslu 4.0 respondenty přikládán při hodnocení kandidátních ERP systémů při procesu jejich výběru. Stěžejní roli zde hrála otázka 29, ve které bylo uvedeno celkem 27 kritérií pro hodnocení ERP systému. Kritéria byla rozdělena do 9 skupin, přičemž 4 z nich byly zaměřeny na technologie Průmyslu 4.0, a hodnocení jejich významu tak mělo poskytnout podklady pro zodpovězení **SVO2.c**. Konstrukce kritérií z těchto 4 skupin se opírala především o teoretické poznatky o technologiích Průmyslu 4.0 a jejich vztahu k ERP systémům, které byly rozebírány v kapitolách 2 a 3.

Kritéria z ostatních 5 skupin byla v otázce zahrnuta z toho důvodu, aby bylo možné srovnávat relativní významnost kritérií souvisejících s Průmyslem 4.0 oproti kritériím s tímto konceptem nesouvisejícím, a zodpovědět tak **SVO2.d**. Konstrukce kritérií z těchto 5 skupin vycházela jednak z existujících prací zabývajících se problematikou výběru ERP systému, které byly diskutovány v subkapitole 4.1, jednak z praxe autora této práce v oblasti výběrových řízení na dodávky ERP systémů. Tyto skupiny zahrnují oblast ceny, oblast portovatelnosti systému (která odpovídá kritériu portovatelnosti a kompatibility, identifikovaného v rámci studií citovaných v subkapitole 4.1), oblast komplexity a customizovatelnosti systému (odpovídající kritériím nabízené funkcionality, přizpůsobitelnosti systému a jeho modularity), oblast související s uživatelským rozhraním systému (odpovídající kritériu uživatelské přívětivosti), a oblast bezpečnosti.

Do kritérií naopak nebylo zahrnuto hodnocení dodavatele systému, přestože v rámci subkapitoly 4.1 bylo identifikováno mezi základními skupinami kritérií pro posuzování

ERP systému. Důvodem pro nezahrnutí hodnocení dodavatele je, že kvalita dodavatele není vlastností systému jako takového, ale pouze subjektu, který jej implementuje. Pro ERP systémy je přitom typické, že nejsou dodávány výhradně svými výrobci, ale rovněž celou řadou dalších firem, které provádějí vlastní implementační práce, jinými slovy jeden ERP systém je standardně nabízen celou řadou subjektů. Při výběru systému jako takového tak dle názoru autora této práce nedává hodnocení kvality dodavatele smysl, neboť v případě, že zákazník určitého dodavatele nepovažuje za dostatečně kvalitního, může jednoduše totožný systém popsat od jiné implementační firmy. Na základě pilotu dotazníku, který byl proveden mezi třemi respondenty, pak byla z dotazníku vyřazena skupina kritérií spojená se spolehlivostí systému, která byla v původním návrhu zahrnuta. Pilotní respondenti se shodli na tom, že spolehlivost systému (ve smyslu jeho stability a korektního provádění různých výpočtů v souladu s odpovídající legislativou) je v současné době považována za naprostou samozřejmost, která je navíc ve smlouvách o dodávkách systémů dodavateli standardně garantována. Z tohoto důvodu by zařazení dané skupiny kritérií do dotazníku nedávalo smysl, protože tato kritéria musí každý systém nabízený na trhu bezpodmínečně splňovat.

Otázky 25 – 28 pak měly opět pouze doplňující charakter, sloužily k zmapování stavu ERP systému v podniku respondenta.

4.2.2 Základní soubor pro dotazníkové šetření a získaný výzkumný vzorek

Při výběru základního souboru dotazníkového šetření byla uplatněna tři kritéria. První kritériem bylo **geografické**, výzkum byl realizován mezi podniky se sídlem v České republice. Druhým kritériem byla **velikost podniků**, kdy pro šetření byly vybrány pouze podniky spadající do kategorie středních a velkých dle kategorizace EU, tzn. podniky s více než 50 zaměstnanci a ročním obratem vyšším než 10 milionů EUR, resp. bilanční sumou vyšší než 10 milionů EUR. Kritériem velikosti bylo pro vymezení základního souboru využito z toho důvodu, že implementace technologií Průmyslu 4.0 je, především z důvodu investičních nákladů s ní spojených, dosud především záležitostí velkých a středních podniků (Doyle & Cosgrove, 2019; Masood & Sonntag, 2020). Podobně i ERP systémy jsou využívány především ve středních a velkých podnicích, zatímco mikro a malé firmy si dosud často vystačí s jednoduššími

ekonomickými informačními systémy, orientovanými především na oblasti účetnictví, ekonomiky a personální agendy (Sodomka & Klčová, 2010). Výzkum na vymezené téma mezi mikro- a malými podniky by proto neposkytoval relevantní informace.

Posledním kritériem bylo **odvětví**, v němž podniky působí. Do základního souboru byly vybrány podniky zpracovatelského průmyslu, tedy podniky spadající do sekce „C“ dle klasifikace ekonomických činností Českého statistického úřadu (CZ-NACE). Důvodem pro vymezení konkrétního odvětví je fakt, že přestože již v současné době není Průmysl 4.0 považován výhradně za záležitost výrobních firem, o čemž svědčí existence pojmů jako je „Zemědělství 4.0“, „Logistika 4.0“ nebo všeobecného „Společnost 4.0“, přece jen je tento koncept nejtěsněji spojen právě s výrobou a problematikou Smart factory (Lasi et al., 2014; Gilchrist, 2014; Alcacer & Cruz-Machado, 2019; Osterrieder et al., 2020). Bylo proto logickou volbou zkoumat stávající stav využívání technologií Průmyslu 4.0 právě v tomto prostředí.

Dotazník byl mezi podniky rozeslán emailem, formou personalizovaného oslovení zaslaného na kontakty uváděné na webových stránkách jednotlivých firem. Firmy byly zároveň požádány, aby dotazník vyplnili pracovníci, kteří by byli v pozici decision makerů v případě, že by podnik vybíral nový ERP systém. Typicky se jednalo o zaměstnance v pozici IT manažerů, finančních ředitelů apod. Celkem bylo s žádostí o účast ve výzkumu osloveno 1758 podniků. Dotazník vyplnili zástupci 68 podniků, které se tak staly výzkumným vzorkem této části výzkumu. Návratnost dotazníku tak činila 3.9 %.

4.3 Výsledky dotazníkového šetření a jejich analýza

Tato subkapitola se věnuje představení odpovědí získaných v rámci dotazníkového šetření, jejich statistické analýze a interpretaci ve vztahu k odpovídajícím výzkumným otázkám.

4.3.1 Stávající stav využívání relevantních technologií Průmyslu 4.0 v průmyslových podnicích

Pro zodpovězení **SVO 1.c** byla využita data získaná z odpovědí na otázky č. 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22 a 23. Stávající míru využívání jednotlivých technologií v dotazovaných podnicích zobrazuje Tabulka 10:

Tabulka 10: Míra využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů

Technologie	Četnost odpovědí na škále 1-5 (1 = technologie nevyužívána vůbec, 5 = technologie využívána s maximální možnou intenzitou)					Průměr
	1	2	3	4	5	
Big data	9	12	29	11	7	2.93
Vnitropodniková systémová integrace	4	4	12	19	29	3.96
Mezipodniková systémová integrace	24	17	8	16	3	2.37
Cloudová řešení	14	19	29	4	2	2.43
AIDC	26	11	15	14	2	2.34

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 10 patrné, jako jednoznačně nejpoužívanější technologie Průmyslu 4.0, která souvisí s ERP systémy, byla v podmínkách českých podniků zpracovatelského průmyslu identifikována vnitropodniková systémová integrace, tzn. vzájemné propojení několika informačních systémů. Jako druhá nejpoužívanější technologie byla vyhodnocena Big data, jejichž míra využití byla však oproti vnitropodnikové integraci výrazně nižší. Zbývající zkoumané technologie byly podle respondentů využívány ve srovnatelné, a to poměrně malé míře.

Bylo nicméně nutné otestovat, zda jsou respondenty uvedené rozdíly mezi využíváním jednotlivých technologií statisticky významné, nebo zda se jedná pouze o náhodnou odchylku ve výběrovém souboru. Byla proto testována statistická hypotéza:

$H_{SVO1.c.1)0}$: Distribuční funkce odpovědí na otázky č. 5, 10, 14, 18 a 21 jsou shodné.

K testování této hypotézy bylo využito Kruskal-Wallisova testu, který testuje nulovou hypotézu o shodě distribučních funkcí více než dvou náhodných veličin, Neparametrický Kruskal-Wallisův test byl oproti testu ANOVA, který předpokládá normalitu dat, zvolen jednak z důvodu charakteru vstupních dat (diskrétní hodnoty v omezeném rozsahu), jednak kvůli omezené velikosti vzorku. Princip testu spočívá ve výpočtu testovací statistiky, a jejím následném porovnání s kritickou hodnotou. Testovací kritérium Kruskal-Wallisova testu je vypočteno podle vzorce (1):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^c \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (1)$$

Kde C je počtem skupin, n_i počtem pozorování ve skupině, N celkovým počtem pozorování ve všech skupinách a R_i součtem pořadí členů i -té skupiny. Vypočtená hodnota kritéria činila 66.78. Tato hodnota byla porovnána s kritickou hodnotou, danou χ^2 rozdělením s $(C - 1)$ stupni volnosti. Na hladině významnosti $\alpha = 0.05$ je tato kritická hodnota rovna 9.49, na hladině významnosti 0.01 pak 13.28. Hodnota testovacího kritéria H tedy kritickou hodnotu v obou případech převyšovala a hypotézu $H_{SVO1.c.1)}$ bylo tak možné zamítnout. Jinými slovy je možné konstatovat, že zjištěné rozdíly nejsou zřejmě pouze dílem náhody, ale jsou statisticky významné, a tedy indikují skutečnou nerovnoměrnost ve využívání jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 v českých podnicích zpracovatelského průmyslu.

Kruskal-Wallisův test nicméně ukazuje pouze skutečnost, že některé ze zkoumaných náhodných veličin mají jinou distribuční funkci než ostatní, aniž by umožňoval detailní rozbor těchto rozdílů. Pro potřeby detailního srovnání toho, které technologie jsou statisticky významně více využívány oproti ostatním, byla proto využita Neméneiova metoda post-hoc analýzy, která umožňuje vzájemné srovnání jednotlivých veličin. Principem této metody je porovnávání absolutní hodnoty rozdílu průměrného pořadí každých dvou zkoumaných skupin s hodnotou testového kritéria, které se pro daný rozsah výběru vypočítá dle vzorce (2):

$$K = q_{\alpha}(C, \infty) \sqrt{\frac{1}{12} C(Cm + 1)} \quad (2)$$

Kde $q_{\alpha}(C, \infty)$ je kritická hodnota rozdělení C nezávislých náhodných veličin s normovaným normálním rozdělením na hladině významnosti α a m je rozsah výběru v jedné skupině. Na hladině významnosti 0.05 byla v tomto případě kritická hodnota rovna 45.99, na hladině významnosti 0.01 pak 54.87.

Výsledky Neméneiovy metody pro vzájemné porovnání míry využívání jednotlivých technologií jsou uvedeny v Tabulce 11. V případě, že výsledek v určité buňce tabulky převyšuje jednu nebo obě kritické hodnoty uvedené výše, jedná se o indikaci, že dvě technologie, které se v dané buňce protínají, jsou v českých podnicích zpracovatelského průmyslu využívány v rozdílné míře, přičemž tuto rozdílnost není možné vysvětlit pouze náhodnou odchylkou odpovědí respondentů dotazníku. Tyto

statisticky významné rozdíly jsou označeny hvězdičkou pro hladinu významnosti 0.05, dvěma hvězdičkami pak pro hladinu významnosti 0.01. Hodnoty pod diagonálou nejsou vyplněny, neboť by byly zrcadlově shodné s hodnotami nad ní:

Tabulka 11: Hodnoty testovacího kritéria K pro porovnání míry využití jednotlivých technologií Průmyslu 4.0

Technologie	Big data	Vnitropodniková integrace	Mezipodniková integrace	Cloud	AIDC
Big data	0	72**	40.38	36.70	42.10
Vnitropodniková integrace		0	112.38**	108.70**	114.10**
Mezipodniková integrace			0	3.68	1.72
Cloud				0	5.40
AIDC					0

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 11 ukazuje, že dle získaných dat se statisticky významně se od ostatních technologií liší pouze míra využívání vnitropodnikové systémové integrace. Přestože i využívání technologie Big data se z výsledků na první pohled jeví jako vyšší než v případě zbylých tří technologií (a hodnota testového kritéria porovnávajícího např. využití této technologie oproti technologii AIDC se již dosti přibližuje kritické hodnotě pro hladinu významnosti 0.05), na zvolených hladinách významnosti nebylo možné hypotézu o jejich shodě vyvrátit a je tedy nutné předpokládat, že pozorovaný rozdíl je způsoben pouze odchylkou výběrového souboru.

Ve vztahu k SVO 1.c je tedy možné konstatovat, že ze zkoumaných technologií Průmyslu 4.0 je v českých podnicích zpracovatelského průmyslu intenzivně využívána technologie vnitropodnikové systémové integrace. Zbývající zkoumané technologie jsou využívány významně méně, přičemž mezi mírou jejich využití není statisticky významný rozdíl.

Po zjištění stávající míry využívání vybraných technologií Průmyslu 4.0 bylo dále specifikováno, v jakých oblastech a v jaké podobě jsou jednotlivé zkoumané technologie Průmyslu 4.0 v podnicích v současné době využívány. Zjištěné oblasti jejich využití jsou shrnuty v Tabulce 12.

Tabulka 12: Absolutní (relativní)⁶⁶ četnosti oblastí, pro které jsou jednotlivé technologie Průmyslu 4.0 v dotazovaných podnicích využívány

Oblasti využití	Big data	Vnitropodniková integrace	Mezipodniková integrace	Cloud	AIDC
Podniky využívající danou technologii celkem:	59	64	44	54	42
Z toho:					
pro oblast nákupu	23 (0.39)	29 (0.45)	10 (0.23)	5 (0.09)	3 (0.07)
pro oblast obchodu, prodeje a CRM	25 (0.42)	36 (0.56)	29 (0.66)	18 (0.33)	6 (0.14)
pro oblast administrativy	28 (0.47)	35 (0.55)	9 (0.20)	23 (0.43)	8 (0.19)
pro oblast výroby	38 (0.64)	41 (0.64)	7 (0.16)	15 (0.28)	30 (0.71)
pro oblast vnitropodnikové logistiky	35 (0.59)	37 (0.58)	3 (0.07)	10 (0.19)	16 (0.38)
pro oblast externí logistiky	7 (0.12)	23 (0.36)	6 (0.14)	2 (0.04)	7 (0.17)
pro oblast managementu kvality	14 (0.24)	18 (0.28)	11 (0.25)	2 (0.04)	4 (0.10)

Zdroj: vlastní zpracování

Data v Tabulce 12 ukazují, že technologie Big data, vnitropodnikové systémové integrace a automatické identifikace a sběru dat jsou velmi intenzivně využívány především v oblasti výroby – v této oblasti je využívána více než 60 % podniků, které s danou technologií pracují. Big data jsou intenzivně sbírána a vyhodnocována rovněž v oblasti vnitropodnikové logistiky, zatímco vnitropodniková systémová integrace je poměrně značně využívána kromě této oblasti i v obchodu, prodeji a řízení vztahů se zákazníky, a v oblasti obecné administrativy.

Co se týče mezipodnikové systémové integrace, její využití jednoznačně převažuje v oblasti obchodu, prodeje a CRM – 29 z 44 podniků, které tuto technologii vůbec využívají, ji používají právě v této oblasti. Poměrně překvapivě není tato technologie příliš intenzivně využívána v nákupu, a to i přesto, že se de facto jedná o zrcadlově obrácenou oblast oproti prodeji – pokud totiž dochází k integraci informačních systémů mezi dodavatelem a odběratelem, pak integrační rozhraní logicky propojuje oblast prodeje v systému dodavatele s oblastí nákupu v systému odběratele. Ve využívání cloudových technologií naproti tomu není možné vysledovat žádnou jednoznačně převažující oblast.

I v tomto případě bylo testováno, zda jsou pozorované rozdíly v relativních četnostech využívání jednotlivých technologií v různých oblastech podnikového provozu

⁶⁶ Základem pro výpočet relativních četností v tomto případě nebyl celkový počet respondentů, ale vždy pouze počet těch respondentů, kteří na otázku zjišťující míru využití dané technologie v podniku odpověděli alespoň stupněm 2, který značí, že jejich podnik danou technologii využívá alespoň v minimální možné míře.

statisticky významné, nebo zda se jedná o náhodné zkreslení výběrového souboru. Byla proto testována statistická hypotéza:

H SVO1.c.2)o: Míra využívání jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 pro jednotlivé oblasti podnikového provozu se neliší

Vzhledem k charakteru dat, kdy se v tomto případě jednalo o binární proměnnou (podnik určitou technologii pro určitou oblast buď využívá, nebo ne), byl tento test realizován prostřednictvím série testů v kontingenční tabulce.

Pro každou oblast byla sestavena kontingenční tabulka, kde řádky představovaly jednotlivé technologie, zatímco sloupce představovaly počet podniků, které tuto technologii pro danou oblast využívají, respektive nevyžívají. Následně byly vypočteny teoretické četnosti výskytu jednotlivých kombinací, a to podle vzorce (3):

$$n'_{ij} = \frac{n_i \cdot n_j}{n} \quad (3)$$

Kde n_i je suma četností v i -tém řádku, n_j suma četností v j -tém sloupci a n je celková suma četností. Takto vypočtené hodnoty byly následně využity pro výpočet testovacího kritéria dle vzorce (4):

$$G = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(n_{ij} - n'_{ij})^2}{n'_{ij}} \quad (4)$$

Kde r je počet řádků, s je počet sloupců, n_{ij} je skutečná četnost v i -tém řádku a j -tém sloupci a n'_{ij} je teoretická četnost v i -tém řádku a j -tém sloupci. Kritickou hodnotou je v tomto případě $1-\alpha$ kvantil χ^2 rozdělení s $(r-1) \cdot (s-1)$ stupni volnosti, který je pro hladinu významnosti $\alpha = 0.05$ v tomto případě roven 9.49, pro hladinu významnosti 0.01 pak 13.28. Vypočtené hodnoty testovacího kritéria G pro jednotlivé oblasti jsou uvedeny v Tabulce 13:

Tabulka 13: Hodnoty testovacího kritéria G pro jednotlivé oblasti podnikové činnosti

Oblast činnosti	G
pro oblast nákupu	32.91
pro oblast obchodu, prodeje a CRM	30.13
pro oblast administrativy	22.04
pro oblast výroby	48.80
pro oblast vnitropodnikové logistiky	48.69
pro oblast externí logistiky	24.36
pro oblast managementu kvality	16.23

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 13 zřejmé, mezi zkoumanými oblastmi podnikové činnosti neexistuje žádná, pro kterou by testovací kritérium *G* vycházelo menší, než je jeho kritická hodnota, a pro kterou by tedy platilo, že jsou v jejím rámci všechny zkoumané technologie Průmyslu 4.0 pravděpodobně aplikovány v obdobné míře. Hypotézu *H SVO1.c.2*₀ bylo tedy možné zamítnout a konstatovat, že **míra využití jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 v různých oblastech podnikového provozu se liší. Podniky, které využívají technologie Big data, AIDC a vnitropodnikové systémové integrace, tyto technologie nejčastěji využívají v rámci výroby a vnitropodnikové logistiky. Mezipodniková systémová integrace, je-li využívána, slouží v naprosté většině případů pro potřeby obchodu.**

Konkrétní podoby využívání technologií Big data, vnitropodnikové a mezipodnikové systémové integrace a automatického sběru dat byly potom zjišťovány v rámci doplňujících otázek č. 7, 12, 16 a 23. Odpovědi na ně znázorňuje Tabulka 14.

Tabulka 14: Konkrétní formy využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů

Big data		Vnitropodniková systémová integrace	
Velké objemy dat jsou v podniku ukládány a analyzovány v:		Datová výměna mezi informačními systémy v rámci firmy je realizována pomocí:	
ERP systému nebo jiném systému sloužícím primárně pro jiné účely	18	Textových souborů strukturovaných dle standardů EDI	19
Specializovaném rozšíření ERP systému nebo jiného systému sloužícího primárně pro jiné účely	14	Souborů ve formátu csv	18
Specializovaného systému pro Business intelligence provozovaného on-premise	12	Strukturovaných souborů ve formátu XML	16
Specializovaného systému pro Business intelligence provozovaného v cloudu	13	Strukturovaných souborů ve formátu JSON	2
		Webových služeb na bázi REST	3
		Integračních databází nebo databázových objektů	27
		Respondent nedokázal způsob výměny dat specifikovat	2
Mezipodniková systémová integrace		AIDC	
Datová výměna s informačními systémy obchodních partnerů je realizována pomocí:		Automatizovaně jsou v podniku získávána data o reálných entitách prostřednictvím technologie:	
Textových souborů strukturovaných dle standardů EDI	19	Čtení čárových nebo QR kódů	29
Souborů ve formátu csv	9	Optické rozpoznávání textu pro vytěžování dokumentů	7
Strukturovaných souborů ve formátu XML	7	Čtení biometrických údajů	1
Strukturovaných souborů ve formátu JSON	2	Rozpoznávání a analýza zvuku	2
Integračních databází nebo databázových objektů	4	Technologie NFC	2
Souborů ve formátu xlsx	1	Technologie RFID	6
		Kamerová technologie pro automatické sledování objektů	2

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 14 neobsahuje technologii cloudu, u které respondenti na konkrétní podobu využívaného řešení dotazování nebyli, a to z toho důvodu, že technická podstata cloudu je pro zákazníka často černou skříňkou, která je zcela mimo jeho kontrolu. Přestože tak samozřejmě existují různé varianty využití cloudových služeb stejně jako různé varianty jejich hostingu⁶⁷, z pohledu zákazníka (tzn. respondenta realizovaného dotazníku) se v konečném důsledku vždy jedná o poskytování prostředků serverů formou služby, přičemž konkrétní technické provedení této služby je záležitostí jejího poskytovatele.

Jak z Tabulky 14 plyne, **pro účely ukládání a analýzy velkých dat využívaly podniky, které se průzkumu zúčastnily, ve většině případů systémy primárně designované pro jiné účely.** Tato varianta se vyskytla celkem u 32 podniků. Osmnáct z těchto podniků přitom v rámci svých informačních systémů nevyužívalo ani žádný specializovaný modul pro práci s velkými objemy dat, a vystačily tak pouze se standardními funkcionalitami, které jejich systém nabízí.

Dvacet pět dotazovaných podniků naproti tomu využívalo pro uchovávání a analýzy velkých dat specializovaný software pro Business Intelligence, přičemž lokálně provozovaná a cloudová řešení byla v tomto případě zastoupena v podobné míře. Přestože se tedy velcí dodavatelé technologií pro práci s velkými daty, jako je Microsoft nebo Oracle, v posledních letech orientují především na cloudové platformy, výzkum ukázal, že **v prostředí českých průmyslových podniků dosud nejsou cloudová řešení v oblasti Big data jednoznačně preferována.**

Integrace mezi vnitřními informačními systémy podniku byla u respondentů nejčastěji realizována formou databázového propojení. Relativně intenzivní bylo rovněž využití různých tradičních řešení spočívajících v generování a importech souborů, ať už strukturovaných (XML, JSON, EDI standardy), nebo v jednoduché formě csv. **Naopak modernější integrační metody v podobě webových služeb jsou zatím v podnicích respondentů pro potřeby vnitropodnikové integrace využívány podstatně méně** – služby založené na bázi REST byly uvedeny jen ve třech případech a služby na bázi SOAP nevyužíval dokonce ani jeden z respondentů.

Srovnání s technickými řešeními využívanými pro potřeby mezipodnikové integrace potom ukázalo, že velký rozdíl mezi vnitro- a mezipodnikovou integrací byl především

⁶⁷ Více viz poznámka pod čarou č. 12 vázící se k subkapitole 2.1.5.

v míře uplatnění integrace založené na databázových objektech. Ta je dle odpovědí velmi frekventovaná v případě vnitropodnikové integrace, ale jen zřídka využívána k propojení se systémy obchodních partnerů, a to i přesto, že disponuje oproti jiným řešením řadou výhod⁶⁸.

I v mezipodnikové integraci jsou ale intenzivně využívány textové soubory ve formátu EDI, což pravděpodobně souvisí s tím, že jejich využití je velmi rozšířené především v oblasti automotive, která zaujímá významnou roli ve zpracovatelském průmyslu České republiky. Poměrně překvapivým faktem je potom skutečnost, že žádná z dotazovaných firem nevyužívala pro mezipodnikovou systémovou integraci webové služby.

V oblasti automatické identifikace a sběru dat jednoznačně převládala identifikace objektů a činností čárovými nebo QR kódy. To odpovídá dlouhodobému trendu v oblasti WMS a MES systémů, ve kterých je manipulace s jednotlivými objekty nebo evidence operací ve výrobě prostřednictvím snímání kódů namísto ručního zadávání údajů jednou ze základních funkcionalit, která je využívána z důvodu vyšší rychlosti a nižší chybovosti oproti ručnímu zadávání údajů.

4.3.2 Existující překážky ve využívání relevantních technologií Průmyslu 4.0 v průmyslových podnicích

K zodpovězení **SVO 1.d** posloužila analýza odpovědí na otázky č. 8, 13, 17, 20 a 24, v jejichž rámci byly respondenti dotazováni, z jakého důvodu jednotlivé technologie v rámci svého podniku intenzivněji nevyužívají. Odpovědi na tyto otázky zachycuje Tabulka 15:

⁶⁸ Např. v podobě schopnosti přenášet jejím prostřednictvím velké objemy dat bez negativních dopadů na výkon nebo ve skutečnosti, že databázové technologie jsou do značné míry standardizovány, což s sebou nese významné zjednodušení při návrhu a implementaci propojení.

Tabulka 15: Překážky v intenzivnějším využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů

Big data		Vnitropodniková systémová integrace		Mezipodniková systémová integrace		Cloudové technologie		AIDC	
Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost
Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.	5 (0.24)	Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.	7 (0.19)	Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.	19 (0.37)	Vůbec jsme se touto otázkou nezabývali.	0 (0.00)	Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.	6 (0.27)
Velká data vznikající při činnosti naší firmy nejsou dle mého názoru smysluplně zpracovatelná, jejich analýza by nám nepřinášela relevantní informace.	2 (0.10)	Propojení by dle našeho názoru nepřinášelo žádný pozitivní efekt.	5 (0.14)	Propojení by dle našeho názoru nebo názoru partnera nepřinášelo žádný pozitivní efekt.	10 (0.20)	Využití cloudových řešení by nám dle našeho názoru nepřineslo žádný pozitivní efekt	2 (0.06)	V rámci naší firmy nevidíme možnost smysluplného využití automatického sběru dat.	8 (0.36)
Investiční náklady na zpracování velkých dat (např. v podobě pořízení a implementace potřebných technických prostředků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	6 (0.29)	Propojení se nám nepodařilo zrealizovat z důvodů business logiky.	2 (0.05)	Propojení se nám nepodařilo zrealizovat z technických důvodů.	2 (0.04)	Máme obavy ze zajištění dostupnosti cloudových služeb	6 (0.18)	Při analýze možného využití automatického sběru dat jsme narazili na technické problémy, které se nám nepodařilo vyřešit.	2 (0.09)
Provozní náklady na zpracování velkých dat (např. v podobě času zodpovědných pracovníků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	6 (0.29)	Investiční náklady na tvorbu propojení (např. v podobě ceny integračních můstků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	11 (0.30)	Propojení se nám nepodařilo zrealizovat z důvodů business logiky.	3 (0.06)	Máme obavy ze zabezpečení cloudových služeb	9 (0.27)	Investiční náklady na využití automatického sběru dat (např. v podobě pořízení a implementace potřebných technických prostředků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	4 (0.18)
Data zpracováváme v rámci periodické analýzy	2 (0.10)	Provozní náklady na tvorbu propojení (např. v podobě mezd pracovníků zodpovědných za běh integrací) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	8 (0.22)	Investiční náklady na tvorbu propojení (např. v podobě ceny integračních můstků) jsme my nebo partner vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	8 (0.16)	Provozní náklady na využívání cloudu jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	14 (0.42)	Provozní náklady na využití automatického sběru dat (např. v podobě času pracovníků zodpovědných za údržbu nutných nástrojů) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	2 (0.09)

Big data		Vnitropodniková systémová integrace		Mezipodniková systémová integrace		Cloudové technologie		AIDC	
Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost	Hlavní překážka	Četnost
		Řešíme dle priorit	2 (0.05)	Provozní náklady na tvorbu propojení (např. v podobě mezd pracovníků zodpovědných za běh integrací) jsme my nebo partner vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.	6 (0.12)	Preferujeme on-site	1 (0.03)		
		Řešení je v dikci mateřské firmy, pro kterou není prioritní	2 (0.05)	Řešení je v dikci mateřské firmy, pro kterou není prioritní	2 (0.04)	Řešení je v dikci mateřské firmy, pro kterou není prioritní	1 (0.03)		
				Čeká se na vývoj integračního řešení dodavatelem ERP systému	1 (0.02)				

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 15 patrné, v případě **SVO 1.d** není možné jednoznačně identifikovat hlavní překážku, která by dominovala napříč technologiemi. Co se týče jednotlivých technologií, v případě technologie **Big data** a technologie **vnitropodnikové systémové integrace** se jako převažující překážka pro jejich intenzivnější využití jeví obava z nárůstu nákladů, kdy součet relativních četností obav z nárůstu investičních a provozních nákladů v obou případech tvoří nadpoloviční většinu v rámci získaných odpovědí. V případě **Big data** se nicméně respondenti stejnou měrou obávají nárůstu investičních i provozních nákladů, zatímco u vnitropodnikové integrace převažuje obava z nákladů investičních.

Co se týče **mezipodnikové systémové integrace**, nejčastější odpovědí respondentů bylo „vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali“. Toto zjištění logicky navazuje na poměrně nízkou míru využívání této technologie jako takové, která byla diskutována v rámci předchozí subkapitoly. Lze tedy konstatovat, že povědomí o možnosti vzájemně propojit informační systémy napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem a o potenciálních přínosech takového

propojení je mezi českými podniky zpracovatelského průmyslu dosud relativně nízké.

V případě cloudových technologií podniky jako největší překážku vnímají vysoké provozní náklady – tuto odpověď zvolilo 42 % respondentů. Přestože tedy migrace systémů do cloudu znamená ve středně- a dlouhodobém měřítku pro podnik zároveň pokles investičních nákladů, neboť podnik již nemusí investovat do pravidelné obnovy serverového hardware a souvisejících licencí, téměř polovina podniků, které dosud preferují „on premise“ řešení své IT infrastruktury, zjevně dosud není přesvědčena o výhodnosti této změny. **Poměrně čtná je rovněž obava z nedostatečného zabezpečení cloudových systémů.**⁶⁹

U technologie AIDC byla potom jako hlavní překážka nejčastěji zmiňována skutečnost, že podnik nevidí ve své činnosti možnost jejího reálného využití (36 % odpovědí), případně že se touto problematikou dosud ani nezabýval (27 %). Právě odpověď „vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali“ se přitom relativně často objevovala i v případě Big data (24 %), vnitropodnikové systémové integrace (19 %) a mezipodnikové systémové integrace (37 %). Jedním z možných způsobů, jak zvýšit míru využití zkoumaných technologií Průmyslu 4.0 v českých podnicích zpracovatelského průmyslu, je tedy popularizační činnost v této oblasti.

4.3.3 Znalost problematiky Průmyslu 4.0 mezi relevantními uživateli ERP systémů

Pro získání odpovědi na **SVO 2.b** byla využita primárně data získaná v rámci otázek č. 1, 2 a 3, pro lepší zasazení těchto dat do kontextu pak byly využity rovněž odpovědi na otázku č. 4. Zatímco u otázek č. 1, 2 a 4 byla využita pětibodová hodnotící škála, a získané odpovědi tedy stačilo přetypovat na číselné hodnoty, otázka č. 3 byla koncipována jako otevřená, kdy měl respondent vypsát technologie, které dle jeho názoru tvoří součást Průmyslu 4.0. Aby bylo možné tyto odpovědi převést na číselné hodnoty, byly odpovědi na otázku č. 3 následně posouzeny autorem výzkumu, a pro každého respondenta byl stanoven počet unikátních technologií, které respondent

⁶⁹ A to navzdory skutečnosti, že správně dimenzované cloudové řešení může disponovat takovou úrovní zabezpečení, jaké je v praxi běžného podniku jen velmi obtížné dosáhnout.

uvedl, a které skutečně s Průmyslem 4.0 souvisí⁷⁰. Odpovědi respondentů na tyto otázky jsou znázorněny v Tabulce 16:

Tabulka 16: Znalosti a postoje respondentů týkající se konceptu Průmyslu 4.0

Otázka č. 1: Kdy jste se poprvé setkal/a s termínem „Průmysl 4.0“?		Otázka č. 2: Jak byste subjektivně zhodnotil/a svou míru pochopení konceptu Průmysl 4.0	
Možné odpovědi	Absolutní četnost odpovědí	Možné odpovědi	Absolutní četnost odpovědí
1 - Zatím jsem se s tímto termínem neseťkal	6	1 - Tento koncept vůbec neznám nebo o něm nemám žádnou konkrétní představu.	8
2 - V posledních dvou letech	8	2 - Rozumím mu spíše špatně. Chápu pouze základní ideu konceptu.	0
3 - Před více než dvěma lety	17	3 - Rozumím mu průměrně. Chápu ideu konceptu, dokážu uvést některé typické znaky a technologie „Průmyslu 4.0.“	31
4 - Před více než pěti lety	35	4 - Rozumím mu poměrně dobře. Chápu ideu konceptu, dokážu uvést většinu typických znaků a technologií „Průmyslu 4.0“, mám představu o vazbách mezi jednotlivými technologiemi.	22
5 - Před více než deseti lety	2	5 - Rozumím mu velmi dobře. Chápu jeho celkovou ideu, dokážu uvést jeho typické znaky a technologie a chápu vazby mezi nimi.	7
Aritmetický průměr	3.28	Aritmetický průměr	3.29
Otázka č. 3: Uveďte technologie, které považujete za součást konceptu „Průmysl 4.0“		Otázka č. 4: Očekáváte, že „Průmysl 4.0“ významně ovlivní odvětví, ve kterém Váš podnik působí v příštích 5 letech?	
Počet unikátních technologií Průmyslu 4.0 uvedených daným respondentem	Absolutní četnost odpovědí	Možné odpovědi	Absolutní četnost odpovědí
0	13		
1	17	1 - Rozhodně ne	3
2	15	2 - Spíše ne	6
3	14	3 - Nemám jednoznačný názor	14
4	9	4 - Spíše ano	30
5	0	5 - Rozhodně ano	15
Aritmetický průměr	1.84	Aritmetický průměr	3.71

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 16 patrné, většina respondentů ví o existenci Průmyslu 4.0 již více než 5 let, naopak pouze 6 z 68 respondentů se s tímto konceptem dosud vůbec neseťkalo. Pokud se týká kvality znalostí Průmyslu 4.0, v případě otázky na subjektivní znalost Průmyslu 4.0 byla modální odpovědí průměrná znalost. Téměř třetina (32.4 %)

⁷⁰ Jako správně uvedené technologie přitom nebyly vyhodnoceny pouze technologie tvořící 9 (resp. 10) pilířů Průmyslu 4.0, definovaných v rámci subkapitoly 2.3.2, ale jakákoliv technologie, která je jako součást Průmyslu 4.0 uváděna v relevantních odborných pracích.

respondentů pak sama zhodnotila svou znalost jako „poměrně dobrou“. Položíme-li nicméně tato data do souvislosti s četnostmi uvedených unikátních technologií ve třetí otázce, jeví se sebehodnocení svých znalostí respondenty jako příliš optimistické. Celkem 13 respondentů nedokázalo v rámci otázky č. 3 uvést žádnou konkrétní technologii, která by se týkala Průmyslu 4.0. Přitom však v otázce č. 2 zvolilo odpovědi 1 a 2, které nepředpokládají znalost žádné konkrétní technologie Průmyslu 4.0, pouze 8 respondentů. Jinými slovy, 5 respondentů sice v rámci otázky č. 2 uvedlo, že je schopno uvést alespoň některé technologie Průmyslu 4.0, toto tvrzení se nicméně nezakládalo na pravdě.

22 respondentů poté v rámci otázky č. 2 uvedlo, že je schopno uvést většinu technologií Průmyslu 4.0, 7 respondentů dokonce všechny. I pokud bychom však uvažovali pouze 9 „základních pilířů Průmyslu 4.0“, a zcela tedy abstrahovali od dalších možných technologií, z odpovědí na otázku č. 3 je zřejmé, že „většinu“, tzn. alespoň 5 z nich, nedokázal uvést žádný respondent.

Na základě odpovědí na otázky č. 2 a 3 bylo tedy možné ve vztahu k SVO 2.b konstatovat, že **relevantní uživatelé ERP systémů v dotazovaných podnicích považují své znalosti konceptu Průmyslu 4.0 spíše za nadprůměrné. Skutečná znalost technologií, které tvoří součást Průmyslu 4.0, je však nízká. Ani jeden respondent nedokázal uvést většinu základních technologií Průmyslu 4.0.**

Nabízí se samozřejmě otázka, zda i přes zjevné rozdíly mezi úrovní deklarovaných a skutečných znalostí Průmyslu 4.0 neexistuje mezi těmito veličinami závislost – tzn. zda respondent, jehož subjektivní sebehodnocení znalosti Průmyslu 4.0 bylo vyšší než u jiných respondentů, dosáhl lepších výsledků i v objektivním hodnocení, a naopak.

Vzhledem k tomu, že škály možných odpovědí na obě otázky se lišily (resp. v případě otázky č. 3 nebyla škála ani předem definována), byly získané dvojice odpovědí porovnávány pouze z ordinálního hlediska. Data navíc nesplňovala podmínku normality. Z těchto důvodů byl k posouzení této závislosti zvolen Spearmanův koeficient pořadové korelace, který má tvar uvedený v rovnici (5):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - Q_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5)$$

kde n je počet párových pozorování ordinálních náhodných veličin X a Y , R_i je pořadí náhodné veličiny X_i a Q_i je pořadí náhodné veličiny Y_i . Koeficient nabývá hodnot

v intervalu $\langle -1, 1 \rangle$, přičemž 0 představuje vzájemně zcela nezávislé náhodné veličiny, zatímco přibližování hodnot mezím intervalu značí silnější závislost. Krajiní hodnoty intervalu potom reprezentují situaci, kdy je jedna z veličin monotónní funkcí veličiny druhé.

Hodnota koeficientu r_s pro odpovědi na otázky č. 2 a 3 činila 0.34. Tato hodnota koeficientu sice indikuje určitou závislost mezi deklarovanou a skutečnou znalostí technologií Průmyslu 4.0, bylo nicméně nutné otestovat, zda se jedná vzhledem k omezené velikosti výběrového souboru o závislost statisticky významnou. Byla proto testována statistická hypotéza:

H SVO2.b.1)0: Odpovědi na otázky č. 2 a č. 3 jsou vzájemně nezávislé

Jako alternativní hypotéza H_1 byla, vzhledem ke zjištěné kladné hodnotě koeficientu pořadové korelace, předpokládána pravostranná alternativa, reprezentující pozitivní závislost mezi deklarovanou a skutečnou znalostí Průmyslu 4.0. Test hypotézy byl realizován porovnáním absolutní hodnoty spočteného koeficientu s testovým kritériem r_s^* , které je pro pravostranný test a počet pozorování > 30 možné spočítat dle vzorce (6):

$$r_s^*(\alpha; n) = \frac{u_{1-\alpha}}{\sqrt{n-1}} \quad (6)$$

Kde $u_{1-\alpha}$ je $(1-\alpha)$ kvantil normovaného normálního rozdělení. V daném případě byla hodnota testovacího kritéria pro 68 pozorování na hladině významnosti 0.05 rovna

$$r_s^*(0.05; 68) = \frac{1.645}{\sqrt{68-1}} \approx 0.20$$

Na hladině významnosti 0.01 pak analogicky $r_s^* = 0.28$.

Protože spočtená hodnota Spearmanova koeficientu pořadové korelace r_s byla vyšší než hodnota testovacího kritéria r_s^* , došlo k zamítnutí hypotézy *H SVO2.b.1)0* o nezávislosti proměnných. Bylo tedy možné konstatovat, že odpovědi na otázky týkající se deklarované a skutečné znalosti Průmyslu 4.0 nebyly vzájemně nezávislé, ale že **mezi deklarovanou a skutečnou znalostí Průmyslu 4.0 existuje pozitivní korelace. Respondenti, kteří lépe subjektivně hodnotili svoji znalosti Průmyslu 4.0, byli i objektivně lépe obeznámeni s technologiemi, které s tímto konceptem souvisí.**

Odpovědi na otázku č. 4 umožnily dále posoudit subjektivní názor respondentů na budoucí význam Průmyslu 4.0 a vliv tohoto názoru na deklarovanou i objektivní znalost Průmyslu 4.0. Z Tabulky 16 je patrné, že **dvě třetiny osob, které v podnicích působí v roli IT manažerů, případně klíčových uživatelů informačních systémů, se převážně domnívali, že Průmysl 4.0 jejich obor v následujících pěti letech významně ovlivní**, opačného názoru bylo pouze 9 respondentů.

To, zda existuje závislost mezi tímto očekáváním a mírou znalostí Průmyslu 4.0,⁷¹ bylo opět zkoumáno prostřednictvím výpočtu Spearmanova koeficientu pořadové korelace a jeho porovnání s kritickou hodnotou. Byla přitom posouzena korelace jak s deklarovanou mírou znalosti Průmyslu 4.0, tak se skutečnou znalostí jeho technologií. Hodnoty korelačních koeficientů r_s jsou uvedeny v Tabulce 17:

Tabulka 17: Korelace mezi očekávaným budoucím významem Průmyslu 4.0 a jeho znalostmi

Závislost	r_s
Očekávání ohledně budoucího významu Průmyslu 4.0 (otázka č. 4) x Deklarovaná znalost Průmyslu 4.0 (otázka č. 2)	0.11
Očekávání ohledně budoucího významu Průmyslu 4.0 (otázka č. 4) x Skutečná znalost Průmyslu 4.0 (otázka č. 3)	0.07

Zdroj: vlastní zpracování

Z Tabulky 17 je zřejmé, že hodnoty korelačního koeficientu pro obě potenciální závislosti byly blízké nule, což nasvědčovalo tomu, že zkoumané veličiny jsou navzájem nezávislé. Statistická významnost vypočtených hodnot byla ověřena testováním statistických hypotéz.:

H SVO2.b.2)0: Odpovědi na otázky č. 4 a č. 2 jsou vzájemně nezávislé

H SVO2.b.3)0: Odpovědi na otázky č. 4 a č. 3 jsou vzájemně nezávislé

K testování byl využit stejný aparát jako u předchozí hypotézy. Vzhledem ke kladné hodnotě obou spočtených korelačních koeficientů a také tomu, že pokud by mezi proměnnými závislost existovala, je možné logicky předpokládat, že se bude jednat o

⁷¹ Zde je třeba zdůraznit, že případná kauzalita takové závislosti nemusí být jednostranná. Může totiž platit jak varianta, že osoby, které mají lepší znalosti Průmyslu 4.0, předpokládají větší význam tohoto konceptu v budoucnu (tzn. kauzalita „od znalosti k očekávání“), tak varianta, kdy osoby, které předpokládají větší význam Průmyslu 4.0 v budoucnu, mají větší motivaci se v této oblasti více vzdělávat (kauzalita „od očekávání k získávání znalostí“).

závislost pozitivní, byly jako alternativní hypotézy zvoleny hypotézy pravostranné. Hodnoty testovacího kritéria vypočtené dle rovnice (6) byly $r_s^* \approx 0.20$ na hladině významnosti 0.05, resp. 0.28 na hladině významnosti 0.01.

Hodnoty obou vypočtených koeficientů r_s jsou nižší než kritická hodnota, a nulové hypotézy $H_{SVO2.b.2)_0}$ a $H_{SVO2.b.3)_0}$ tak nebylo možné zamítnout. Přestože tedy vypočtené hodnoty korelačních koeficientů pro obě zkoumané závislosti dosahovaly kladných hodnot, tyto hodnoty lze přičíst pouze náhodným odchylkám ve výběrovém souboru, a **není z nich možné vyvozovat existenci skutečné závislosti mezi tím, jakou úrovní znalostí Průmyslu 4.0 (ať už subjektivně vnímané nebo objektivní) zaměstnanci zodpovědní za ERP systémy v podnicích disponují, a tím, za jak významný tento koncept považují pro budoucnost svého odvětví.**

4.3.4 Význam kritérií spojených s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0 ve srovnání s tradičními kritérii pro výběr ERP systémů

Pro zodpovězení **SVO 2.c** a **SVO 2.d**, týkajících se toho, jaký význam při hodnocení ERP systémů přikládají jejich klíčoví uživatel a IT manažeři jejich schopnosti interagovat s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0, a to jak absolutně, tak v porovnání s tradičně využívanými kritérii pro posuzování ERP systémů diskutovanými v subkapitole 4.1, byla využita data získaná v rámci otázky č. 29.

V ní bylo respondentům předloženo celkem 27 potenciálních kritérií pro výběr ERP systému rozdělených do 9 skupin po 3 kritériích. Respondenti měli ohodnotit význam každého kritéria v případě, že by v současné době vybírali nový ERP systém, na škále od 1 do 5, kde hodnota 1 představovala „zcela nevýznamné“, zatímco hodnota 5 „velmi významné“. V případě, že respondent nedokázal zhodnotit význam konkrétního kritéria, mohl využít odpověď „nedokážu posoudit“. Dva respondenti z 68 zvolili tuto odpověď v případě všech nabízených kritérií. Jejich odpovědi byly proto z dalšího zpracování vyřazeny a zpracováno tak bylo celkem 66 sad odpovědí. V ostatních souborech odpovědí se tvrzení „nedokážu posoudit“ vyskytlo celkem ve 43 případech, což činí 2.41% ze všech odpovědí. Vzhledem k nízkému relativnímu počtu těchto nejednoznačných odpovědí byly hodnoty „nedokážu posoudit“ nahrazeny modální hodnotou odpovědi pro dané kritérium, aby bylo pro další statistické zpracování dosaženo vyváženého výzkumného vzorku. Agregované výsledky pro jednotlivá kritéria a jejich skupiny jsou uvedeny v Tabulce 18:

Tabulka 18: Význam přikládány respondenty kritériím pro výběr ERP systému

Skupina kritérií	Průměr pro kritérium ve skupině			Průměr skupiny
	.I	.II	.III	
1 Cenová kritéria	3.88	3.82	3.76	3.82
2 Portovatelnost	2.20	2.70	3.06	2.65
3 Modularita	3.65	3.97	4.14	3.92
4 Uživatelská zkušenost	3.44	3.77	3.68	3.63
5 Bezpečnost	4.05	3.76	4.05	3.95
6 Systémová integrace	3.91	2.73	2.85	3.16
7 Big data	3.68	3.36	3.47	3.51
8 Cloud	3.14	2.85	3.14	3.04
9 AIDC	2.85	3.62	3.39	3.29

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je z Tabulky 18 patrné, největší důraz kladli respondenti na technická kritéria související s bezpečností, a to jak z hlediska zabezpečení databáze proti útoku zvenčí systému, tak z hlediska zabezpečení přístupu k datům v rámci systému. Velký význam byl přikládán rovněž modularitě systému.

Oproti tomu nejmenší význam je možná poněkud překvapivě přikládán možnosti přistupovat do systému z různých typů zařízení, ať už prostřednictvím nativních klientů pro různé operační systémy, nebo formou webové aplikace. Obdobně překvapivý se v současné době může jevit i relativně malý význam přikládány cloudu.

Obdobně jako v případě srovnání stávající míry využití jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 bylo i v tomto případě třeba posoudit, zda jsou rozdíly mezi významem přikládány jednotlivým skupinám kritérií statisticky významné, nebo zda se jedná pouze o náhodné zkreslení vyskytující se pouze ve zkoumaném vzorku. Byla proto testována hypotéza:

H SVO2.c.1)0: Distribuční funkce odpovědí pro skupiny kritérií 1 – 9 jsou shodné.

Pro toto posouzení byl opět zvolen Kruskal-Wallisův test s testovací statistikou vypočtenou dle rovnice (1), přičemž proti sobě bylo porovnáváno 9 skupin hodnotících kritérií. Hodnota testovací statistiky H , vypočtená pro daný počet skupin a počet pozorování ve skupině, se v tomto případě rovná 220.01.

Kritická hodnota daná χ^2 rozdělením s $(C - 1)$ stupni volnosti se na hladině významnosti $\alpha = 0.05$ rovnala 15.51, na hladině významnosti 0.01 pak 20.09. Hodnota testovacího kritéria tak v obou případech převyšuje kritickou hodnotu. Zjištěné rozdíly tak s pravděpodobností 99 % nejsou pouze náhodnou odchylkou, ale značí, že české podniky zpracovatelského průmyslu při výběru ERP systému jednotlivým zkoumaným kritériím přikládají nesterjnu míru významu. Hypotézu *H SVO2.c.1)0* bylo proto možné zamítnout.

Po zamítnutí hypotézy o shodě distribučních funkcí následovala post-hoc analýza, jejímž účelem bylo identifikovat, kterým skupinám kritérií přiřadí respondenti statisticky významně vyšší váhu než ostatním. I v tomto případě byla pro tuto další analýzu zvolena Neményiho metoda s testovací statistikou počítanou dle rovnice (2), která pro hladinu významnosti $\alpha = 0.05$ nabývá hodnoty 160.43, pro $\alpha = 0.01$ pak 185.69.

Výsledky Neményiové metody pro vzájemné porovnání významu přiřádanému respondenty jednotlivým skupinám hodnotících kritérií jsou uvedeny v Tabulce 19, přičemž statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0.05 jsou označeny hvězdičkou, rozdíly významné na hladině 0.01 pak dvěma hvězdičkami:

Tabulka 19: Hodnoty testovacího kritéria K pro porovnání významu jednotlivých skupin kritérií při výběru ERP systému

Skupina kritérií	1 Cenová kritéria	2 Portova- Telnost	3 Modularita	4 Uživatelská zkušenost	5 Bezpečnost	6 Systémová integrace	7 Big data	8 Cloud	9 AIDC
1 Cenová kritéria	0	498.03 **	42.09	84.96	70.01	281.22 **	139.48	346.89 **	230.88 **
2 Portovatelnost		0	540.12 **	413.07 **	568.04 **	216.81 **	358.55 **	151.14	267.15 **
3 Modularita			0	127.05	27.92	323.31 **	181.57 *	388.97 **	272.97 **
4 Uživatelská zkušenost				0	154.97	196.27 **	54.53	261.93 **	145.93
5 Bezpečnost					0	351.23 **	209.49 **	416.90 **	300.89 **
6 Systémová integrace						0	141.74	65.66	50.34
7 Big data							0	207.40 **	91.40
8 Cloud								0	116.00
9 AIDC									0

Zdroj: vlastní zpracování

Jak ukazuje Tabulka 19, význam čtyř skupin kritérií, které byly respondenty označeny jako nejdůležitější pro výběr ERP systému, se vzájemně statisticky významně neliší. Jedná se o skupiny kritérií týkajících se modularity, uživatelské zkušenosti, bezpečnosti a ceny. Tyto skupiny kritérií tak tvoří jakýsi blok, jehož jednotlivé součásti mají při výběru ERP systému obdobný význam, přičemž jsou zároveň chápány jako důležitější než ostatní zkoumané skupiny kritérií.

Co se týče skupin kritérií souvisejících s technologiemi Průmyslu 4.0, žádná z nich do výše vymezeného bloku nejvýznamnějších kritérií jednoznačně nespadá. S určitou výhradou by však do tohoto bloku bylo možné přiřadit skupinu kritérií souvisejících s Big data, jejíž význam se liší pouze oproti kritériím spojeným s bezpečností, zatímco

rozdíly vůči skupinám kritérií souvisejících s cenou, modularitou a uživatelskou zkušeností statisticky významné nejsou.

Skupiny kritérií mapující schopnost ERP systému interagovat s technologiemi Průmyslu 4.0 potom tvoří druhý, méně významný blok. Rozdíly mezi významem přikládaným jednotlivým skupinám kritérií (tzn. jednotlivým technologiím Průmyslu 4.0) v tomto bloku opět nejsou statisticky významné, s výjimkou rozdílu mezi Big data a cloudovými technologiemi.

Kritéria související s portovatelností ERP systému pak tvoří poslední, samostatný blok, kdy vycházejí jako staticky významně méně důležitá pro výběr ERP systému ve srovnání s všemi ostatními skupinami s výjimkou skupiny cloudových technologií. I v tomto případě je však absolutní hodnota rozdílu jejich průměrného pořadí velmi blízká kritické hodnotě K na hladině významnosti 0.01.

Ve vztahu k SVO 1.c a 1.d je tak možné konstatovat, že **jako zásadní hodnotí respondenti při výběru ERP systému především kritéria spojená s modularitou, bezpečností, uživatelskými vlastnostmi a cenou systému. Těmto kritériím je přikládána významně větší důležitost než zbývajícím kritériím. Kritériím reprezentujícím schopnost systému využívat technologie Průmyslu 4.0 je v porovnání s nimi přikládána nižší důležitost. Především schopnosti provozu v cloudu přikládají respondenti významně nižší roli ve srovnání s ostatními kritérii.**

V rámci podrobnějšího zkoumání toho, jaký význam při hodnocení ERP systémů jednotliví respondenti přikládají jejich schopnostem interagovat s jednotlivými technologiemi Průmyslu 4.0, se přirozeně nabízela otázka, zda je tento význam závislý na tom, zda podnik respondenta danou technologii aktuálně využívá. Jinými slovy, zda odpovědi respondentů na otázku č. 29 korelují s příslušnými odpověďmi na otázky č. 5, 10, 14, 18 a 21, diskutovanými v rámci subkapitoly 4.2.2.1.

Existence této závislosti byla opět zkoumána pomocí Spearmanova koeficientu pořadové korelace, počítaného vždy pro příslušnou otázku mapující využívání dané technologie ve vztahu k trojici kritérií souvisejících s touto technologií. Vzhledem k tomu, že při zkoumání aktuálního využívání jednotlivých technologií byla technologie systémové integrace rozdělena na vnitro- a mezipodnikovou integraci (otázky č. 10 a 14), byla i závislost ohodnocení kritérií 6.I. – 6.III. v rámci otázky 27. na míře využití

těchto technologií zkoumána samostatně. Vypočtené hodnoty koeficientu korelace jsou zaznamenány v Tabulce 20:

Tabulka 20: Korelace mezi stávající mírou využívání technologií Průmyslu 4.0 a významem přikládáním jednotlivým kritériím při hodnocení ERP systému

Skupina kritérií	Vnitropodniková systémová integrace			Mezipodniková systémová integrace			Big data		
	6.I.	6.II.	6.III.	6.I.	6.II.	6.III.	7.I.	7.II.	7.III.
r_s	-0.02	0.00	0.29	0.15	0.10	0.18	0.34	0.60	0.40
Skupina kritérií	Cloudové technologie			AIDC					
Kritérium	8.I.	8.II.	8.III.	9.I.	9.II.	9.III.			
r_s	0.50	0.68	0.55	0.22	0.29	0.32			

Zdroj: vlastní zpracování

Jak ukazuje Tabulka 20, korelační koeficient pro míru využívání technologie vnitropodnikové systémové integrace a kritérium 6.II. vyšel nulový a značí tedy, že mezi těmito veličinami neexistuje žádná závislost. Vypočítané hodnoty koeficientu pro ostatní kombinace využívání jednotlivých technologií a jim odpovídajících kritérií byly nenulové, což by vypovídalo o určité míře závislosti, bylo nicméně nutné otestovat, zda se nejedná pouze o zkreslení výběrového souboru. Pro tento test byla opět využita metodika spočívající ve srovnání vypočtených hodnot koeficientů pro jednotlivé kombinace s kritickou hodnotou r_s^* , vypočtenou dle rovnice (6), která pro hladinu významnosti $\alpha = 0.05$ činí v tomto případě 0.20, pro $\alpha = 0.01$ pak 0.29.

Na základě porovnání vypočtených hodnot r_s s kritickou hodnotou r_s^* je tedy možné konstatovat že **existuje statisticky významná pozitivní korelace mezi tím, v jaké míře podnik v současné době využívá technologie Big data, cloudové technologie a technologie pro automatickou identifikace a sběr dat, a tím, jaký význam přikládá schopnostem ERP systému s těmito technologiemi interagovat. Naopak to, zda podnik využívá technologii systémové integrace, nemá na význam, který je schopnosti systému s touto technologií pracovat přikládán, významný vliv.**

Rovněž bylo dále zkoumáno, zda význam, který respondenti přikládají schopnosti ERP systému využívat technologie Průmyslu 4.0, souvisí s tím, nakolik daný respondent vnímá Průmysl 4.0 jako důležitý pro budoucnost svého odvětví, tzn. zda existuje

korelace mezi odpověďmi jednotlivých respondentů na otázku č. 4 a otázku č. 29. Hodnoty Spearmanova koeficientu pro tuto kombinaci dat jsou uvedeny v Tabulce 21:

Tabulka 21: Korelace mezi významem, který přikládá respondent konceptu Průmyslu 4.0 a významem přikládaným jednotlivým kritériím při hodnocení ERP systému

Skupina kritérií	Systémová integrace			Big data			Cloudové technologie			AIDC		
	6.I.	6.II.	6.III.	7.I.	7.II.	7.III.	8.I.	8.II.	8.III.	9.I.	9.II.	9.III.
r_s	0.24	0.23	0.12	0.15	0.20	-0.03	0.20	0.21	0.07	0.07	0.15	0.25

Zdroj: vlastní zpracování

Stejně jako v předchozích případech byly vypočtené hodnoty korelačního koeficientu testovány na statistickou významnost prostřednictvím srovnání s kritickou hodnotou testového kritéria. Z porovnání hodnot v Tabulce 21 s kritickými hodnotami r_s^* , které jsou shodné jako v předchozím případě, vyplývá, že na hladině významnosti 0.05 existuje statisticky významná závislost mezi odpověďmi na otázku č. 4 a významem přikládaným kritériím 6.I., 6.II., 7.II., 8.I., 8.II. a 9.III., jedná se však o slabou závislost. Na hladině významnosti 0.01 není hodnota korelačního koeficientu pro žádnou kombinaci dat statisticky významná. Platí tedy, **že mezi tím, za jak významný považují respondenti Průmysl 4.0 pro budoucnost svého odvětví, a tím, jaký význam přikládají schopnostem ERP systému spolupracovat s jeho technologiemi, existuje dle získaných dat v některých dílčích případech vzájemná závislost. Jedná se nicméně o velmi slabou závislost na hranici statistické chyby, a pro její další zkoumání by bylo vhodné nejprve zvětšit vzorek.**

5 Stávající a plánovaná reflexe Průmyslu 4.0 v ERP systémech

Obsahem této kapitoly je výzkum, jehož cílem bylo získat podklady pro zodpovězení výzkumných otázek **SVO 1.e** a **SVO 1.f**, neboli zjistit, do jaké míry je koncept Průmyslu 4.0 v ERP systémech reflektován, a to jak z pohledu jejich stávajících vlastností, tak z hlediska budoucího rozvoje. Jako metoda byl v tomto případě zvolen výzkumný rozhovor se zástupci dodavatelů ERP systémů nabízených na českém trhu.

5.1 Scénář rozhovoru a logika otázek

Šetření mezi výrobci a dodavateli ERP systémů působícími na českém trhu probíhalo formou **individuálního standardizovaného otevřeného rozhovoru**. Jedná se o typ rozhovoru, při kterém jsou respondenti dotazováni na předem stanovené otázky, které mají otevřený charakter (Hendl & Remr, 2017). Důvodem pro využití tohoto typu rozhovoru byla na jedné straně potřeba zajistit určitou míru strukturovanosti získaných odpovědí a jejich srovnatelnost, na druhé straně pak snaha získat co možná nejkompaktnější pohled na to, jak na zkoumanou problematiku jednotliví výrobci a dodavatelé ERP systémů nahlíží. Standardizovaný otevřený rozhovor se proto v tomto případě jevil jako vhodný kompromis mezi kvantitativním strukturovaným rozhovorem, který přináší vyšší míru strukturovanosti získaných dat, avšak na úkor zjištění skutečných názorů respondentů, a neformálním rozhovorem, který přináší nejširší spektrum informací, zároveň je však v jeho případě problematictější jejich následná analýza (srovnej Hendl & Remr, 2017).

Kompletní znění otázek pro strukturovaný rozhovor je uvedeno v **Příloze 2**. Rozhovor byl rozdělen na 3 části, přičemž části 1 a 3 měly převážně doplňkový charakter. Část 1 zjišťovala obecný přístup daného dodavatele ERP systému k pojmu „Průmysl 4.0“, a sloužila tedy především pro prvotní poznání respondenta. Část 3 potom zjišťovala subjektivní názor respondenta na vliv, který je potenciálními zákazníky při hodnocení jednotlivých kandidátních ERP systémů přikládán jejich schopnosti využívat technologie Průmyslu 4.0, a sloužila jako zdroj doplňujících informací týkajících se výzkumných otázek **SVO 2.e** a **SVO 2.d**.

Druhá, nejrozsáhlejší část rozhovoru, byla věnována současné a budoucí schopnosti ERP systému daného dodavatele interagovat s relevantními technologiemi Průmyslu

4.0, a to jak z hlediska poskytovaných funkcí, tak technické podstaty. Otázky č. 5, 8, 11 a 14 zkoumaly, zda je daný systém schopen již v současné době poskytovat funkcionality týkající se jednotlivých relevantních technologií Průmyslu 4.0, účelem otázek č. 6.a, 9.a, 12.a a 15.a bylo potom poskytnout detailní informace o těchto funkcionalitách. V případě, že by dané funkcionality systémem poskytovány nebyly, zkoumaly otázky č. 6.b, 9.b, 12.b a 15.b důvody jejich absence. Informace získané v rámci těchto otázek tedy popisovaly stávající stav míry reflexe relevantních technologií Průmyslu 4.0 v ERP systémech nabízených na českém trhu, a byly následně použity k zodpovězení **SVO1.e**.

Otázky č. 7, 10, 13 a 16 byly následně zaměřeny na plánované budoucí změny daného ERP systému, ať už z hlediska poskytovaných funkcionalit nebo technické podstaty, které se dotknou možnosti interakce systému s jednotlivými relevantními technologiemi Průmyslu 4.0. Informace získané v jejich rámci tak posloužily pro zodpovězení **SVO1.f**.

Otázka č. 17 byla v rozhovoru zahrnuta z toho důvodu, aby mohl respondent uvést i příklady využití dalších technologií, které subjektivně považuje za součást využití konceptu Průmyslu 4.0 v ERP systému, který zastupoval.

5.2 Základní soubor respondentů, výzkumný vzorek

Základní soubor pro výzkumný rozhovor byl definován jako „dodavatelé ERP systémů aktivně působících na českém trhu, kteří mají vliv na vývoj těchto systémů“. Jednalo se tedy buď o samotné výrobce ERP systémů (v případě původem českých systémů), nebo o jejich významné implementátory, kteří systémy doplňují o vlastní moduly a rozšíření (v případě, že se jednalo o zahraniční systémy, u kterých se nepodařilo kontaktovat výrobce ani jejich české zastoupení).

Jako základní pomůcka pro identifikaci ERP systémů působících na českém trhu byl využit seznam ERP systémů vedený na stránce systemonline.cz, která dlouhodobě mapuje stav českého trhu s informačními systémy (stejný přístup využil např. Basl, 2018b). Tento seznam obsahoval k 16.10.2022, kdy byla data čerpána, celkem 82 systémů. Některé informace, které jsou v seznamu obsaženy, však nejsou přesné a/nebo aktuální. Seznam bylo proto nutné následně očistit o následující případy:

- Systémy, které nebyly a nejsou na českém trhu vůbec aktivně nabízeny, a v ČR se vyskytly pouze v jednotkách případů⁷².
- Systémy, které již byly nahrazeny novými generacemi s jiným obchodním označením, a které tak již nejsou v současné době dodávány⁷³.
- Systémy, které jsou zaměřeny na oblast veřejné správy⁷⁴, nebo na některá úzce specifikovaná odvětví⁷⁵, a které proto nejsou pro segment podniků zpracovatelského průmyslu relevantní.
- Systémy, které se v seznamu vyskytují opakovaně – jedná se o jeden systém, pouze distribuovaný v různých edicích⁷⁶.
- Tzv. „Ekonomické informační systémy“, které jsou jako „ERP“ označovány jejich výrobci pouze z marketingových důvodů (více o této problematice viz Sodomka & Klčová, 2010). Ve skutečnosti se však jedná primárně o systémy zaměřené na účetnictví, které nejsou schopné kompletně pokrýt hlavní podnikové procesy, tzn. výrobu, nákup, prodej a vnitřní logistiku, ekonomiku a procesy související s lidskými zdroji, a nelze je tedy zařadit do kategorie ERP (Sodomka & Klčová, 2010).⁷⁷

Po vyfiltrování výše uvedených případů zbylo v seznamu celkem 30 ERP systémů, které tak tvořily základní soubor pro výzkumné rozhovory⁷⁸. Dodavatelé těchto systémů byli následně osloveni personalizovanými e-mailovými zprávami s žádostí o participaci na výzkumném rozhovoru. V rámci e-mailů bylo vysvětleno, že rozhovoru by se měl zúčastnit pracovník s detailními znalostmi daného produktu, a to jak jeho současných funkcionalit a technické podstaty, tak s přehledem o jeho plánovaném

⁷² Např. systémy abas ERP nebo Jeeves. Typicky se jedná o případy, kdy je daný systém využíván mateřským zahraničním podnikem, a je tedy implementován i do dceřiné firmy. Rovněž sem spadají systémy, které působí výhradně na slovenském trhu, jako je eso/es nebo Garis.

⁷³ Např. Helios Green, který byl nahrazen novou generací označenou jako Helios Nefrit, nebo Microsoft Navision, nahrazený produktem Microsoft Business Central.

⁷⁴ Např. systém Helios Fénix.

⁷⁵ Např. systém IPOS pro stavební výrobu nebo Aquila A2 pro masný průmysl.

⁷⁶ Např. SAP S4/HANA v edici pro privátní a veřejný cloud, nebo různé edice systému INFOR.

⁷⁷ Jedná se např. o známý účetní systém Pohoda, ale i méně často se vyskytující systémy jako Smart4Web, DataInfo apod.

⁷⁸ Je nicméně třeba poznamenat, že i v rámci tohoto výběru se vyskytla řada systémů, které se v současné praxi výběrových řízení na dodávky ERP systémů reálně vůbec nevyskytují, a je tedy otázkou, nakolik jsou ještě aktivně nabízeny a rozvíjeny (např. systémy Bílý motýl, Keloc a další). Protože ale nebylo z veřejně dostupných informací dohledatelné, že byl jejich prodej již ukončen, byli jejich dodavatelé v rámci výzkumu osloveni, aby při stanovení základního souboru nedošlo k subjektivnímu zkrácení.

budoucím vývoji – typicky např. pracovník ve funkci produktového manažera, manažera obchodu, softwarového architekta apod.

S účastí na výzkumu souhlasili zástupci 5 dodavatelů, dále označených jako D1 – D5, kteří dodávají 5 ERP systémů, dále značených S1 – S5:

- D1.** **Algotech, a.s.** je největším českým implementátorem ERP systému **Oracle Cloud Enterprise Resource Planning (S1)**. Rozhovoru se účastnil vedoucí konzultingu.
- D2.** **AIMTEC a.s.** je významným českým implementátorem systému **SAP S4/HANA (S2)**, především pro oblast automotive. Rozhovoru se účastnil vedoucí konzultingu SAPu.
- D3.** **QI GROUP a.s.** je českým tvůrcem a dodavatelem ERP systému **QI (S3)**. Rozhovoru se účastnil vedoucí konzultingu.
- D4.** **KARAT Software a.s.** vyvíjí a implementuje ERP **KARAT (S4)**. Rozhovoru se účastnil produktový manažer.
- D5.** **Beep s.r.o.**, která je tvůrcem modulárního systému **Twist Inspire (S5)**. Rozhovoru se účastnil jednatel společnosti.

S výjimkou jednoho případu probíhaly rozhovory formou videokonference prostřednictvím aplikace Google Meet. Délka rozhovorů činila přibližně 1 hodinu.

5.3 Výsledky výzkumných rozhovorů

Vzhledem ke zvolenému charakteru této části výzkumu jsou výsledkem jednotlivých rozhovorů data kvalitativního charakteru. Získaná data proto v tomto případě nebyla zpracovávána statistickými metodami, ale pouze logickou metodou induktivní analýzy, s cílem vyvodit z konkrétních odpovědí obecnější závěry.

5.3.1 Význam Průmyslu 4.0 v plánování střednědobého rozvoje ERP systémů

Co se týče první části výzkumného rozhovoru, s výjimkou D5 berou všichni ostatní dotazovaní dodavatelé při plánování střednědobého rozvoje funkcionalit svých ERP systémů a návazných řešení koncept Průmyslu 4.0 do úvahy.

Žádný z dotazovaných dodavatelů sice zatím nemá pracovníka dedikovaného výhradně na problematiku Průmyslu 4.0, v případě D2 však existuje speciální oddělení, které se věnuje pouze studiu nových technologií (mezi které technologie Průmyslu 4.0 patří) a zjišťování, zda by tyto technologie bylo možné použít v rámci rozšíření S2 a návazných systémů, které D2 vyvíjí. V případě D3 a D4 není pro tuto problematiku vyhrazeno zvláštní oddělení, ale má ji na starost seniorní odborník se znalostmi jak v oblasti business logiky, tak technologií (D4), respektive oborově zaměřené týmy kombinující konzultanty, vývojáře i obchodníky (D3). Dodavatel D1 poté při plánování rozvoje doplňků S1, které vyvíjí, vychází prioritně ze zájmu zákazníků, kdy jim pravidelně představuje různé nové technologie a zjišťuje, na jaké z nich zákazníci reagují kladně.

Samotné existence konceptu Průmyslu 4.0 jsou si dodavatelé D1 - D4 vědomi již více než 5 let, přičemž D1, D2 a D4 se shodují na tom že zejména v posledních 5 letech využívání tohoto termínu i v prostředí české ekonomiky nabývá na intenzitě⁷⁹. Právě skutečnost, že je Průmyslu 4.0 věnována čím dál větší pozornost, a tím pádem se začínají objevovat i požadavky uživatelů ERP systémů na využití technologií Průmyslu 4.0 v těchto systémech, pak vede dotazované dodavatele k tomu, aby se touto problematikou intenzivněji zabývali.

Požadavky, které v budoucnu poplynou ze čtvrté průmyslové revoluce, se pak D1 - D4 snaží reflektovat i při plánování technických změn svých produktů, na rozdíl od nabízených funkcionalit jsou však v tomto případě více omezeni tím, v jaké fázi vývojového cyklu se jejich produkt aktuálně nachází. Dodavatelé D1, D2 a D4 se zatím snaží pokrývat potřeby Průmyslu 4.0 v rámci evoluce současné generace svých řešení, přestože D2 a D4 připouštějí, že to s sebou nese určitá omezení daná architekturou stávajících systémů. Naproti tomu D3 připravuje zcela novou generaci svého ERP systému, který bude s požadavky Průmyslu 4.0 již v základu počítat (plánuje se např. větší otevřenost systému spojená s důslednějším oddělením prezentační a aplikační logiky), v současné generaci tak již zásadní technické změny neprobíhají.

⁷⁹ D2, který je hodně zaměřen na německy mluvící trhy přitom zdůrazňuje, že v tomto prostředí byla Průmyslu 4.0 pozornost věnována již dříve, což odpovídá skutečnostem diskutovaným v subkapitole 2.2.1.

Výjimkou v první části výzkumného rozhovoru se tak stal pouze dodavatel D5, který se problematikou Průmyslu 4.0 nezabývá ani okrajově, což je dáno jednak menší velikostí dodavatele, jednak jeho zaměřením především na oblast logistiky a obchodu. Průmysl 4.0 přitom D5 považuje⁸⁰ jednak primárně za záležitost výroby, a tedy mimo segment zákazníků, který je hlavní cílovou skupinou jeho systému, jednak za do značné míry módní záležitost, o jejímž dlouhodobém úspěchu není přesvědčen. Z hlediska funkcionálního i technického tak D5 do budoucna plánuje spíše postupný, iterativní vývoj svého systému.

5.3.2 Obsah konceptu Průmysl 4.0

S výjimkou dodavatele D5, který dle svých slov s konceptem Průmyslu 4.0 není detailněji seznámen a proto nechce hodnotit jeho obsah, ostatní dodavatelé souhlasí s jeho vymezením pomocí 10 základních technologií definovaných v subkapitolách 2.3.2. a 2.3.3. Dodavatelé D2 a D4 pozitivně hodnotili přidání technologie AIDC k základním 9 pilířům, a to i přes konstatování, že tato technologie⁸¹ byla využívána ještě před zavedením konceptu Průmyslu 4.0. Dodavatelé D1 – D4 rovněž souhlasili s vyspecifikováním technologií systémové integrace, Big data, cloudu a AIDC jako relevantních pro ERP systémy.

D1 a D3 by navrhovali doplnit k těmto relevantním technologiím i problematiku automatizace procesů, např. prostřednictvím softwarových robotů. D1 potom navíc zdůraznil budoucí význam umělé inteligence a strojového učení, o kterých předpokládá, že se v ERP systémech v dohledné době rovněž uplatní.

5.3.3 Reflexe technologie Big data

Co se týče technologie Big data, všichni respondenti shodně poukazovali na skutečnost, že hranice objemu, od kterého jsou data označována jako „velká“, není jednoznačně vymezena, a je otázkou, zda i data z prostředí naprosté většiny velkých (dle klasifikace EU) průmyslových podniků lze skutečně označovat tímto termínem.

V zásadě je ale možné konstatovat, že systémy dodavatelů D1 – D4 analýzu velkých objemů dat umožňují. Nejlépe jsou na tuto technologii připraveny systémy S1 a S2, v jejichž případě jsou již samotné databáze těchto ERP systémů schopny

⁸⁰ Resp. až do výzkumného rozhovoru považoval.

⁸¹ Ale i některé jiné, např. D4 v tomto ohledu zmiňoval Big data.

pracovat s datovými objemy v řádu terabytů, a které disponují rovněž nástroji, které takovéto objemy dokáží efektivně analyzovat bez zásadních negativních dopadů na rychlost práce ostatních uživatelů v systému. V případě, že by objem dat překročil řád terabytů, a databáze samotných ERP systémů S1 a S2 by pro jejich analýzu již nebyly dostačující, nabízejí oba systémy standardizované napojení na vybrané produkty business intelligence, do kterých je v takovém případě možné data exportovat a transformovat je zde do struktury vhodnější pro analýzu.

Maximální velikost databází provozovaných v systémech S3 a S4 se pohybuje mezi 0.5 a 1 terabytem. V případě S3 jsou takovéto objemy dat zpracovávány pomocí standardních nástrojů od firmy Microsoft⁸², jako je SQL Server Analysis Services, případně PowerBI. S4 umožňuje tyto objemy dat zpracovávat buď pomocí integrovaných OLAP kostek, kterými systém disponuje, nebo v rámci externího produktu business intelligence, do kterého je data možné přenášet. Toto řešení by v případě potřeby umožňovalo i ukládání a analýzu větších objemů dat než 1 terabyte.

Z hlediska preferovaného způsobu práce s daty dodavatel D2 jednoznačně preferuje využití standardních nástrojů S2, dle jeho slov zatím nenarazili na případ, kdy by nebyly dostačující. Dodavatel D4 preferuje využívání svého interního řešení ve všech případech, kdy je třeba analyzovat pouze data z databáze S4. Externí řešení pro business intelligence se tedy snaží využívat pouze v případě, kdy zákazník v jeho rámci požaduje spojení dat z různých systémů. Naproti tomu dodavatel D1 by preferoval spíše využívání externího BI, připouští však, že v praxi (i z finančních důvodů) platí spíše logika nastíněná dodavatelem D4. Dodavatel D3 nabízí pouze jedno řešení.

Dodavatelé D2 a D3 spatřují v oblasti Big data potenciál i do budoucna, předpokládají, že uživatelé ERP systémů budou mít o využívání této technologie zájem. Dodavatel D2 proto v současné době pracuje na vývoji řešení, které umožní sbírat velká data z oblasti výroby, a následně je analyzovat, dodavatel D3 naproti tomu neplánuje technický rozvoj svého systému v této oblasti, již nyní považuje jeho funkcionality za dostatečné. **Dodavatelé D1 a D4 jsou oproti tomu vůči většímu využívání této technologie skeptičtější.** Podle D1 preferují zákazníci před datovými

⁸² Technologie Microsoftu jsou zvoleny proto, že samotný systém S3 je provozován na databázovém stroji Microsoft SQL Server.

analýzami spíše inovace s bezprostředně viditelným dopadem, D4 se naproti tomu domnívá, že schopnost analyzovat (i velká) data považují zákazníci v případě ERP systémů již za standard, nikoliv za konkurenční výhodu. **Z těchto důvodů dodavatelé D1 ani D4 rozvoj svých systémů v oblasti Big data neplánují.**

Přístup dodavatele D5 k technologii Big data je odlišný. Při vývoji systému S5 byl kladen velký důraz na optimalizaci návrhu databáze, díky tomu i databáze velkých podniků se statisíci transakcí ročně zabírají objem maximálně desítek gigabytů. Z tohoto důvodu nepředpokládají, že by v systému S5 mohla velká data vůbec vznikat. Veškeré analýzy dat jsou proto realizovány přímo nad databází ERP systému pomocí nástrojů, které S5 standardně poskytuje, možnost propojení s některým z externích řešení pro BI již v minulosti odmítli jako neperspektivní z obchodního hlediska. Neplánují ani žádný střednědobý vývoj v této oblasti, přestože si uvědomují, že absence takového řešení může představovat do určité míry konkurenční nevýhodu.

5.3.4 Reflexe technologie systémové integrace

Technologie systémové integrace je poměrně široce podporována všemi ERP systémy, jejichž dodavatelé se výzkumu účastnili. Všechny systémy podporují výměnu dat ve standardizovaných formátech EDI, případně ve formě proprietárních textových souborů, jsou-li takové zákazníkem požadovány. Systémy S1, S2, S3 a S4 podporují rovněž formát ISDOC. Systémy S1, S2 a S3 umožňují také integraci prostřednictvím volání vzdálených funkcí, respektive databázových procedur.

Co se týče integrace prostřednictvím API vrstvy ve formě webových služeb typu REST, v zásadě všichni dotazovaní dodavatelé tuto možnost nabízejí, liší se ovšem míra jejich funkcionalit a standardizace. Zatímco v případě systémů S1, S2 a S4 se jedná o standardní součást systému, dodavatelé D3 a D5 jsou schopni tuto funkcionalitu poskytnout, ale konkrétní implementace je vždy připravována na míru danému případu. V případě všech dodavatelů je využívání API vrstvy v současné době preferovaným způsobem integrace, tedy včetně D3 a D5, v jejichž systémech zatím API vrstva není standardizována⁸³. Ostatní způsoby integrace se dodavatelé snaží

⁸³ Dodavatelé D2 a D4 nicméně upozornili, že preference integrace pomocí API vrstvy je v jejich případě oficiální politikou, která ale není vždy dodržována. Zejména služebně starší konzultanti, kteří dlouhou dobu pracovali s dříve používanými technologiemi jako jsou integrační databáze nebo výměna souborů, mají podle nich tendenci tyto technologie využívat i v případě nových projektů.

primárně používat pouze v případech, pro něž není mechanismus webových služeb vhodný z technických důvodů – dodavatel D2 zde zmiňoval například čerpání dat ze systémů pro řízení výroby, případně i ze samotných výrobních strojů a zařízení, kde hrozí, že data z výroby přicházejí rychleji, než je webové služby dokáží zpracovat.

Všichni dotazovaní dodavatelé se shodli rovněž na tom, že schopnost ERP systému integrovat se s jinými softwary, a to jak v rámci firmy, tak napříč dodavatelsko-odběratelským řetězcem, bude hrát při implementaci ERP systémů velmi důležitou roli i v budoucnu. **Z tohoto důvodu chystají ve střednědobém horizontu i další rozvoj v této oblasti.** V případě dodavatelů D1 a D3 by se mělo jednat o rozvoj funkcionalit samotných systémů. **Dodavatel D3 plánuje vytvořit standardizované REST API, neboť D3 si uvědomuje, že jeho dosavadní absence je konkurenční nevýhodou systému S3.** Dodavatel D1 pak plánuje tvorbu tzn. cloudových integračních služeb na platformě Business Technology Platform poskytované SAPem, které by měly dále zjednodušit integrace ostatních systémů se SAPem.

Dodavatelé D2 a D4 se pak plánují zaměřit spíše na procesní stránku nasazování systémové integrace s cílem tento proces zjednodušit a zefektivnit. Dodavatel D4 se v posledních letech zabýval jednak zlepšováním administrativního nástroje pro nastavování API, jednak tvorbou standardizovaných šablon, aby tak co nejvíce zjednodušil nastavení API u konkrétního zákazníka. V rozvoji těchto šablon plánuje ve střednědobém horizontu pokračovat. Dodavatel D2 pak chce zefektivnění implementace systémové integrace dosáhnout především školením svých zaměstnanců, které by mělo zlepšit jejich kompetence v této oblasti.

Co se týče dodavatele D5, i ten chápe systémovou integraci jako jednu z oblastí, ve které by chtěl dále rozvíjet schopnosti svého systému. Zatím je však pouze ve fázi úvah o tom, jaké funkcionality v této oblasti by měly být do S5 doplněny, o konkrétním plánu jejich vývoje dosud nebylo rozhodnuto.

5.3.5 Reflexe technologie cloud computingu

Z hlediska cloudových technologií je možné zkoumané systémy rozdělit na dvě skupiny. První skupinu tvoří systémy S1 a S2, tzn. **celosvětově rozšířené systémy zahraničního původu určené primárně pro velké podniky.** **Současné generace těchto systémů jsou již primárně navrženy pro provoz v cloudu hostovaném přímo v datacentrech výrobců daných ERP systémů,** alternativně oba systémy

nabízejí i možnost hostování v privátním, respektive hybridním cloudu. Uživatelé s těmito systémy pracují pomocí webových klientů⁸⁴, tzn. z prostředí internetového prohlížeče. Tyto klienty představují pouze prezentační vrstvu, zatímco aplikační logiku zajišťují serverové komponenty. Z architektonického hlediska jsou S1 a S2 na pomezí třívrstvé aplikace a SOA architektury.

Druhá skupina je potom tvořena tuzemskými systémy orientovanými na segment středních a velkých podniků, tzn. S3, S4 a S5. I tyto systémy jsou v zásadě schopné provozu v cloudu, byly však navrženy jako on-premise řešení, z čehož vyplývají určitá omezení. Cloud je v jejich případě fakticky využíván jako vzdálený hosting v prostředí datacentra, architektura těchto systémů však není navržena tak, aby umožňovala distribuci aplikační logiky na více serverů a tím plně využívala potenciálu cloud computingu. Vzhledem k tomu, že byly tyto systémy navrženy jako on-premise, rovněž v současné době neobsahují plnohodnotné webové klienty. Pro komunikaci s aplikačním serverem a databází umístěnými v cloudu je proto u těchto systémů nezbytné využívat desktopové klienty, což s sebou (oproti využívání webových klientů) nese nutnost administrace těchto klientů na pracovních stanicích jednotlivých uživatelů⁸⁵.

Rozdílu v připravenosti těchto dvou skupin systémů na cloudové prostředí odpovídá i preference využívání cloudu ze strany dodavatelů. Zatímco D1 a D2 novým zákazníkům jednoznačně doporučují provoz ERP systému v cloudu a instalace na hardwarové prostředky zákazníka se snaží minimalizovat, D3 a D5 nechávají rozhodnutí zcela na zákazníkovi. Dodavatel D4 potom i u nových instalací preferuje on-premise řešení, cloud využívají spíše pro potřeby zálohování dat.

Co se týče střednědobých plánů rozvoje, dodavatelé D1 a D2 očekávají v tomto horizontu významný nárůst zájmu zákazníků o provoz ERP systémů v cloudu, a plánují proto dále rozvíjet schopnosti systémů a jejich úprav, které dodávají, v této oblasti. V případě D1 se jedná o vývoj cloudových aplikací pro řešení různých specifických agend, které budou komunikovat s vlastním jádrem systému S1 prostřednictvím standardizované systémové integrace. D2 se pak zabývá vývojem

⁸⁴ Desktopové klienty již v případě těchto systémů nejsou pro běžný provoz podporovány.

⁸⁵ V některých případech je pak i nezbytné využití terminálových služeb, což znamená další negativní efekty v podobě nákladů na licence těchto služeb, snížení uživatelského komfortu apod.

administrativního rozhraní, které usnadní správu jednotlivých instancí systému provozovaných v cloudu.

Dodavatelé D3 a D4 jsou si potom vědomi toho, že absence plnohodnotného webového klienta u jejich systémů neumožňuje plně využít některé z výhod cloudového hostingu, především v oblasti jednoduchého zprovoznování systému na nových pracovních stanicích, snadné administrace apod. **Z tohoto důvodu zahrnují vývoj plnohodnotného webového klienta do svých střednědobých plánů.** Určité konkurenční nevýhody plynoucí z neexistence webového klienta si je vědom i dodavatel D5, rozhodnutí o jeho vývoji ale zatím nepadlo. **Dodavatel D4 pak výhledově plánuje i celkovou změnu technické koncepce systému na primárně cloudovou aplikaci**, obdobně jako je tomu u S1 a S2, tato změna však může přesáhnout horizont střednědobého vývoje. Je tedy možné konstatovat, že z dodavatelů českých ERP systémů plánuje největší rozvoj v oblasti cloudu právě D4, což je způsobeno tím, že právě tento dodavatel do budoucna očekává rostoucí zájem zákazníků o cloudové ERP systémy. Naopak dodavatelé D3 a D5 zatím rostoucí poptávku po hostingu ERP systémů v cloudu nevnímají a domnívají se, že tržní podíl cloudového ERP bude v budoucnu spíše stabilní.

5.3.6 Reflexe technologie AIDC

V oblasti automatické identifikace a sběru dat **podporují všechny systémy možnost sběru dat z oblasti logistiky prostřednictvím načítání čárových a QR kódů. Všechny systémy tedy obsahují datové struktury nutné pro identifikaci jednotlivých reálných objektů strojově čitelným identifikátorem**, přičemž samotné čtení kódů zajišťují dodavatelé D1 – D4 pomocí vlastního řešení nativně napojeného na daný ERP systém, v případě systému S5 je pak pro čtení kódů využívána externí WMS aplikace od partnera. Dotazovaní dodavatelé se v tomto případě shodují na tom, že identifikace fyzických objektů prostřednictvím čárových kódů je vhodná pro naprostou většinu podniků⁸⁶, a její využití se proto při implementaci svých systémů u nových zákazníků snaží aktivně navrhopvat.

Co se týče ostatních technologií automatické identifikace a sběru dat o pozici fyzických objektů, dodavatelé D1, D2 a D3 pro tyto potřeby rovněž v některých případech

⁸⁶ Přestože zároveň poznamenávají, že některé podniky vkládají do implementace čárových kódů do logistiky přehnané naděje, a zdůrazňují, že čárové kódy samy o sobě efektivní skladové hospodářství nezajistí.

úspěšně využívají technologii RFID, dodavatel D4 tuto technologii zatím pouze testoval. Dodavatel D2 je pak pro sledování pozice objektů ve skladech schopen do svého systému zakomponovat i partnerské řešení, které pro tyto účely využívá technologii UWB, zatímco dodavatel D1 má v tomto ohledu zkušenosti s využitím kamerových záznamů.

Automatické získávání dat z dokumentů pomocí jejich vytěžování technologií pro rozpoznávání obrazu (OCR) je podporováno systémy S1 – S4. Nejedná se nicméně o funkcionalitu poskytovanou přímo daným ERP systémem, samotné vytěžovací nástroje jsou poskytovány specializovanými dodavateli. Systémy S1 – S4 s těmito nástroji spolupracují formou systémové integrace. V procesu jednání s partnerem, který by byl schopen poskytnout vytěžovací nástroj, je i dodavatel D5, tato jednání však zatím nejsou uzavřena a systém S5 tak zatím vytěžování dokumentů přes OCR neumožňuje. Určitou překážkou je v tomto případě i skepse dodavatele D5 ohledně přesnosti a spolehlivosti samotného vytěžování. Tuto skepsi do značné míry sdílí i dodavatel D4, a to i přesto, že řešení OCR je v jeho systému již integrováno. Naopak dodavatelé D2 a D3 jsou přesvědčení o vhodnosti využití této technologie v rámci ERP systémů.

Ve střednědobém horizontu se dodavatelé D1 a D4 plánují při rozvoji svého systému zaměřit na sběr dat z výroby, v případě D4 prostřednictvím rozvoje MES řešení napojeného na S4, v případě D1 pak vývojem řešení pro přímé získávání dat z výrobních strojů a zařízení. Dodavatel D2 má potom v plánu pokračovat v rozvoji integrace s technologií UWB s cílem dále zefektivnit logistiku ve skladech. **Dodavatelé D3 a D5 plánují rovněž rozvoj schopností svých systémů v oblasti OCR –** v případě D5 by se mělo jednat o tvorbu propojení S5 s integračním nástrojem, v případě D3 pak o zlepšení již existujícího propojení.

5.3.7 Reflexe ostatních technologií Průmyslu 4.0 v ERP systémech respondentů

V rámci otázky, která dávala zástupcům dodavatelů příležitost představit další moderní technologie, které do svých systémů integrují, zmínil dodavatel D1 využití umělé inteligence a strojového učení. Tuto technologii mají v plánu využívat především pro potřeby analýzy velkých objemů dat, v současné době testují její využití jednak v oblasti odběratelsko-dodavatelských vztahů, kde může sloužit například pro predikci

poptávky na základě historických dat nebo k identifikaci nesprávných objednávek od obchodních partnerů, jednak v oblasti údržby strojů a zařízení, kde by mohla být využívána pro predikci servisních zásahů ještě před tím, než se závada projeví.

Dodavatel D2 pak jako moderní technologii, kterou se snaží rozvíjet, uvedl oblast elektronického vzdělávání a e-learningu, které by podle něj měly postupně zcela nahradit papírové manuály.

Ostatní dodavatelé žádnou další technologii nad rámec čtyř zkoumaných oblastí, kterou by ve svých systémech rozvíjeli, nevedli.

5.3.8 Význam schopnosti systému interagovat s technologiemi Průmyslu 4.0 z pohledu dodavatelů

Odpovědi na otázku, zda zástupci dodavatelů ERP systémů pozorují, že by schopnost systému interagovat s některou ze zkoumaných technologií hrála při rozhodování potenciálních zákazníků významnou roli, byly smíšené.

Podle dodavatelů D2 a D3 se požadavky na oblast moderních technologií v rámci výběrových řízení v současné době sice v některých případech objevují, je jim však přikládána menší důležitost než tradičním kritériím jako je cena nebo uživatelská přívětivost. V některých případech rovněž dochází k tomu, že potenciální zákazník sice takový požadavek v zadávací dokumentaci uvede, není však následně schopen vyspecifikovat jeho přesný obsah, ani to, k čemu by danou technologií následně využíval. Z pohledu těchto dodavatelů se jedná spíše o poptávku indukovanou⁸⁷ než skutečnou. S tímto pohledem souhlasí i D5, který dodává, že tento typ požadavků pozoruje především u zástupců mladší generace.

Zkušenosti dodavatelů D1 a D4 jsou odlišné. Dle D1 potenciální zákazníci často nepoptávají konkrétní technologii, schopnost systému pracovat s moderními technologiemi je ale zajímavá z toho důvodu, aby si ověřili, že se systém přizpůsobuje obecnému technologickému vývoji, a že se tedy bude schopen přizpůsobovat i těm potřebám zákazníka, které v důsledku tohoto vývoje teprve v budoucnu nastanou. Dodavatel D4 pak již v rámci výběrových řízení pozoruje i pravidelný výskyt konkrétních požadavků týkajících se moderních technologií, především se jedná o

⁸⁷ Např. ze strany sdělovacích prostředků nebo konzultantů výběru ERP systému, které si daný potenciální zákazník najímá.

schopnost systému sbírat data z logistických a výrobních procesů prostřednictvím AIDC a o vytěžování dokumentů pomocí OCR. Pozoruje rovněž rostoucí počet dotazů na možnost provozu systému v cloudu, zatím se ale jedná spíše o informativní dotazy než reálné poptávky. Rovněž se dle jeho zkušeností objevují první informativní dotazy na podporu rozšířené reality.

6 Model umožňující posoudit připravenost ERP systému na fungování v prostředí Průmyslu 4.0

Tato kapitola představuje návrh modelu zkonstruovaného na základě výsledků výzkumu popsaného v kapitolách 3, 4 a 5, který by měl umožnit strukturovanou formou posoudit, nakolik je určitý ERP systém připraven na výzvy, které souvisí s jeho provozem v prostředí Průmyslu 4.0. Model by díky tomu měl být využitelný jednak jako rozhodovací pomůcka při procesu výběru ERP systému koncovým zákazníkem, jednak jako podklad pro produktové manažery dodavatelů ERP systémů, který jim pomůže identifikovat, na jaké oblasti by se měli při dalším vývoji svého systému zaměřit.

6.1 Modely zralosti

Pro posouzení toho, nakolik je určitá entita (např. organizace nebo její konkrétní proces) připravena na určitý typ výzev (např. v podobě implementace nových technologií nebo zajištění požadované kvality daného procesu) se často využívají tzv. „modely zralosti“ (z anglického *maturity models*). Tyto modely vycházejí z tradice *Capability Maturity Modelu*, který byl od konce 80. let 20. století využíván Ministerstvem obrany USA pro hodnocení schopností potenciálních dodavatelů software, a následně oficiálně v úplnosti publikován v roce 1993 Institutem softwarového inženýrství při Carnegie Mellon University⁸⁸ (Paulk et al., 1993).

Základní myšlenka modelů zralosti předpokládá, že se entity vyvíjejí postupným evolučním způsobem po předem známé trajektorii (Becker et al., 2009; Gottschalk, 2009), která je v modelu zpravidla reprezentována několika diskrétními vývojovými stupni, jimiž entita postupně prochází⁸⁹. „Zralost“, která je v souvislosti s těmito modely obecně charakterizována jako „stav úplnosti, dokonalosti nebo připravenosti“ (Lahrmann et al., 2011; Schumacher et al., 2016; Teichert, 2019), je přitom jedním z rozměrů modelu. Ostatní rozměry⁹⁰ potom obsahují tzv. dimenze, v jejichž rámci je

⁸⁸ Později byl tento model dále rozvíjen, zároveň však byly ve druhé polovině 90. let 20. století zahájeny práce na jeho nástupci. Tím se stal *Capability Maturity Model Integration*, jehož první verze byla publikována v roce 2002.

⁸⁹ Existují nicméně i modely zralosti s kontinuální interpretací vývoje.

⁹⁰ Nejčastěji se vyskytují dvourozměrné modely, graficky reprezentované jako matice, kdy jeden rozměr představuje zralost, zatímco ve druhém rozměru jsou soustředěny jednotlivé dimenze pro posuzování zralosti. Existují však i modely s více rozměry, např. v kapitole 2.3.1 popisovaný model RAMI 4.0 je někdy rovněž řazen mezi modely zralosti (viz např. Basl, 2018a).

zralost posuzována – tzn. de facto oblasti kritérií, míra jejichž plnění rozhoduje o zařazení entity do určitého stupně zralosti (Pöppelbuss & Röglinger, 2011; Proenca & Borbinha, 2016). Modely zralosti tak mohou sloužit jako poměrně jednoduchá a názorná analytická a rozhodovací pomůcka, která plní následující trojici funkcí (de Bruin et al., 2005; McCormack et al., 2009):

- **Deskriptivní**, kdy model slouží jako diagnostická pomůcka určená k posouzení toho, v jakém stavu zralosti se zkoumaná entita aktuálně nachází.
- **Komparativní**, která představuje možnost srovnání zralosti různých entit stejného druhu na základě jejich posouzení modelem.
- **Preskriptivní**, v jejímž rámci model umožňuje identifikovat, jaké podmínky musí entita splnit pro posun do následující fáze zralosti, a tedy i stanovit konkrétní kroky, které je pro jejich splnění nezbytné vykonat.

Právě tento zjednodušující přístup, díky kterému jsou modely zralosti někdy pejorativně označovány jako „recepty krok za krokem“ (McCormack et al., 2009; Pöppelbuss & Röglinger, 2011), je na druhou stranu častým předmětem kritiky. Proenca & Borbinha (2016) shrnují nejčastěji kritizované problematické partie modelů zralosti v následujícím seznamu:

1. Modely zralosti obvykle postrádají solidní teoretický základ
2. Nejsou poskytnuty dostatečné informace o tom, na základě jakého postupu byly jednotlivé modely zralosti vyvinuty
3. Některé z existujících modelů se od sebe prakticky neliší a vzájemně se překrývají
4. Modely předpokládají právě jednu trajektorie vývoje, přičemž na možné alternativní cesty neberou zřetel
5. Modely jsou příliš zjednodušené oproti realitě
6. Využitelnost modelů může být v praxi limitována interními (např. schopnosti zaměstnanců, existující vztahy s dodavateli) i externími faktory (např. aktuální podmínky na trhu), které však v rámci modelů nejsou uvažovány

Pro omezení dopadu těchto problematických prvků na výpovědní schopnost daného modelu doporučují Proenca & Borbinha (2016) iterativní vývoj a zpřesňování modelu

na základě průběžné evaluace, a rovněž komparace s ostatními modely stejného typu⁹¹.

I přes tuto kritiku se nicméně modely zralosti, v neposlední řadě právě díky své jednoduchosti a názornosti, staly v podnikové praxi i v oblasti akademické diskuse velmi populární. Již v roce 2007 tak de Bruin & Roseman (2007) uvádějí existenci více než 150 různých modelů tohoto typu, a i v následujících letech měl počet publikací, které se jimi zabývaly, poměrně silně rostoucí trend (detailněji viz Reis et al., 2017). Kromě samotného počtu modelů zralosti zároveň průběžně narůstá i šíře témat, které jsou jimi pokryty (Pöppelbuss & Röglinger, 2011; Schumacher et al., 2016).

6.2 Zralost podnikových informačních systémů v prostředí Průmyslu 4.0

Se vznikem konceptu Průmyslu 4.0 a rozvojem digitalizace obecně se záhy začaly objevovat rovněž modely, ve kterých je zralost chápána jako připravenost určité entity na výzvy s těmito fenomény spjatými. Jak nicméně ukazují přehledové studie Basl (2018a), Felch et. al (2019), Angreani et al. (2020) nebo Senna et al. (2023)⁹², většina takových modelů se zabývá zralostí podniku jako celku, případně jeho řídicích procesů. Problematika informačních systémů, respektive technologií obecně, v nich zpravidla vystupuje pouze jako jedna z dimenzí sloužících pro posuzování zralosti, společně s dalšími dimenzemi týkajícími se např. strategie, leadershipu, podnikové kultury, lidských zdrojů nebo vztahů k zákazníkům.

Naproti tomu modely, ve kterých není připravenost informační infrastruktury podniku na prostředí Průmyslu 4.0 pouze jednou z dimenzí sloužících jako dílčí kritérium pro posouzení celkové zralosti dané firmy, ale je posuzovaným fenoménem sama o sobě, se vyskytují jen zřídka. Nejčastěji je v této souvislosti v odborné literatuře citován model SIMMI 4.0 (z anglického *System Integration Maturity Model Industry 4.0*, neboli „Model zralosti systémové integrace Průmyslu 4.0“) představený v roce roku 2016

⁹¹ Přestože je otázkou, zda některé v seznamu uvedené problematické prvky (např. pátý bod týkající se zjednodušení nebo šestý bod, který upozorňuje na omezenou praktickou aplikovatelnost) nejsou dány již samotnou podstatou vztahu teoretických konceptů, které jsou přirozeně zpravidla do určité míry zobecněné, a podnikové praxe, ve které je určitá skutečnost vždy zasazena do konkrétního specifického rámce, a zda je tedy vůbec možné tento rozpor navrženou metodou zcela odstranit.

⁹² Basl (2018a) uvádí příklad 18 takových modelů, Felch et. al (2019) 20 takto zaměřených modelů zralosti (z toho 10 vědeckého původu a 10 modelů vytvořených konzultačními firmami pro potřeby praxe), Angreani et al. (2020) rovněž 20 modelů a nejnovější práce Senna et al. (2023) pak dokonce 55 modelů zralosti ve vztahu k problematice digitalizace a Průmyslu 4.0

autorským kolektivem z univerzit v Drážďanech a Heilbronnu (více viz Leyh et al., 2016). Při jeho konstrukci autoři nejprve na základě rozboru existující literatury shrnuli požadavky, které by měla soustava informačních systémů podniku pro provoz v prostředí Průmyslu 4.0 splňovat. Jako tyto požadavky byly identifikovány (srv. Leyh et al., 2016):

1. Vertikální systémová integrace využívaných informačních systémů.
2. Horizontální systémová integrace využívaných informačních systémů.
3. Poskytování kontinuální informační podpory během celého životního cyklu produktu (tzn. de facto end-to-end systémová integrace).
4. Využívání architektury zaměřené na služby.
5. Využívání cloudových technologií.
6. Schopnost zajištění obousměrného toku dat, spočívajícího jak v získávání dat o průběhu fyzických procesů a jejich následném zpracování a agregaci v centrálním informačním systému (typicky ERP), tak v následné distribuci rozhodnutí učiněných na základě těchto dat zpět na úroveň řízení fyzických procesů.
7. Důsledné zajištění kybernetické bezpečnosti na všech úrovních informační infrastruktury podniku.

Na základě těchto požadavků stanovili autoři 4 dimenze pro posuzování zralosti, přičemž první tři navržené dimenze - vertikální systémová integrace, horizontální systémová integrace a digitální vývoj produktu - reflektují požadavky 1. – 3. z výše uvedeného seznamu, zatímco čtvrtá dimenze průřezových technologií v sobě shrnuje zbývající požadavky. Míra zralosti informační infrastruktury podniku ve vztahu k Průmyslu 4.0 je poté v modelu reprezentována pěti stupni, které postupují od úvodního stupně „základní digitalizace“, charakterizovaného nedostatečně digitalizovanými procesy, které nejsou vzájemně datově integrovány buď vůbec, nebo pouze ojediněle prostřednictvím proprietárních řešení, až k nejvyššímu stupni optimalizované kompletní digitalizace, který se vyznačuje komplexní digitalizací procesů a jejich propojením nejen uvnitř firmy, ale i navenek ve vztahu k ostatním členům dodavatelsko-odběratelského řetězce.

Jiný, ačkoliv velmi podobný model sloužící pro posouzení míry zralosti celého kyberfyzického systému podniku, potom představili Westermann & Dumitrescu (2018). Jejich model hodnotí zralost ve vztahu k moderním technologiím Průmyslu 4.0 jednak

na úrovni jednotlivých komponent (tzn. v terminologii modelů zralosti de facto dimenzí), kdy rozlišuje komponenty vertikální a horizontální systémové integrace, konektivity (ve smyslu možností komunikace nabízených jednotlivými prvky CPS), síťového propojení (ve smyslu existující komunikace jednotlivých prvků mezi sebou i s vnějším světem) a zabezpečení, jednak na úrovni kyber-fyzického systému jako celku, přičemž tato celková zralost je odvozena od míry zralosti jednotlivých komponent. Míra dílčí i celkové zralosti je podobně jako v modelu SIMMI 4.0 reprezentována pětistupňovou škálou, rovněž charakteristika jednotlivých stupňů je tomuto modelu do značné míry podobná.

Oba výše zmíněné modely se nicméně zaměřují na problematiku informační infrastruktury firmy jako celku. Spíše než na konkrétní vlastnosti jednotlivých informačních systémů se tak soustředí na vzájemné vztahy mezi nimi a na technologie obecně využívané napříč celým podnikem. Jejich potenciální využití pro posouzení připravenosti konkrétního ERP systému na prostředí Průmyslu 4.0 je proto problematické.

Basl & Nováková (2019) proto pro tyto účely navrhli „Model zralosti ERP 4.0“. Termín „ERP 4.0“ chápou jako ERP systém poskytující funkcionality nezbytné pro Průmysl 4.0, což jinými slovy znamená, že je schopen využívat technologie, které jsou s Průmyslem 4.0 spojené. Jako nejvýznamnější takové technologie identifikovali autoři využívání cloudu, internetu věcí a umělé inteligence, za další relevantní technologie pak bylo označeno využívání technologií digitálního dvojčete, blockchainu a hlasového ovládání ERP systému. Díky využívání těchto technologií se mají podle Basla & Novákové (2019) zvýšit schopnosti ERP systémů především v oblastech plánování podnikových zdrojů, podpory rozhodovacích procesů, sdílení informací a v oblasti automatizace a robotizace podnikových procesů.

Na základě identifikovaných technologických trendů na straně jedné a oblastí, v nichž by mělo dojít ke zvýšení schopností ERP systémů, na straně druhé, navrhli Basl & Nováková (2019) čtyři dimenze zralosti systému ERP 4.0, které jsou úzce spjaty s využíváním konkrétních technologií:

- 1. Model poskytování a provozu ERP systému.** V této dimenzi je reflektován technologický trend využívání cloudu.

2. **Integrace technologických trendů Průmyslu 4.0**, přičemž do těchto trendů autoři řadí široké spektrum technologií jako je internet věcí, digitální dvojče, podpora mobilních zařízení, ale i kvantové výpočty apod.
3. **Vylepšení základních funkcionalit ERP systému v oblasti plánování a podpory rozhodovacích procesů**. V této dimenzi je zahrnuta potřeba interakce ERP systému s technologií umělé inteligence, která by měla sloužit jako nástroj vyhodnocování dat.
4. **Podpora digitalizace, automatizace a robotizace podnikových procesů**, kdy i tato dimenze stejně jako předchozí souvisí s využíváním technologie umělé inteligence.

Vývoj zralosti podniku, mapovaný na základě uvedených čtyř dimenzí, je v modelu reprezentován šesti stupni. Úvodní stupeň nicméně představuje nultou úroveň zralosti, tzn. tradiční ERP systém bez jakýchkoliv funkcionalit spojených s Průmyslem 4.0. Samotný rozvoj systému v souladu s konceptem ERP 4.0 tak představuje až zbývajících pět vývojových stupňů zralosti. Celý model je znázorněn na Obrázku 17:

Obrázek 17: Model zralosti ERP 4.0

	Business Model – on promise/cloud	Technology – 4.0 trends	Data – planning and decision support	Processes – digitization and automation
0	Own solution	Based on relational database	Data integration within ERP	Basic ERP processes automated
1	Partly own, partly on promise	Internet connection, mobility of solutions	Data integration with other application	Some new processes digitized and automated
2	Complex on promise	In memory computing	Data analysis	Some new 4.0 processes digitized and automated
3	On promise, partly cloud	Social integration, mobile solutions	Business Intelligence (BI)	Selected new 4.0 processes digitized and automated
4	Complex as a service	IoT, digital twin	Competitive Intelligence	All key 4.0 processes full automated
5	Complex cloud solution	Blockchain, edge computing, quantum computing	Artificial Intelligence (AI) RPA	All business processes full automated

Zdroj: Basl & Nováková (2019)

Jak je z obrázku 17 patrné, model Basla & Novákové (2019) posuzuje míru zralosti ERP 4.0 systému v jednotlivých dimenzích na základě využívání konkrétních technologií, které jsou s danou dimenzí spjaty. Na základě komparace tohoto modelu s výsledky výzkumu představeného v předchozích kapitolách této disertační práce je

nicméně možné konstatovat, že nereflkuje plně veškeré požadavky, které jsou v oblasti interakce s jednotlivými technologiemi Průmyslu 4.0 na ERP systémy Čtvrtou průmyslovou revolucí kladeny.

Na jedné straně model některé technologie opomíjí. Jakožto samostatná dimenze v něm absentuje problematika systémové integrace, jejíž široké využití bylo přitom v rámci výzkumu prezentovaného v kapitolách 4 a 5 této práce potvrzeno jak uživateli ERP systémů, tak jejich dodavateli, přičemž o jejím významu pro oblast ERP systémů svědčí i výsledky systematické rešerše představené v kapitole 3. Tato technologie se v modelu vyskytuje pouze souhrnně jako jeden ze stupňů zralosti třetí dimenze týkající se podpory plánování a rozhodování, aniž by byla dále detailněji členěna. Podobně problematika automatické identifikace a sběru dat, která byla na základě analýzy v kapitole 3.2 rovněž vymezena pro problematiku ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 jako relevantní, je v práci Basla & Novákové (2019) sice zmíněna ve vztahu k druhé dimenzi „Integrace technologických trendů Průmyslu 4.0“, v modelu samotném však není její pozice explicitně vymezena.

Naproti tomu jsou v dimenzi „technologických trendů Průmyslu 4.0“ v rámci modelu uvedeny i technologie, které jsou jinak v odborné literatuře s problematikou ERP systémů v prostředí Průmyslu 4.0 spojovány spíše výjimečně – jedná se např. o blockchain, který se v rámci systematické rešerše literatury představené v kapitole 3.1 vyskytl pouze ve 3 člancích ze 74 zkoumaných prací, a o kvantové výpočty, které se v relevantní literatuře neobjevily vůbec⁹³.

Kromě vymezení samotných dimenzí se pak v modelu Basla & Novákové (2019) jako do určité míry problematika může jevit jejich struktura. V modelu neplatí rovnítko mezi technologií a dimenzí, a především v dimenzi „technologických trendů Průmyslu 4.0“ jsou tak v různých stupních zralosti soustředěny technologie zcela odlišného charakteru. Dochází tak k paradoxní situaci, kdy např. využívání technologie blockchain ERP systémem je v modelu znakem vyššího stupně zralosti než využívání technologie digitálního dvojčete, přestože obě tyto technologie jsou zaměřeny odlišně

⁹³ Přičemž vzhledem ke stávajícímu stavu výzkumu kvantových počítačů, kdy se dosud jedná pouze o experimentální stroje testované pomocí specifických úloh je otázkou, zda je tato technologie v současné době pro oblast podnikových informačních systémů vůbec relevantní.

a vzájemně spolu nijak nesouvisí – nelze proto ani tvrdit, že první jmenovaná technologie je z hlediska vývoje nadřazena technologii druhé.

6.3 Návrh modelu zralosti ERP systému ve vztahu k Průmyslu 4.0

Výše zmíněné problematické prvky modelu Basla & Novákové (2019) do určité míry limitují jeho praktickou využitelnost pro posouzení zralosti ERP systému ve vztahu k prostředí Průmyslu 4.0, neboť model na jedné straně do hodnocení zahrnuje i prvky, které nejsou ve vztahu k ERP systémům relevantní, zatímco na straně druhé některé podstatné prvky naopak opomíjí. Cílem této kapitoly je proto představit **revidovaný model zralosti ERP systémů ve vztahu k technologiím Průmyslu 4.0**, který reflektuje výsledky výzkumu popsaného v kapitolách 3, 4 a 5 této disertační práce, a v jehož rámci tak budou výše diskutované problematické body eliminovány.

6.3.1 Konstrukce modelu

Jako dimenze revidovaného modelu byly zvoleny ty technologie Průmyslu 4.0, které byly na základě realizované systematické rešerše popsané v subkapitole 3.1 a následné deduktivní analýzy, jejíž výsledky shrnuje subkapitola 3.2, vyhodnoceny jako relevantní pro oblast ERP systémů. Model tedy obsahuje 4 dimenze odpovídající technologiím velkých dat, systémové integrace, cloudu a automatické identifikace a sběru dat. Míra zralosti systémů ve vztahu k těmto technologiím je vyjádřena pětistupňovou škálou, obdobně jako je tomu v modelu SIMMI 4.0 nebo v příbuzném modelu Westermanna & Dumitrescu (2018), přičemž nejvyšší stupeň zralosti představuje optimální stav, ve kterém je ERP systém schopen plně využívat potenciál dané technologie⁹⁴. Oproti těmto modelům však byl po vzoru práce Basla & Novákové (2019) doplněn nultý stupeň představující stav, kdy ERP systém interakci s danou technologií vůbec neumožňuje.

Při definici postupu mezi těmito extrémními stavy, reprezentovaného stupni zralosti 1 – 4, byly potom využity informace získané ze studia historického vývoje ERP systémů, popsaného v subkapitole 2.1, z analýzy vlastností ERP systémů potřebných k jejich

⁹⁴ Je nicméně třeba upozornit, že toto tvrzení je přirozeně vždy poplatné aktuálnímu stavu diskutované technologie. V případě, že by se v budoucnu možnosti dané technologie dále rozvinuly, přičemž tento rozvoj by ovlivnil i problematiku interakce dané technologie s ERP systémy, bylo by nutné této skutečnosti přizpůsobit i definici maximálního stupně zralosti ERP systému ve vztahu k takové technologii.

úspěšné interakci s jednotlivými technologiemi Průmyslu 4.0, diskutované v subkapitole 3.3, a především pak z realizovaných výzkumných rozhovorů představených v kapitole 5. V rámci těchto rozhovorů byl s jednotlivými dodavateli ERP systémů diskutován jak historický vývoj a současný stav funkcionalit, které jejich systémy ve vztahu k jednotlivým zkoumaným technologiím Průmyslu 4.0 nabízí, tak plány na další rozšiřování těchto funkcionalit v budoucnu. Definice konkrétních stupňů zralosti ve vztahu k jednotlivým technologiím Průmyslu 4.0 byly následně konstruovány na základě těch již absolvovaných nebo v budoucnu plánovaných vývojových stádií ERP systémů, která se napříč zkoumanými systémy vyskytovala opakovaně.

U dimenze **big data** začíná vývoj zralosti úvodním stádiem, představovaným stupněm 1, kdy se dodavatelé ERP systémů zpravidla snažili pro tyto účely využít základní databázi svého software, která však pro tyto účely nebyla uzpůsobena. To s sebou nese různá omezení jednak na úrovni výkonu takového řešení, jednak na úrovni nabízených funkcionalit. Postupně tak v ERP systémech vznikaly specializované moduly pro provádění pokročilé datové analýzy nad transakční databází systému, jejichž existence představuje 2. stupeň zralosti. I při používání těchto modulů však v případě výskytu velkých dat zůstávají problémy s výkonem, neboť databáze ERP systému, vzhledem ke své struktuře s velkým množstvím vzájemných vazeb a k faktu, že jsou do ní neustále průběžně zapisovány nové transakce, v principu není vhodným podkladem pro online tvorbu komplexních reportů. Další stupně zralosti ERP systémů tak již představují situaci, kdy vedle samotného systému existuje specializované řešení pro business intelligence, do kterého jsou data ze základní transakční databáze systému přenášena a v rámci těchto přenosů transformována do vhodné podoby. Tato funkcionalita je předpokládána ve stupních zralosti 3 – 5, přičemž jejich vývoj spočívá v postupném přechodu od proprietárního, zakázkově implementovaného nástroje ke standardizovanému, uživatelsky konfigurovatelnému řešení. Třetí stupeň zralosti tak představuje situaci, kdy je využití specializovaného řešení pro business intelligence v zásadě možné, avšak jeho konfigurace a jakákoliv přizpůsobení je možné pouze dodavatelem systému. To s sebou nese na jedné straně malou pružnost takového řešení, na straně druhé zvýšené náklady na konzultace a úpravy realizované dodavatelem systému. Čtvrtý a pátý stupeň zralosti proto popisují pro podnik využívající ERP systém příznivější situaci, kdy postupně roste míra, ve které je schopen analytický a reportovací systém konfigurovat a přizpůsobovat standardními

uživatelskými nástroji s tím, že v nejvyšším stupni zralosti by měl systém (resp. na něj napojené specializované řešení pro analýzu velkých dat) nabízet komplexní nástroje, které uživatelům umožní realizovat kompletní analýzy velkých dat vlastními silami, zcela bez nutnosti spolupráce s dodavatelem ERP systému.

Prvním stupeň zralosti dimenze **systemové integrace** odpovídá vývojovému stádiu ERP systému, který sice v principu umožňuje komunikaci s jiným softwarem, nenabízí pro ni však žádný standardizovaný nástroj. Každá integrace má tak v tomto případě proprietární charakter a musí být připravena dodavatelem systému. To s sebou z hlediska podniku využívajícího danou integraci nese zvýšené náklady na její tvorbu a implementaci, z hlediska dodavatele potom nutnost na tato proprietární řešení alokovat kapacity pro jejich vývoj i následnou údržbu. Proprietární řešení systémové integrace tak byla během vývoje ERP systémů postupně upozaďována ve prospěch standardizovaných nástrojů, např. v podobě výměny datových souborů ve standardizovaném formátu nebo využívání integračních databází s definovanou a dokumentovanou strukturou. Toto vývojové stádium příslušné dimenze představuje stupeň zralosti 2. Pro potřeby současného prostředí, které je charakteristické intenzivním využíváním internetových technologií, nárůstem požadavků na komunikaci ERP systémů s různými prvky mimo vnitřní síť podniku, a rovněž zvyšujícími se nároky na rychlost této komunikace, však komunikace založená na výměně souborů nebo vzájemném zápisu systémů do specializovaných integračních databází není často dostatečně pružná. Dodavatelé ERP systémů tak své produkty doplňují o vrstvu API, která umožňuje rychlou a pružnou výměnu dat se systémem při využití standardních webových technologií. Situaci, kdy posuzovaný ERP systém umožňuje komunikaci prostřednictvím API vrstvy, představují stupně zralosti 3 – 5, přičemž třetí a čtvrtý stupeň se liší především mírou standardizace a konfigurovatelnosti této vrstvy, kdy v případě třetího stupně existuje pouze určité základní technické řešení, které je následně dodavatelem systému customizováno pro potřeby konkrétního scénáře požadovaného zákazníkem, zatímco ve čtvrtém stupni existuje standardizovaná a zdokumentovaná API vrstva, kterou je možné používat zcela nezávisle na dodavateli systému. Nejvyšší stupeň zralosti potom popisuje stav, kdy je celý ERP systém vystavěn na architektuře založené na službě, a to v její extrémní podobě, kdy jednotlivé služby mají podobu jednoúčelových komponent, z nichž každá je zodpovědná za

určitou část celkové aplikační logiky⁹⁵ – někdy se v takovém případě využívá termín „mikroslužby“ (Richardson, n.d.). Tyto mikroslužby spolu vzájemně komunikují prostřednictvím distribučního systému, který mohou (samozřejmě při splnění podmínek definovaných jeho poskytovatelem) využívat i externí aplikace. V pátém, nejvyšším stupni zralosti ERP systému z hlediska systémové integrace, tak mohou být jednotlivé komponenty systému využívány externími aplikacemi za stejných podmínek, jaké platí pro ostatní mikroslužby daného systému⁹⁶.

Vývoj zralosti ERP systémů z hlediska využívání **cloudu** je do značné míry determinován vývojem jejich architektury, který byl popsán v subkapitole 2.1. Právě architektura systémů totiž určuje, nakolik je daný systém schopen využívat výhody, které tato technologie nabízí. První stupeň zralosti reprezentuje dvouvrstvou architekturu klient – server, přičemž klient přinejmenším z části zajišťuje aplikační logiku. Takový systém je sice možné v cloudu v principu provozovat, jeho architektura však s sebou nese v tomto ohledu značná omezení. Ta jsou jednak na straně klientů, které je v případě jejich umístění na pracovních stanicích koncových uživatelů nutné vzdáleně spravovat a pravidelně aktualizovat, což redukuje potenciální výhodu cloudových technologií v podobě centralizované hromadné správy. V případě provozu klientů formou terminálového serveru, na který koncoví uživatelé přistupují v režimu vzdálené plochy, je zase tuto konstrukci nutné pokrýt příslušnými softwarovými licencemi terminálových služeb, což zvyšuje celkové náklady na provoz infrastruktury. Na straně druhé potom dvouvrstvá architektura vzhledem ke své rigidní podstatě neumožňuje využít výhody cloudu v oblasti distribuce jednotlivých úloh pro zvýšení celkového výkonu ani na straně serveru.

Následující dva stupně zralosti představují situaci, kdy je systém založen na třívrstvé architektuře, ve které klientská aplikace slouží pouze pro účely prezentace dat, samotnou aplikační logiku však zajišťuje aplikační server. Tato architektura je již pro

⁹⁵ Tzn. může existovat např. služba zodpovědná za funkcionalitu tvorby a správy faktur, služba zodpovědná za realizaci skladových pohybů apod.

⁹⁶ V extrémním případě je pak při architektuře založené na mikroslužbách možné uvažovat i situaci, kdy by jednotlivé mikroslužby, představující konkrétní logické funkční celky, byly nasazovány a využívány i samostatně, a sloužily by plně pro potřeby externích aplikací. Pokud by určitý podnik např. pro řízení běžného provozu využíval proprietární informační systém, přičemž standardní funkcionality ERP systému by potřeboval kupříkladu jen pro zajištění fakturace a účetnictví, nebylo by v takovém případě nutné instalovat kompletní ERP řešení, ale byly by nasazeny pouze mikroslužby zajišťující právě tyto funkce. S těmito mikroslužbami by potom komunikoval proprietární systém stejným způsobem, jakým s nimi běžně komunikují ostatní komponenty daného ERP systému.

provoz v cloudu vhodnější, neboť veškeré výpočetně náročné úlohy spojené s business logikou aplikace jsou soustředěny v serverových komponentách. Vzhledem k rozdělení serverové části řešení na dvě komponenty je navíc možné v rámci datacentra tyto prvky distribuovat na různé stroje⁹⁷ a tím optimalizovat jejich výkon. Jednotlivé stupně se přitom liší technickou podstatou klienta, kdy v případě druhého stupně se jedná o desktopovou aplikaci, kterou je (podobně jako v případě dvouvrstvé aplikace) třeba lokálně instalovat a spravovat. Třetí stupeň oproti tomu počítá s klientem ve formě webové aplikace, která je umístěna přímo v prostředí cloudu, a koncoví uživatelé k ní přistupují prostřednictvím webového prohlížeče na jakémkoliv zařízení. Jedná se tedy o řešení, které je na jedné straně jednodušší z hlediska centralizované správy systému, kdy případný upgrade je prováděn pouze na straně cloudu, na straně druhé pak pružnější z hlediska koncových uživatelů, kteří nejsou odkázáni na konkrétní počítač a platformu, ale mohou do systému přistupovat z různých zařízení, a to včetně mobilních.

Čtvrtý a pátý stupeň je potom spojen s architekturou zaměřenou na služby, ve které je aplikační logika systému rozčleněna do řady dílčích služeb, které jsou propojeny vzájemnou komunikací⁹⁸. Tato varianta umožňuje nejrozsáhlejší možnosti optimalizace výkonu, neboť jednotlivé služby je jednak možné v rámci cloudového prostředí umístit na různé stroje, v případě korektně vyvinutého systému s architekturou SOA je potom možné vybrané služby nasadit i ve více instancích. Pokud je tedy některá služba během provozu systému intenzivně vytěžována, je možné umístit několik jejích instancí na různé servery, a následně řídit komunikaci tak, aby příchozí požadavky tyto instance rovnoměrně vytěžovaly. Díky této distribuci je možné ve výkonnosti systému odstranit úzká místa. Stupně se od sebe vzájemně liší tím, zda využívají privátní nebo veřejný cloud. V prvním případě, který představuje čtvrtý stupeň zralosti, je pro provoz systému dedikováno v rámci cloudu určité vyhrazené prostředí. Je-li tedy v určitém okamžiku vyžadováno rozšíření tohoto prostředí, např. v reakci na zvýšení počtu koncových uživatelů, rozvoje systému o nové moduly apod., je třeba tuto skutečnost komunikovat s poskytovatelem cloudu, který rozšíření zajistí. Pátý, nejvyšší stupeň zralosti naproti tomu předpokládá využití veřejného cloudu, kdy je poskytovaná cloudová infrastruktura sdílena napříč

⁹⁷ Ať už fyzické nebo virtuální.

⁹⁸ Přičemž v extrémním případě se může jednat i o případ využití mikroslužeb, který byl popsán v předchozím textu.

zákazníky. Přizpůsobení rozsahu prostředků potřebám konkrétního zákazníka může v takovém případě⁹⁹ probíhat okamžitě a zcela automatizovaně. Takové řešení tedy představuje z hlediska zákazníka systému nejvyšší dosažitelnou míru pružnosti, kdy může rozsah využívaného systému de facto online přizpůsobovat svým potřebám.

V případě technologie **automatické identifikace a sběru dat** navržené stupně zralosti reflektují na straně jedné historický vývoj požadavků uživatelů ERP systémů v této oblasti, na straně druhé potom technologický pokrok, který postupně umožňuje využívání AIDC pro stále širší spektrum procesů. Nejnižší stupeň zralosti tak počítá se značením fyzických objektů prostřednictvím opticky čitelných identifikátorů ve formě čárových, případně QR kódů. Přestože se jedná o technologii, která se pro komerční účely v logistice začala využívat již v 70. letech 20. století¹⁰⁰ (Eastman, 2015), je pro oblast ERP systémů aktuální i v současné době. To dokládá fakt, že tato technologie byla v rámci výzkumu představeného v kapitolách 4 a 5 uživateli ERP systémů uváděna jako nejčastěji využívaná forma AIDC, dodavatelé ERP systémů pak jako základní funkcionalita, jejíž nasazení doporučují prakticky v každém novém projektu.

Tato technologie sice umožňuje podstatně zvýšit přesnost evidence logistických nebo výrobních procesů, nevýhodou optického čtení je ale skutečnost, že kódy jsou načítány jednotlivě, přičemž každý z nich je nutné sejmout přímým namířením čtečky, což limituje rychlost manipulace. Tento nedostatek eliminuje modernější¹⁰¹ technologie identifikace objektů prostřednictvím rádiových frekvencí, která při využití vhodného frekvenčního pásma umožňuje čtení stovek identifikátorů za vteřinu i na vzdálenost několika metrů, bez přímého vizuálního kontaktu s načítaným objektem (více viz např. Polívka & Dvořáková, 2019). Schopnost ERP systému interagovat s technologií RFID proto reprezentuje druhý stupeň zralosti ve vztahu k automatické identifikaci a sběru dat.

Zbývající stupně zralosti jsou potom spojeny především s rozvojem umělé inteligence, jakožto dalšího prvku, který významně rozšířil možnosti automatické identifikace a

⁹⁹ Samozřejmě za předpokladu, že poskytovatel cloudu pracuje s dostatečnou rezervou.

¹⁰⁰ Přičemž první zmínka o možnosti zakódování dat prostřednictvím kombinace černých čar a mezer mezi nimi se vyskytuje již v patentu č. 1.985.035, který byl Americkým patentovým a známkovým úřadem udělen v roce 1934 společnosti Westinghouse (Eastman, 2015).

¹⁰¹ Někteří autoři sice za vznik technologie RFID označují samotný vynález radaru (viz např. Sarac et al., 2010), pro komerční účely identifikace skladových položek však začala být rozsáhleji využívána až na počátku tohoto století, především v reakci na, byť ne zcela úspěšný, pilotní projekt firmy Walmart (Vowels, 2006; Kaplan, 2018).

sběru dat. Jednou z takových aplikací umělé inteligence je oblast strojového vytěžování dat z dokumentů prostřednictvím optického rozpoznávání znaků. Funkcionalita OCR umožňuje rozšířit automatický sběr dat, a tedy i s ním související zrychlení a zpřesnění práce, kromě výrobních a logistických procesů, kde byl tradičně využíván, i do procesů administrativních. Třetí stupeň zralosti ve vztahu k AIDC tak představuje situaci, kdy je ERP systém schopen poskytovat právě tuto funkcionalitu, ať už formou vlastního modulu nebo za pomoci využití bezešvě integrovaného externího řešení. Další možný rozvoj automatizace administrativních procesů je potom spojen rovněž s problematikou umělé inteligence, jejíž využití se v posledních letech kromě samotného OCR rozvíjí i pro potřeby řešení jiných úkolů. Různé formy softwarových robotů, pracujících na principu neuronových sítí, jsou tak v současné době schopné např. samostatně shromažďovat data z internetu, zpracovávat došlé e-maily, vést konverzace s koncovými zákazníky apod. V případě, že je s nimi ERP systém integrován, mohou potom tyto roboti získaná data automaticky zapisovat do příslušných míst v systému a nahrazovat tak rutinní práci koncových uživatelů. ERP systém, který je schopen spolupráce s těmito řešeními, a poskytuje tak komplexní možnosti automatického sběru dat z administrativních procesů, je proto reprezentován čtvrtým stupněm zralosti.

Nejvyšší stupeň zralosti potom představuje ERP systém, který je připraven na interakci se širokým spektrem možností automatické identifikace a sběru dat. Kromě výše zmíněných funkcionalit umožňuje systém v tomto stupni např. sběr dat z kamerových a zvukových záznamů, vyhodnocovaných prostřednictvím nástrojů umělé inteligence, sběr dat přímo z výrobních strojů a zařízení (a to jak prostřednictvím přímého vyčítání dat z rozhraní, které tyto stroje poskytují, tak např. prostřednictvím sledování jejich provozu pomocí optických senzorů) apod. Takový systém potom může sloužit jako centrální prvek průmyslového IoT v daném podniku.

Navržený model zralosti souhrnně znázorňuje Tabulka 22:

Tabulka 22: Model zralosti ERP systému ve vztahu k technologiím Průmyslu 4.0

Stupeň zralosti	Dimenze			
	Big data	Systémová integrace	Cloudová řešení	AIDC
0	Systém vůbec neumožňuje uchovávání velkých objemů dat z důvodu nevyhovující architektury a/nebo použité technologie	Systémová integrace není vůbec podporována, do systému není možné automatizovaně importovat data vytvořená jinými systémy, ani z něj data ve strojově čitelné podobě exportovat pro vnější využití.	Systém je z technických důvodů možné provozovat výhradně formou lokálního řešení. <i>Např. Systém závislý na již nepodporovaných technologiích, které provoz v cloudu buď neumožňují z architektonického hlediska, nebo pro něj nejsou akceptovatelná z hlediska bezpečnosti.</i>	Systém vůbec neumožňuje automatickou identifikaci a sběr dat, veškerá data jsou zadávána uživatelem systému prostřednictvím standardních periferních zařízení počítače.
1	Systém umožňuje uchovávat velké objemy dat v rámci své základní (transakční) databáze, ta však není pro tyto potřeby speciálně optimalizována. Pro jejich analýzu a prezentaci je nutné vytvoření proprietárního řešení dodavatelem systému.	Systémová integrace je v zásadě možná, ale pouze na proprietární bázi, neexistuje žádný nástroj systémem standardně poskytovaný pro tyto účely. Konkrétní komunikační mechanismus i logika integrace jsou vyvíjeny, resp. nastavovány zakázkově dodavatelem systému.	Systém je založen na dvouvrstvé architektuře. Aplikační logika nebo její část je obsažena v klientu. Provoz systému v cloudu je realizován prostřednictvím lokálně instalovaných klientů nebo terminálových služeb, jedná se tedy de facto o přesun serveru z lokálních prostředků podniku do vzdáleného hostingu, poskytovaného cloudovým providerem.	Systém umožňuje identifikovat fyzické objekty pomocí čárových nebo QR kódů. Disponuje řešením (ať už v podobě vlastního modulu nebo nativně napojeného produktu třetí strany), umožňujícím tyto identifikátory pomocí vhodného hardware načítat a na základě jejich načtení v systému evidovat různé aktivity s danými objekty.
2	Systém umožňuje uchovávat velké objemy dat v rámci své základní (transakční) databáze, která je pro tyto účely přizpůsobena. Jejich analýza a prezentace je možná pomocí standardních uživatelských nástrojů systému.	Systém umožňuje standardizovanou integraci formou exportu/importu souborů v definovaných podobách, případně formou zapisování/čtení dat do/z integrační databáze s definovanou strukturou.	Systém je založen na třívrstvé architektuře s lokálně instalovaným klientem, business logiku zajišťuje aplikační server. Provoz serverových komponent systému v cloudu je možný, klient je spuštěn lokálně na pracovních stanicích uživatelů, což s sebou nese nutnost lokální administrace klientů.	Systém disponuje rozhraním, které umožňuje identifikovat fyzické objekty prostřednictvím technologie radiofrekvenční identifikace (RFID). Disponuje řešením, které je schopno dané identifikátory pomocí vhodného hardware automatizovaně a hromadně načítat a takto získaná data dále zpracovávat. Může se jednat jak o integrovaný modul ERP systému, tak o samostatně stojící, avšak nativně integrované řešení.
3	Systém umožňuje uchovávat velké objemy dat. Tato data je možné transformovat do specializovaného řešení, ve kterém probíhá jejich analýza a prezentace. Datová transformace a konfigurace pohledů v analytickém a prezentačním řešení jsou, proprietární a jsou zajišťovány dodavatelem systému.	Systém nabízí integraci prostřednictvím API vrstvy, poskytované formou webových služeb. API vrstva je uzpůsobována dodavatelem vždy na míru konkrétnímu scénáři v závislosti na typu dat, která mají být s její pomocí při daném použití čtena, zakládána nebo modifikována.	Systém je založen na třívrstvé architektuře s webovým klientem, business logiku zajišťuje aplikační server. Provoz systému v cloudu je možný, klientem je webová aplikace administrovaná centrálně, kterou uživatelé spouští z prostředí internetového prohlížeče.	Systém nabízí řešení pro automatické vytěžování dokumentů formou OCR, a to buď formou vlastního modulu, nebo prostřednictvím nativně napojeného produktu třetí strany. Data z vytěžených dokumentů jsou automatizovaně zapisována do standardních datových struktur systému.

Stupeň zralosti	Dimenze			
	Big data	Systémová integrace	Cloudová řešení	AIDC
4	Systém umožňuje uchovávat velké objemy dat. Tato data je možné transformovat do specializovaného řešení, ve kterém probíhá jejich analýza a prezentace. Datová transformace je proprietární a je zajišťována dodavatelem systému. Konfigurace pohledů v analytickém a prezentačním řešení je možná uživatelsky.	Systém nabízí integraci prostřednictvím API vrstvy poskytované formou webových služeb. API je standardizováno a disponuje online dokumentací včetně testovacích volání. Vrstva odlišuje protistranu od aplikační logiky a poskytuje předpřipravený nástroj pro čtení a zapisování základních dat z/do systému.	Systém je založen na architektuře orientované na služby s webovým klientem. Architektura orientovaná na služby umožňuje distribuci jednotlivých komponent na různé servery a optimalizaci výkonu. Systém je poskytován formou privátního (<i>single-tenant</i>) cloudu, cloudové prostředí je tedy dedikováno pro daného zákazníka.	Kromě vlastního vytěžování dokumentů formou OCR podporuje systém i další formy automatického sběru dat administrativního charakteru, <i>např. v podobě automatického vyčítání mailových schránek a zpracování došlých zpráv, využití softwarových robotů pro zapisování externích dat do systému apod.</i>
5	Systém umožňuje uchovávat velké objemy dat. Tato data je možné transformovat do specializovaného řešení, ve kterém probíhá jejich analýza a prezentace. Datová transformace i následná konfigurace pohledů v analytickém a prezentačním řešení je možná pomocí uživatelských nástrojů systému.	Systém využívá architekturu tzv. mikroslužeb, kdy každý logický celek funkcionalit zajišťuje samostatná služba. Data jsou mezi službami předávána pomocí distribučního systému, který mohou používat i externí aplikace. Každý prvek systému tak může být nezávisle na ostatních prvcích integrován s externími aplikacemi, případně může být využíván i samostatně bez ostatních komponent systému.	Systém je založen na architektuře orientované na služby s webovým klientem. Je poskytován formou veřejného (<i>multi-tenant</i>) cloudu, z pohledu zákazníka je tedy kdykoliv neomezeně a pružně škálovatelný.	Systém poskytuje (prostřednictvím vlastních modulů nebo za pomoci nativního napojení na specializované nástroje) širokou paletu možností AIDC založenou na rozličných technologiích, <i>např. v podobě automatizovaného získávání dat přímo z výrobních a logistických strojů a zařízení, strojového vyhodnocování kamerových a zvukových záznamů prostřednictvím umělé inteligence, biometrických údajů apod.</i>

Zdroj: vlastní zpracování

6.3.2 Evaluace navrženého modelu ve vztahu k obecné kritice modelů zralosti

V předchozí subkapitole byl představen návrh modelu zralosti, který by měl svým uživatelům, ať už z řad dodavatelů ERP systémů nebo jejich zákazníků, usnadnit posouzení toho, nakolik je konkrétní systém připraven k fungování v prostředí Průmyslu 4.0. V rámci subkapitoly 6.1 však byla zároveň citována i kritika, která validitu některých modelů zralosti jakožto analytické a rozhodovací pomůcky zpochybňuje. Cílem této subkapitoly je proto posoudit, nakolik je navržený model vůči zmíněné kritice robustní, a tedy zda je z teoretického hlediska jako nástroj pro podporu rozhodování vhodný.

První dva body obecné kritiky poukazují na skutečnost, že modely zralosti obvykle postrádají solidní teoretický základ, a že není dostatečně objasněn postup, kterým byly vyvinuty. V případě modelu představeného v subkapitole 6.3.1 platí, že jeho teoretický základ byl položen jednak realizací systematické literární rešerše, zkoumající stávající

stav akademické debaty o vztahu Průmyslu 4.0 a ERP systémů, která byla představena v kapitole 3, jednak empirickým výzkumem zabývajícím se požadavky uživatelů na ERP systémy a reflexí těchto požadavků ze strany jejich dodavatelů, diskutovaným v kapitolách 4 a 5. Jednotlivé dimenze modelu byly odvozeny právě z tohoto výzkumu, přičemž logika konstrukce konkrétních stupňů zralosti byla podrobně popsána v subkapitole 6.3.1. Lze tedy konstatovat, že body 1. a 2. obecné kritiky modelů zralosti nejsou pro představený model relevantní.

Z hlediska třetího bodu kritiky, poukazujícího na velké množství modelů zralosti a jejich vzájemnou redundanci, tato skutečnost nepochybně platí pro modely posuzující zralost podnikových procesů, kterých skutečně v současné době existují stovky, přičemž při takovém množství přirozeně nelze určitou míru vzájemného překrývání vyloučit. Jak bylo ale vysvětleno v subkapitole 6.2, modely, které se zaměřují na problematiku zralosti podnikových informačních systémů ve vztahu k Průmyslu 4.0, se vyskytují zatím pouze v jednotkách případů, model zaměřený konkrétně na zralost ERP systému v tomto kontextu byl pak v akademické literatuře dohledán pouze jediný. Přestože byla konstrukce modelu představeného v subkapitole 6.3.1 touto předchozí prací Basla & Novákové (2019) inspirována, oba modely se shodují pouze dimenzí cloudových technologií, přičemž i zde se do určité míry liší definice jednotlivých stupňů zralosti. Ani tento bod kritiky tak pro navržený model není možné vyhodnotit jako relevantní.

V rámci čtvrtého bodu obecné kritiky modelů zralosti je poukazováno na skutečnost, že tyto modely ze své podstaty předpokládají pouze jednu linii vývoje, aniž by přihlížely k možným alternativám. V navrženém modelu je nicméně vzájemná souslednost stupňů zralosti determinována především průběhem samotného technologického vývoje v oblasti jednotlivých dimenzí. Ten je z hlediska ERP systémů exogenním faktorem, kterému se přizpůsobují - v případě, že by výrobce určitého informačního systému zcela odmítl reflektovat určitou technologii, která je v daném období součástí hlavního proudu vývoje informačních systémů, podstupoval by riziko, že absence podpory této technologie bude potenciálními zákazníky vyhodnocena jako jeho konkurenční nevýhoda. Sami zástupci dodavatelů ERP systémů tak v rámci výzkumných rozhovorů prezentovaných v kapitole 5 opakovaně konstatovali, že při plánování dalšího rozvoje svých systémů jsou silně ovlivňováni technologickými trendy, které v daném okamžiku na trhu s informačními systémy rezonují. To ostatně

potvrzují i výsledky realizovaných rozhovorů, které ukazují, že směr vývoje všech zkoumaných ERP systémů je ve vztahu k technologiím Průmyslu 4.0 v principu obdobný, a liší se především rychlost, jakou jednotliví dodavatelé postupují. Navržený model, který posuzuje zralost ERP systémů ve vztahu právě k těmto technologiím, je tak robustní i vůči čtvrtému bodu kritiky, neboť alternativní směry vývoje v daném případě z výše popsaných důvodů nejsou relevantní.

Poslední dva body obecné kritiky modelů zralosti potom cílí na riziko jejich přílišného zjednodušení, a s tím souvisejícího problematického využití v praxi, které může narážet na omezující faktory, s nimiž v modelu nebylo uvažováno. Zde je třeba konstatovat, že model je již z podstaty věci zjednodušeným popisem reality, a riziko, že nebude plně zahrnovat veškeré možné faktory, které modelovanou skutečnost v reálném světě ovlivňují, tak přirozeně nelze vyloučit. Pátý a šestý bod obecné kritiky modelů zralosti je tak třeba pro navržený model vyhodnotit jako relevantní, zároveň je však nutné zdůraznit, že tyto kritizované body nejsou vlastní pouze modelům zralosti, ale ze své podstaty platí pro jakýkoliv nástroj, který používá zjednodušený popis reality. Přestože tedy bylo snahou autora této disertační práce navrhnout model tak, aby problematiku vývoje zralosti ERP systému ve vztahu k technologiím Průmyslu 4.0 aproximoval co nejvěrněji, při jeho případné praktické implementaci je třeba vždy postupovat s přihlédnutím k tomuto obecnému omezení a nejprve posoudit, zda je pro danou situaci vhodným nástrojem.

Závěr

Problematika Průmyslu 4.0 a Čtvrté průmyslové revoluce je v současné době intenzivně diskutována jak na akademické půdě, tak v podnikové praxi. Lze předpokládat, že změny, které s sebou Průmysl 4.0 přinese, budou mít dopad i na ERP systémy, které jsou centrálním uzlem informační infrastruktury většiny středních a velkých podniků. Intenzita diskuse o těchto dopadech v akademické literatuře je však prozatím relativně omezená. Výzkum, představený v rámci této disertační práce, si kladl za cíl do této diskuse přispět.

V rámci práce byly nejprve vymezeny základní termíny, s nimiž bylo dále pracováno, přičemž obsah termínu „Průmysl 4.0“ bylo třeba, vzhledem k absenci jeho jednotného vymezení v současné odborné literatuře, nejprve vyspecifikovat. Tato specifikace byla provedena pomocí výčtu technologií tvořících základní komponenty Průmyslu 4.0, přičemž jako jejich základní soubor bylo použito tzv. „9 pilířů Průmyslu 4.0“, které byly na základě analýzy doplněny o desátou technologii v podobě automatické identifikace a sběru dat.

Technologie tvořící obsah konceptu Průmyslu 4.0, byly následně posouzeny z hlediska své relevance ve vztahu k ERP systémům. Jako základní vstup pro toto posouzení byla realizována systematická rešerše odborné literatury, která ukázala, že v souvislosti s ERP systémy je diskutováno především využívání technologií systémové integrace, Big data, cloud computingu, automatické identifikace a sběru dat a internetu věcí. Následná podrobnější analýza poté ukázala, že ve vztahu k technologii internetu věcí vystupují ERP systémy spíše v roli pasivního příjemce informací ze zařízení IoT, než v roli aktivního prvku řídicího ekosystému chytrých zařízení. Z tohoto důvodu byly jako relevantní technologie Průmyslu 4.0 pro oblast ERP systémů identifikovány technologie vnitro- a mezipodnikové integrace, velká data, cloud computing a AIDC.

Po identifikaci relevantních technologií Průmyslu 4.0 pro oblast ERP systémů bylo dále zkoumáno, zda a pro jaké účely jsou tyto technologie v současné době v prostředí českých podniků zpracovatelského průmyslu využívány, a jaký význam by podniky v případě výběru nového ERP systému přikládaly schopnosti jednotlivých systémů tyto technologie využívat. Tato část výzkumu byla realizována prostřednictvím dotazníkového šetření mezi středními a velkými výrobními podniky v České republice.

Výsledky dotazníku ukazují, že velmi intenzivně je v daném segmentu podniků v současné době využívána především technologie vnitropodnikové systémové integrace, ostatní technologie jsou naopak využívány spíše méně. Z hlediska oblastí činnosti, ve kterých jsou dané technologie využívány, pak v případě vnitropodnikové systémové integrace, velkých dat a AIDC převažuje jejich použití v oblasti výroby a vnitropodnikové logistiky, v případě mezipodnikové systémové integrace pak v oblasti dodavatelsko-odběratelských vztahů.

Relativně nízkému využití většiny zkoumaných technologií Průmyslu 4.0 pak odpovídala i skutečnost, že v případě výběru nového ERP systému by schopnost jednotlivých systémů interagovat s těmito technologiemi přikládali hodnotitelé významně nižší důležitost než některým „tradičním“ kritériím, která byla identifikována v odborných studiích a do dotazníku pro srovnání zahrnuta. Výsledky dotazníku ukázaly, že největší význam hodnotitelé přikládají ceně, uživatelské přívětivosti, modularitě a bezpečnosti systému, schopnost spolupráce s žádnou z relevantních technologií Průmyslu 4.0 se do této nejvýznamnější skupiny nedostala.

Paralelně s výzkumem, zjišťujícím názory uživatelů ERP systémů, probíhaly výzkumné rozhovory se zástupci dodavatelů těchto systémů. Jejich cílem bylo zjistit, do jaké míry jsou ERP systémy nabízené na českém trhu na Průmysl 4.0 již v současné době připraveny, a jak se požadavky Průmyslu 4.0 promítají do plánů dalšího vývoje těchto systémů. Pomocí metody analýzy a syntézy byly nejprve identifikovány požadavky, které musí ERP systémy splňovat, aby mohly úspěšně interagovat s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0, tyto požadavky potom posloužily při konstrukci scénáře rozhovoru.

Realizované rozhovory ukázaly, že dodavatelé ERP systémů působící na českém trhu jsou si výzev, které s sebou Průmysl 4.0 pro ERP systémy přináší, převážně vědomi. Většina dotazovaných dodavatelů se snaží aktivně identifikovat moderní technologie využitelné v rámci ERP systémů a tyto technologie do svých systémů zakomponovat. Zároveň je možné konstatovat, že systémy většiny dodavatelů, kteří se výzkumu účastnili, jsou již nyní do značné míry schopny interakce s relevantními technologiemi Průmyslu 4.0.

Technologický náskok mají v tomto ohledu globální systémy určené primárně pro velké firmy, jejichž aktuální generace jsou již plně připraveny na cloud, systémovou integraci

i na práci s velkými daty. Dodavatelé lokálních ERP systémů, které jsou častěji využívány i středními firmami, jsou oproti tomu do určité míry limitováni svými menšími vývojovými kapacitami, které jim zpravidla neumožňují novou generaci systému vyvíjet zcela „na zelené louce“, a tedy v souladu se všemi aktuálními technologickými trendy. Implementace moderních technologií do systémů, které na ně nejsou svou základní architekturou připraveny, potom v některých případech vede k řešením, která jsou sice v zásadě funkční, neumožňují ale plně využít potenciál dané technologie - typicky se jedná o případ cloudu, kde je limitující absence webových klientů. Z rozhovorů však vyplývá, že jsou si výrobci tuzemských systémů tohoto omezení vědomi a v dalším vývoji svých systémů se budou snažit jeho dopady minimalizovat.

V závěrečné části práce byl potom na základě zjištění z realizovaného výzkumu zkonstruován model zralosti, který umožňuje strukturovanou formou posoudit, nakolik je určitý ERP systém připraven na výzvy spojené se Čtvrtou průmyslovou revolucí. Model je zaměřen na schopnosti hodnoceného systému interagovat s jednotlivými technologiemi Průmyslu 4.0, které jsou pro oblast ERP systémů relevantní, kdy pro každou takto vymezenou technologii obsahuje příslušnou dimenzi. Míra, ve které je systém schopen danou technologii využívat, je pak reprezentována jednotlivými stupni zralosti, přičemž každý stupeň obsahuje podrobný popis situace, kterou charakterizuje. Vzhledem k tomu, že častým předmětem kritiky modelů zralosti obecně je nejasný proces jejich vzniku, byla velká pozornost věnována kromě modelu samotného i podrobnému zdůvodnění zvolené souslednosti stupňů zralosti v jednotlivých dimenzích.

Přínosy této disertační práce jsou jednak v oblasti teorie, kdy došlo k identifikaci technologií Průmyslu 4.0 relevantních pro oblast ERP systémů, nutných podmínek pro využívání těchto technologií v rámci ERP systémů, a zmapování stávajícího stavu plnění těchto podmínek ze strany ERP systémů. Na straně podniků využívajících ERP systémy pak byly zjištěny informace o míře a účelu aktuálního využívání těchto technologií a případných překážkách, které brání jejich intenzivnějšímu užití. Zároveň je tato práce rovněž příspěvkem k literatuře, která zkoumá relativní význam různých kritérií v rámci procesu výběru nového ERP systému.

Identifikace moderních technologií, které by měly být v rámci ERP systémů podporovány, a toho, co tato podpora z technického hlediska konkrétně znamená, je pak rovněž praktickým přínosem této práce. Ten můžou využít na jedné straně

pracovníci zodpovědní za výběr ERP systémů při volbě konkrétního softwarového produktu, který má být v jejich podniku implementován. Z výsledků představeného výzkumu mohou získat přehled o technologiích, jejichž interakce s ERP systémy bude v příštích letech nabývat na významu, a při volbě konkrétního software se tak mohou soustředit primárně na systémy, které jsou na tuto interakci připraveny.

Dodavatelé ERP systémů mohou potom výsledky prezentované v této práci využít při dalším plánování rozvoje svých produktů, kdy mohou vycházet ze zjištěných informací o tom, jaké technologie Průmyslu 4.0 jsou ve firmách v současné době používány nejintenzivněji a v jakých oblastech podnikové činnosti. Tato data mohou poté posloužit jako základ při stanovování priorit, jaké technologie a do kterých modulů jejich systémů mají být zapracovány přednostně, tzn. jak optimálně využít omezené vývojové kapacity tak, aby jejich systém získal výhodu oproti konkurenci.

Oběma těmito skupinám potom může jako praktická rozhodovací pomůcka posloužit navržený model zralosti ERP systémů ve vztahu k Průmyslu 4.0. Potenciální zákazníci ERP systémů jej mohou využít ke strukturované komparaci jednotlivých kandidátních systémů z hlediska jejich připravenosti na interakci s technologiemi Průmyslu 4.0, výrobcům potom tento model umožní na jedné straně zjistit stávající stav zralosti jejich systému, na straně druhé pak identifikovat nutné technologické a funkční změny, které musí na svém systému provést, aby tuto zralost zvýšili.

Potenciální další možnosti výzkumu v dané oblasti souvisí do značné míry s limity výzkumu stávajícího, z nichž nejvýznamnějším je omezený počet respondentů provedeného kvantitativního i kvalitativního šetření, který přirozeně do určité míry snižuje externí validitu dosažených dat. Do budoucna se tak nabízí možnost uspořádání rozsáhlejší studie, která by obsáhla větší počet jak zákazníků ERP systémů, tak i jejich dodavatelů. Kromě samotného počtu respondentů z řad uživatelů ERP systémů je pak druhým limitem výzkumu jejich relativně úzké vymezení, kdy byli dotazováni pouze zástupci středních a velkých podniků zpracovatelského průmyslu. Přestože má toto vymezení své logické opodstatnění, kdy právě v tomto typu podniků aktuálně dochází nejčastěji k interakci ERP systémů s Průmyslem 4.0, nabízí se do budoucna možnost rozšíření výzkumu i do dalších odvětví, případně i do podniků menší velikosti, a komparace dosažených výsledků. Obdobným námětem pro další výzkumnou práci je potom rozšíření výzkumu o data z dalších států.

Seznam použitých zkratk

AHP	Analytic Hierarchy Process
AIDC	Automatic Identification and Data Capture
ANP	Analytic Network Process
API	Application Programmable Interface
BI	Business Intelligence
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BPMS	Business Process Management Systems
B2B	Business-To-Business
CAPS	Cloud-based Advanced Planning and Scheduling system
CBDM	Cloud-based Design and Manufacturing
C-ERP/CERP	Cloudové ERP systémy
COBOL	Common Business Oriented Language
CODASYL	Conference/Committee on Data Systems Languages
CPS	Cyber-Physical Systems
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
CRM	Customers Relationship Management
CRP	Complete Resource Planning
ČSÚ	Český statistický úřad
DASD	Direct Access Storage Device
DB	Databáze
e-ERP	Extended Enterprise Resource Planning System
EOQ	Economic Order Quantity
EOS	Enterprise Operating System
ERM	Employee Relationship Management
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Evropská Unie
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things

ISA	International Society of Automation
IT	Informační Technologie
LAN	Local Area Network
LIS	Liniový informační systém
MES	Manufacturing Execution System
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MRP	Material Requirements Planning
MRPII	Manufacturing Resources Planning
M2M	Machine-To-Machine
NC	Numerical Control
OCR	Optical Character Recognition
ODETTE	Organization for Data Exchange by Tele Transmission
OLTP	Online Transactional Processing
OLAP	Online Analytical Processing
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
QR kód	Quick Response kód
RAM	Random Access Memory
RAMI 4.0	Reference Architecture Model Industrie 4.0
REA	Resource-Events-Agents
REST	Representational State Transfer
RFID	Radiofrequency Identification
SCM	Supply Chain Management
SDCM	Software-Defined Cloud Manufacturing
S-ERP	Sustainable Enterprise Resource Planning
SIMMI 4.0	System Integration Maturity Model Industry 4.0
SOA	Service-Oriented Architecture
SRP	Supplier Relationship Management
SŘBD	Systém Řízení Báze Dat
SVO	Specifická Výzkumná Otázka

TCO	Total Cost of Ownership
TOE	Technology-Organization-Environment
u-Factory	Ubiquitous Factory
UN/EDIFACT	United Nations/Electronic Data Interchange for Administration, Commerce and Transport
UWB	Ultra-Wide Band
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VO	Výzkumná Otázka
WEF	World Economic Forum
WMS	Warehouse Management System
XRP	Extended Enterprise Resource Planning System
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obrázek 1:	Zjednodušený model výzkumu bez hypotéz	s. 7
Obrázek 2:	Architektura systému na sálovém počítači a dvouvrstvá architektura klient-server	s. 12
Obrázek 3:	Schéma ERP systému	s. 14
Obrázek 4:	Schéma třívrstvé architektury informačního systému	s. 15
Obrázek 5:	Schéma vývoje systému od ERP k ERP II	s. 16
Obrázek 6:	Symbolické schéma rozšířeného ERP	s. 17
Obrázek 7:	Architektura orientovaná na služby	s. 19
Obrázek 8:	Schéma vývoje od ERP k ERP III	s. 20
Obrázek 9:	Čtyři stupně průmyslové revoluce	s. 26
Obrázek 10:	Reference Architecture Model Industrie 4.0	s. 32
Obrázek 11:	Tři úrovně virtualizace	s. 34
Obrázek 12:	Pyramida automatizace dle modelu ISA	s. 36
Obrázek 13:	Schéma kyber-fyzického systému	s. 38
Obrázek 14:	Architektura Smart factory	s. 43
Obrázek 15:	Vazby mezi klíčovými slovy ve zkoumaných pracích	s. 50
Obrázek 16:	Celková intenzita vazeb k jednotlivým klíčovými slovům ve zkoumaných pracích	s. 51
Obrázek 17:	Model zralosti ERP 4.0 dle Basla & Novákové (2019)	s. 134

Tabulky

Tabulka 1:	Specifické výzkumné otázky pro obecnou otázku VO1	s. 3
Tabulka 2:	Specifické výzkumné otázky pro obecnou otázku VO2	s. 5
Tabulka 3:	Počet prací evidovaných v databázi Web of Science týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce / Průmyslu 4.0 dle zemí původu	s. 30
Tabulka 4:	Klíčová slova s alespoň 6 výskyty v rámci zkoumaných	

	článků	s. 50
Tabulka 5:	Četnost prací zkoumaných v rámci systematické rešerše dle jejich hlavního tematického zaměření	s. 52
Tabulka 6:	Časové rozložení studií zabývajících se ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0	s. 70
Tabulka 7:	Geografické rozložení studií zabývajících se ERP systémy v prostředí Průmyslu 4.0	s. 70
Tabulka 8:	Četnost výskytu jednotlivých technologií Průmyslu 4.0 v pracích zkoumaných v rámci systematické rešerše.	s. 73
Tabulka 9:	Kritéria pro výběr ERP systémů a jejich skupiny používaná v dosavadních studiích	s. 87
Tabulka 10:	Míra využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů	s. 94
Tabulka 11:	Hodnoty testovacího kritéria K pro porovnání míry využití jednotlivých technologií Průmyslu 4.0	s. 96
Tabulka 12:	Absolutní (relativní) četnosti oblastí, pro které jsou jednotlivé technologie Průmyslu 4.0 v dotazovaných podnicích využívány	s. 97
Tabulka 13:	Hodnoty testovacího kritéria G pro jednotlivé oblasti podnikové činnosti	s. 98
Tabulka 14:	Konkrétní formy využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů	s. 99
Tabulka 15:	Překážky v intenzivnějším využití relevantních technologií Průmyslu 4.0 v podnicích respondentů	s. 102
Tabulka 16:	Znalosti a postoje respondentů týkající se konceptu Průmyslu 4.0	s. 105
Tabulka 17:	Korelace mezi očekávaným budoucím významem Průmyslu 4.0 a jeho znalostmi	s. 108
Tabulka 18:	Význam přiřádaný respondenty kritériím pro výběr ERP systému	s. 110

Tabulka 19: Hodnoty testovacího kritéria K pro porovnání významu jednotlivých skupin kritérií při výběru ERP systému	s. 111
Tabulka 20: Korelace mezi stávající mírou využívání technologií Průmyslu 4.0 a významem přiřkládaným jednotlivým kritériím při hodnocení ERP systému	s. 113
Tabulka 21: Korelace mezi významem, který přiřkládá respondent konceptu Průmyslu 4.0 a významem přiřkládaným jednotlivým kritériím při hodnocení ERP systému	s. 114
Tabulka 22: Model zralosti ERP systému ve vztahu k technologiím Průmyslu 4.0	s. 143

Grafy

Graf 1: Vývoj počtu článků evidovaných v databázi Web of Science týkajících se Čtvrté průmyslové revoluce / Průmyslu 4.0 v jednotlivých letech	s. 29
--	-------

Publikační činnost autora*

*v rámci současného studia

Příspěvky v odborných časopisech

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2019). Využití automatické identifikace a sběru dat prostřednictvím radiofrekvenčních technologií v prostředí průmyslu 4.0 [Use of Automatic Identification And Data Capture Based on Radio Frequency Technologies in The Environment of Industry 4.0]. *Trendy v podnikání*, 9(2), 53-61. https://doi.org/10.24132/jtb.2019.9.2.53_61

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2021). Human Resources Information Systems – Current State of Art Regarding the 4th Industrial Revolution. *Journal of Human Resources Management Research*, 14, 1-12. <https://doi.org/10.5171/2021.764147>

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2023). The importance of Industry 4.0 technologies when selecting an ERP system – An empirical study. *E&M Economics and Management*, 26(3), 51–69. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2023-3-004>

Statě ve sborníku

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2020). Industrial revolution 4.0 in industrial laundries and their information technologies landscape. In D. Hrušovská, M. Kmety Barteková, & M. Kozáková (Eds.), *Current Problems of the Corporate Sector 2020*. Web of Conferences.

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2021). Current Research of the Human Resources Information Systems - Systematic Literature Review. In S. Khalid (Ed.), *Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (s. 2857-2867). International Business Information Management Association Conference (IBIMA).

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2021). Selection of the ERP System with Regard to the Global 4th Industrial Revolution. In T. Kliestik (Ed.), *The 20th International Scientific Conference Globalization and its Socio-Economic Consequences 2020*. Web of Conferences.

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2021). The Current State of the Use of Selected Industry 4.0 Technologies in Manufacturing Companies. In B. Katalinic (Ed.), *Proceedings of the 32nd International DAAAM Virtual Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"* (s. 0652-0659). DAAAM International.

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2022) The Current State of the Use of Selected Industry 4.0 Technologies in Manufacturing Companies. In B. Katalinic (Ed.), *Proceedings of the 33rd International DAAAM Virtual Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"* (s. 411-420). DAAAM International.

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2022) Oblasti a překážky využívání technologií Průmyslu 4.0 relevantních ve vztahu k ERP systémům v podnikové praxi. In Z. Kresa (Ed.), Conference Proceedings *Business Trends 2022* (s.172-183). FEK ZČU v Plzni.

Seznam použité literatury

Accenture. (2020). *2020 ERP Trends*. https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-119/Accenture-ERP-Report-2020.pdf

Adebayo, A. O., Chaubey, M. S., & Numbu, L. P. (2019). Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution And How It Relates To The Application Of Internet Of Things(IoT). *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 5(2), 2477-2482.

Alarcon, M., Martinez-Garcia, F. M., & de Leon Hijes, F. C. G. (2021). Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110841. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>

Alcacér, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899-919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>

Allen, R. C. (2006). *The British Industrial Revolution in Global Perspective: How Commerce Created The Industrial Revolution and Modern Economic Growth*. <https://users.nber.org/~confer/2006/SEGs06/allen.pdf>

Amara, F. Z., Hemam, M., Amara, T., & Djezzar, M. (2022). Ontological Modeling of ERP for Industry 4.0. In F. Z. Amara, S. Tiwari, F. Ortiz-Rodriguez (Eds.), *Joint Proceedings of MSW, DLQ and SIOT 2022*. CEUR-WS. https://ceur-ws.org/Vol-3335/SIoT_short1.pdf

Amazon. (n.d.). *Types of Cloud Computing*. <https://aws.amazon.com/types-of-cloud-computing/>

Amini, M., & Abukari, A. M. (2020). ERP Systems Architecture for the Modern Age: A Review of the State of the Art Technologies. *Journal of Applied Intelligent Systems & Information Sciences*, 1(2), 70-90. <https://doi.org/10.22034/jaisis.2020.232506.1009>

Angreani, L. S., Vijaya, A., & Wicaksono, H. (2020). Systematic Literature Review of Industry 4.0 Maturity Model for Manufacturing and Logistics Sectors. *Procedia Manufacturing*, 52, 337-343. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.11.056>

Antonino, P. O., Schnicke, F., Zhang, Z., & Kuhn, T. (2019). Blueprints for Architecture Drivers and Architecture Solutions for Industry 4.0 Shopfloor Applications. In L. Duchien et al. (Eds.), *ECSA '19: Proceedings of the 13th European Conference on Software Architecture - Volume 2* (s. 261-268). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3344948.3344971>

Asl, M. B., Khalilzadeh, H. R., Youshanlouei, H. R., & Mood, M. M. (2012). Identifying and ranking the effective factors on selecting Enterprise Resource Planning (ERP) system using the combined Delphi and Shannon Entropy approach. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, *41*, 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.063>

Autenrieth, P., Lörcher, C., Pfeiffer, C., Winkens, T., & Martin, L. (2018). Current Significance of IT-Infrastructure enabling Industry 4.0 in Large Companies: A multiple Case Study. In *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436244>

Avilés-Sacoto, S. V., Avilés-González, J. F., García-Reyes, H., Bermeo-Samaniego, M. C., Canizares-Jaramillo, A. K., & Izquierdo-Flores, S. N. (2019). A Glance of Industry 4.0 at Supply Chain and Inventory Management. *International Journal of Industrial Engineering*, *26*(4), 486-506.

Avvaru, V. S., Bruno, G., Chiabert, P., & Traini, E. (2020). Integration of PLM, MES and ERP Systems to Optimize the Engineering, Production and Business. In F. Nyffenegger, J. Rios, L. Rivest, & A. Bouras (Eds.), *Product Lifecycle Management Enabling Smart X* (s. 70-82). Springer. <https://inria.hal.science/hal-03753122/document>

Azevedo, P. S., Azevedo, C., & Romao, M. (2014). Application Integration: Enterprise Resource Planning (ERP) systems in the hospitality industry. *Procedia Technology*, *16*, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.067>

Babel, W. (2022). *Industry 4.0, China 2025, IoT: The Hype Around the World of Automation*. Springer.

Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. *Jurnal Teknologi*, *78*, 137-143.

Barna, L. (2021). The Impact of Digitalization and Industry 4.0 on Business. ERP Systems can be a Solution for Business? In A. M. Dima (Ed.), *Resilience and Economic Intelligence Through Digitalization and Big Data Analytics* (s. 98-105). Bucharest University of Economic Studies. <https://doi.org/10.2478/9788366675704-011>

Basl, J., & Blažiček, R. (2012). *Podnikové informační systémy – Podnik v informační společnosti* (3. aktualizované a doplněné vydání). Grada Publishing a.s.

Basl, J. (2018a). Analysis of Industry 4.0 Readiness Indexes and Maturity Models and Proposal of the Dimension for Enterprise Information Systems. In A. M. Tjoa et al. (Eds.), *Lecture Notes in Business Information Processing 310* (s. 57-68). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99040-8_5

Basl, J. (2018b). Penetration of Industry 4.0 Principles into ERP Vendors' Products and Services – A Central European Study. In A. M. Tjoa et al. (Eds.), *Lecture Notes in Business Information Processing 310* (pp. 81-90). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94845-4_8

Basl, J., & Nováková, M. (2019). Analysis of Selected ERP 4.0 Features and Proposal of an ERP 4.0 Maturity Model. In P. Doucek et al. (Eds.), *Lecture Notes in Business Information Processing 375* (pp. 3-11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37632-1_1

Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuss, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1, 213-22. <https://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>

Belet, T., & Purcarea, A. A. (2017). The Evolution of Enterprise Resource Planning Systems. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(12), 1091-1095. <https://dx.doi.org/10.24001/ijaems.3.12.1>

Berg, K. L., Seymour, T., & Goel, R. (2013). History Of Databases. *International Journal of Management & Information Systems*, 17(1), 29-36. <https://doi.org/10.19030/ijmis.v17i1.7587>

Berić, D., Sekulić, D., Lolić, T., & Stefanović, D. (2018). Evolution of ERP Systems in SMEs – Past Research, Present Findings and Future Directions. In N. Tasic, & D. Gračanin (Eds.), *Proceedings of TEAM 2018 9th International Scientific and Expert Conference* (s. 400-405). TEAM Society.

Bhatt, N., Guru, S., Thanki, S., & Sood, G. (2021). Analysing the factors affecting the selection of ERP package: a fuzzy AHP approach. *Information Systems and e-Business Management*, 19, 641-682. <https://doi.org/10.1007/s10257-021-00521-8>

Bianco, P., Kotermanski, R., & Merson, P. (2007). *Evaluating a Service-Oriented Architecture* [Technical report]. Software Engineering Institute.

Bond, B., Genovese, Y., Miklovic, D., Wood, N., Zrimsek, B., & Rayner, N. (2000). *ERP Is Dead – Long Live ERP II* [analytická studie]. Gartner.

Bongomin, O., Yemane, A., Kembabazi, B., Malanda, C., Mwape, M. C., Mpofo, N., S., & Tigalana, D. (2020). Industry 4.0 Disruption and Its Neologisms in Major Industrial Sectors: A State of the Art. *Hindawi Journal of Engineering*, 8090521. <https://doi.org/10.1155/2020/8090521>

Bordeleau, F., Mosconi, E., & De Santa-Eulalia, L. A. (2018). Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities. In T. X. Bui (Ed.), *Proceedings of the 51st Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (s. 3944-3953). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.495>

Brandl, D., & Johnsson, Ch. (2021). *Beyond the Pyramid: Using ISA95 for Industry 4.0 and Smart Manufacturing*. <https://www.isa.org/intech-home/2021/october-2021/features/beyond-the-pyramid-using-isa95-for-industry-4-0-an>

Britannica. (n.d.a). *Oracle Corporation*. <https://www.britannica.com/topic/Oracle-Corporation>

Britannica. (n.d.b). *Industrial Revolution Timeline*. <https://www.britannica.com/summary/Industrial-Revolution-Timeline>

de Bruin, T., Freeze, R., Kulkarni, U., & Rosemann, M. (2005). Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. In *ACIS 2005 Proceedings* (109). Association for Information Systems.

de Bruin, T., & Rosemann, M. (2007). Using the Delphi Technique to Identify BPM Capability Areas. In *ACIS 2007 Proceedings* (s. 643-653). Association for Information Systems.

Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150, 119790. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119790>

Carvalho, N. B., & Cazarini, E. W. (2020). Industry 4.0 – What Is It?. In J. H. Ortiz (Ed.), *Industry 4.0 – Current Status and Future Trends* (s. 3-12). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90068>

Cebeci, U. (2009). Fuzzy AHP-based decision support system for selecting ERP systems in textile industry by using balanced scorecard. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8900-8909. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.046>

Ciric, D., Lolic, T., Gračanin, D., Stefanovic, D., & Lalic, B. (2020). The Application of ICT Solutions in Manufacturing Companies in Serbia. In B. Lalic et al. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing. IFIP Advances in Information and Communication Technology* (s. 122-129). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_15

Chamberlin, D. D., Astrahan, M. M., Blasgen, M. W., Gray, J. N., King, W. F., Lindsay, B. G., Lorie, R., Mehl, J. W., Price, T. G., Putzolu, F., Selinger, P. G., Schkolnick, M., Slutz, D. R., Traiger, I. L., Wade, B. W., & Yost, R. A. (1981). History and Evaluation of System R. *Communications of the ACM*, 24(10), 632-646. <https://doi.org/10.1145/358769.358784>

Chang, S., Yen, D. C., Chang, I., & Jan, D. (2014). Internal control framework for a compliant ERP system. *Information & Management*, 51, 187-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2013.11.002>

Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505-6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>

Chofreh, A. G., Goni, F. A., Shaharoun, A. M., Ismail, S., & Klemeš, J. J. (2014). Sustainable enterprise resource planning: imperatives and research directions. *Journal of Cleaner Production*, 71, 139-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.010>

Chofreh, A. G., Goni, F. A., & Klemeš, J. J. (2018). Sustainable enterprise resource planning systems implementation: A framework development. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1345-1354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.096>

Cocca, P., Marciano, F., Rossi, D., & Alberti, M. (2018). Business Software Offer for Industry 4.0: the SAP case. *IFAC PapersOnLine*, 51(1), 1200-1205. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.427>

Codd, E. F. (1970). A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. *Communications of the ACM*, 13(6), 377-387. <https://doi.org/10.1145/362384.362685>

ČSÚ. (2020). *Širší aspekty vývoje průmyslu v ČR i EU z pohledu trhu práce*. <https://www.czso.cz/documents/10180/151683470/320329-20a.pdf/f9e0ebd8-b1b0-44b5-9be1-0117ef0e77fa?version=1.1>

Dasaklis, T. K., Voutsinas, T. G., & Mihiotis, A. (2021). Integrating blockchain with Enterprise Resource Planning systems: benefits and challenges. In M. Vassilakopoulos, N. Karanikolas, G. Stamoulis, V. Verykios, & C. Sgouropoulou (Eds.), *PCI '21: Proceedings of the 25th Pan-Hellenic Conference on Informatics* (s. 265-270). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3503823.3503873>

Davenport, T. H. (1998). *Putting the Enterprise into the Enterprise System*. Harvard Business Review. <https://hbr.org/1998/07/putting-the-enterprise-into-the-enterprise-system>

Davies, J. (n.d.). *How Software can be the Central Nervous System to your Business*. <https://www.winman.com/blog/how-software-for-manufacturing>

De Felice, F., Petrillo, A., & Zomparelli, F. (2016). *Design and control of logistic process in an Italian Company: Opportunities and Challenges based on Industry 4.0 principles*. https://www.summerschool-aidi.it/edition-2016/cms/extra/papers/final_39.pdf

Delloite. (2022). *Industry 4.0 – Is your ERP system ready for the digital era?* https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/technology/Deloitte_ERP_Industrie-4-0_Whitepaper.pdf

Delloite. (n.d.). *Industry 4.0 and the digital twin*.
https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf

De Man, J. C., Strandhagen, & J. O. (2018). Spreadsheet Application still dominates Enterprise Resource Planning and Advanced Planning Systems. *IFAC PapersOnLine*, 51(11), 1224-1229. <http://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.423>

De Pace, F., Manuri, F., & Sanna, A. (2018). Augmented Reality in Industry 4.0. *American Journal of Computer Science and Information Technology*, 6(1).
<https://doi.org/10.21767/2349-3917.100017>

De Soete, W. (2016). Towards a Multidisciplinary Approach on Creating Value: Sustainability through the Supply Chain and ERP Systems. *Systems*, 4(16),
<https://doi.org/10.3390/systems4010016>

Didden, J. B. H. C., Dang, Q., & Adan, I. J. B. F. (2021). A semi-decentralized control architecture for high-mix-low-volume factories in Industry 4.0. *Manufacturing Letters*, 30, 11-14. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2021.09.005>

Doyle, F., & Cosgrove, J. (2019). Steps towards digitization of manufacturing in an SME environment. *Procedia Manufacturing*, 38, 540-547.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.068>

Duan, J., Faker, P., Fesak, A., & Stuart, T. (2013). Benefits and Drawbacks of Cloud-Based Versus Traditional ERP Systems. In W. J. H. van Groenendaal (Ed.), *Proceedings of the 2012-13course on Advanced Resource Planning*. Tilburg University.

Dudek, A., Patalas-Maliszevska, J., & Kowalczywska, K. (2023). Automatic Configuration of an Order as an Integral Part of a Cyber-Physical System in a Manufacturing Operating According to Mass-Customisation Strategy. *Applied Sciences*, 13, 2499. <https://doi.org/10.3390/app13042499>

Eastman, J. (2015). Brief History of Barcode Scanning. In P. Kelley, G. Agrawal, M. Bass, J. Hecht, & C. Stroud (Eds.), *OSA Century of Optics* (s. 128-133). Optical Society.
https://opticaorgdev.blob.core.windows.net/media/optica/media/osa.history/century_of_optics/1960-1974/128.pdf

Efe, B. (2016). An integrated fuzzy multi criteria group decision making approach for ERP system selection. *Applied Soft Computing*, 38, 106-117. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.037>

Eger, L., & Egerová, D. (2017). *Základy metodologie výzkumu*. Západočeská univerzita v Plzni.

Egger, J., & Masood, T. (2020). Augmented reality in support of intelligent manufacturing – a systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106195>

El Hamdi, S., Abouabdellah, A., & Oudani, M. (2018). Disposition of Moroccan SME Manufacturers to Industry 4.0 with the implementation of ERP as a first step. In *2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES)* (s. 116-122). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ES.2018.00025>

Eli Whitney Museum and Workshop. (n.d.). *Eli Whitney: The Inventor*. <https://www.eliwhitney.org/museum/about-eli-whitney/inventor>

Elmonem, M. A. A., Nasr, E. S., & Geith, M. H. (2016). Benefits and challenges of cloud ERP systems - A systematic literature review. *Future Computing and Informatics Journal*, 1, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcij.2017.03.003>

Erboz, G. (2017). How To Define Industry 4.0: Main Pillars Of Industry 4.0. In I. Košičiarová, & Z. Kádeková (Eds.), *Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era* (s. 761-767). Slovak University of Agriculture in Nitra. https://www.researchgate.net/publication/326557388_How_To_Define_Industry_40_Main_Pillars_Of_Industry_40

Esmaeilian, B., Sarkis, J., Lewis, K., & Behdad, S. (2020). Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105064. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105064>

European Commission. (2017). *France - Industrie du Futur*. <https://ati.ec.europa.eu/reports/policy-briefs/france-industrie-du-futur>

Eurostat. (2021). *Integration of internal processes*. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_EB_IIP__custom_3717596/default/table?lang=en

Faller, C., & Höftmann, M. (2018). Service-oriented communication model for cyber-physical-production-systems. *Procedia CIRP*, 67, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.192>

Felch, V., Asdecker, B., & Sucky, E. (2019). Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice? In T. Bui (Ed.), *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences* (s. 5165-5174). HICSS Conference Office, Department of IT Management, Shidler College of Business, University of Hawaii at Manoa. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2019.620>

Ferrari, A. M., Volpi, L., Settembre-Blundo, D., & Garcia-Muina, F. E. (2021). Dynamic life cycle assessment (LCA) integrating life cycle inventory (LCI) and Enterprise resource planning (ERP) in an industry 4.0 environment. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125314><https://doi.org/>

Ford. (n.d.). *The Moving Assembly Line and the Five-Dollar Workday*. <https://corporate.ford.com/articles/history/moving-assembly-line.html>

Gartner. (n.d.a). *Big Data*. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>

Gartner. (n.d.b). *What are Manufacturing Execution Systems (MESs)?*. <https://www.gartner.com/reviews/market/manufacturing-execution-systems>

German Research Center for Artificial Intelligence. (2021). *Ten Years of INDUSTRIE 4.0 – Germany Driving Industrial AI as the Means to Future Value Creation*. <https://www.dfki.de/en/web/news/ten-years-of-industrie-4-0-interview-wolfgang-wahlster-cea-dfki>

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. Apress.

Gillis, A. S. (n. d.). *REST API (RESTful API)*. <https://www.techtarget.com/searchapparchitecture/definition/RESTful-API>

Giuliano, F., Rombo, S. E., Bonomo, M., Iiritano, S., Granata, L., Ruffolo, M., & Tinnirello, I. (2023). Amarelli's Industry 4.0 Transformation with IoT and Digital Advertisement: Optimizing Operations and Engaging Customers. In *Proceedings of*

the Workshops of the EDBT/ICDT 2023 Joint Conference. CEUR-WS. https://ceur-ws.org/Vol-3379/DARLI-AP_2023_3.pdf

Gjeldum, N., Mladineo, M., Crnjac, M., Veza, I., & Aljinovic, A. (2018). Performance analysis of the RFID system for optimal design of the intelligent assembly line in the learning factory. *Procedia Manufacturing*, 23, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.162>

Goldston, J. (2020). The Evolution of ERP Systems: A Literature Review. *International Journal of Research Publication*, 50(1). <https://ijrp.org/paper-detail/1042>

Gottschalk, P. (2009). Maturity levels for interoperability in digital government. *Government Information Quarterly*, 26, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2008.03.003>

Govender, E., Telukdarie, A., & Sishi, M. N. (2019). Approach for Implementing Industry 4.0 Framework in the Steel Industry. In *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (s. 1314-1318). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM44572.2019.8978492>

Graney, G. (2017). *Industry 4.0: An Introduction*. QAD Blog. <https://www.qad.com/blog/2017/07/industry-4-0-introduction>

Grangel-González, I., Rickart, M., Rudolph, O., & Shah, F. (2023). LIS: A Knowledge Graph-Based Line Information System. In C. Pesquita et al. (Eds.) *The Semantic Web: 20th International Conference, ESWC 2023 Hersonissos, Crete, Greece, May 28–June 1, 2023 Proceedings* (s. 591-608). Springer. https://2023.eswc-conferences.org/wp-content/uploads/2023/05/paper_Grangel_2023_LIS.pdf

Grassi, A., Guizzi, G., Santillo, L. C., & Vespoli, S. (2020). A semi-heterarchical production control architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 24, 43-46. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.03.007>

Groumpos, P. P. (2021). A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions. *IFAC PapersOnLine*, 54(13), 464-471. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>

Gupta, S., Meissonier, R., Drave, V. A., & Roubaud, D. (2020). Examining the impact of Cloud ERP on sustainable performance: A dynamic capability view. *International*

Journal of Information Management, 51, 102028.
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.10.013>

Gürbüz, T., Alptekin, S. E., & Apltekin, G. I. (2012). A hybrid MCDM methodology for ERP selection problem with interacting criteria. *Decision Support Systems*, 54(1), 206-214. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2012.05.006>

Haberli, C., Oliveira, T., Yanaze, M. (2019). The adoption stages (Evaluation, Adoption, and Routinisation) of ERP systems with business analytics functionality in the context of farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 334-348. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.11.028>

Haddara, M., & Elragal, A. (2015). The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future. *Procedia Computer Science*, 64, 721-728. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.598>

Hainaut, J. (2018). Network Data Model. In L. Liu, & M. T. Öszu (Eds.), *Encyclopedia of Database Systems* (s. 2490-2497). Springer.

Haradhan, K. M. (2021). Third Industrial Revolution Brings Global Development. *Journal of Social Sciences and Humanities*, 7(4), 239-251. https://mpr.aub.uni-muenchen.de/110972/1/MPRA_paper_110972.pdf

Helfgott, R. B. (1986). America's Third Industrial Revolution. *Challenge*, 29(5), 41-46. <https://doi.org/10.1080/05775132.1986.11471116>

Hendl, J., & Remr, J. (2017). *Metody výzkumu a evaluace*. Portál.

Herlyn, W. J. (2021). Application-Architecture of an ERP-System for the era of Industry 4.0. In *INFORMATIK 2021* (s. 1313-1324). Gesellschaft für Informatik. <https://doi.org/10.18420/informatik2021-109>

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In T. X. Bui, & R. H. Sprague (Eds.), *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) – Conference Proceedings* (s. 3928-3937). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

Hirschheim, R., & Klein, H. K. (2012). A Glorious and Not-So-Short History of the Information Systems Field. *Journal of the Association for Information Systems*, 13(4), 188-235. <https://doi.org/10.17705/1jais.00294>

Hofmann, E., & Rüscher, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>

Hozdic, E. (2015). Smart Factory for Industry 4.0: A Review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35.

Hrischev, R. (2020). ERP systems and data security. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 878, 012009. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/878/1/012009>

Hsu T., Wang L., & Chu, P. (2018). Development of a Cloud-based Advanced Planning and Scheduling System. *Procedia Manufacturing*, 17, 427-434. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.066>

Hurbean, L., & Fotache, D. (2014). ERP III: The Promise of A New Generation. In *Proceeding of the 13th International Conference on Informatics in Economy*.

IBM. (n.d.a). *The birth of the IBM PC*. https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/pc25/pc25_birth.html

IBM. (n.d.b). *ETL (Extract, Transform, Load)*. <https://www.ibm.com/topics/etl>

IBM. (n.d.b). *What is an API?* <https://www.ibm.com/topics/api>

IBM. (2020). *Three-Tier Architecture*. <https://www.ibm.com/cz-en/cloud/learn/three-tier-architecture>

IBM. (2021). *SOA (Service-Oriented Architecture)*. <https://www.ibm.com/cloud/learn/soa>

iLearn ERP. (2021). *A Brief History of JD Edwards*. <https://www.ilearnerp.com/a-brief-history-of-jd-edwards>

Industrial Value Chain Initiative. (n.d.). *Founding Prospectus / Philosophy / Mission / Vision*. <https://iv-i.org/en/organizations/>

Institute for Security & Development Policy. (2018). *Made in China 2025*. <https://isdpeu.org/content/uploads/2018/06/Made-in-China-Backgrounder.pdf>

Jacob, B., Ng S. W., & Wang, D. T. (2008). Overview of Disks. In B. Jacob, S. W. Ng, & D. T. Wang (Eds.), *Memory Systems – Cache, DRAM, Disk* (s. 601-613). Morgan Kaufmann.

Jacobs, F. R., & Weston, F. C. (2007). Enterprise resource planning (ERP)—A brief history. *Journal of Operations Management*, 25, 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>

Jevons, H. S. (1931). The Second Industrial Revolution. *The Economic Journal*, 41(161), 1-18. <https://doi.org/10.2307/2224131>

Ji, X., Ye, H., Zhou, J., & Deng, W. (2016). Digital management technology and its application to investment casting enterprises. *China foundry*, 13(5). <https://doi.org/10.1007/s41230-016-6011-0>

Joyoadikusumo, A. (2021). *The History of Random Access Memory: From Drums to DDR5*. <https://hybrid.co.id/post/history-of-random-access-memory>

Kagermann, H., Lukas, W., & Wahlster, W. (2011). *Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution*. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/produktion/industrie-40-mit-internet-dinge-weg-4-industriellen-revolution/>

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Securing the future of German manufacturing industry - Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 - Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>

Kähkönen, T., Maglyas, A., & Smolander, K. (2014). ERP System Integration: An Inter-organizational Challenge in the Dynamic Business Environment. In J. Cordeiro, S. Hammoudi, L. Maciaszek, O. Camp, & J. Filipe (Eds.), *Enterprise Information Systems* (s. 39-56). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22348-3_3

Kannoth, S., Hermann, J., Damm, M., Rübél, P., Rusin, D., Jacobi, M., Mittelsdorf, B., Kuhn, T., & Antonino, P. O. (2021). Enabling SMEs to Industry 4.0 Using the BaSyx Middleware: A Case Study. In S. Biffli, E. Navarro, W. Löwe, M. Sirjani, R. Mirandola, & D. Weyns (Eds.), *Software Architecture* (s. 277-294). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86044-8_19

Kannus, K., & Ilvonen, I. (2018). Future Prospects of Cyber Security in Manufacturing: Findings from a Delphi Study. In T. X. Bui (Ed.), *Proceedings of the 51st Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (s. 4762-4771). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.599>

Kaplan, D.A. (2018). *The rise, fall and return of RFID*. <https://www.supplychaindive.com/news/RFID-rise-fall-and-return-retail/530608/>

Karlsson, S., & Lugn, A. (n.d.). *The invention of the telephone*. <https://www.ericsson.com/en/about-us/history/changing-the-world/phones-for-everyone/the-invention-of-the-telephone>

Karsak, E. E., & Özegul, C. O. (2009). An integrated decision making approach for ERP system selection. *Expert Systems with Applications*, 36(1), 660-667. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.09.016>

Katuu, S. (2020). Enterprise Resource Planning: Past, Present, and Future. *New Review of Information Networking*, 25(1), 37-46. <https://doi.org/10.1080/13614576.2020.1742770>

Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2014). Development of a hybrid methodology for ERP system selection: The case of Turkish Airlines. *Decision Support Systems*, 66, 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2014.06.011>

Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2015). Selecting The Best ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *Expert Systems with Applications*, 42(5), 2343-2352. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.10.034>

Kilimis, P., Zou, W., Lehmann, M., & Berger, U. (2019). A Survey on Digitalization for SMEs in Brandenburg, Germany. *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 2140-2145. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.522>

Kitsantas, T. (2022). Exploring Blockchain Technology and Enterprise Resource Planning System: Business and Technical Aspects, Current Problems, and Future Perspectives. *Sustainability*, 14, 7633. <https://doi.org/10.3390/su14137633>

Koh, L., Orzes, G., & Jia, F. (2019). Guest editorial - The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management.

International Journal of Operations & Production Management, 39(6/7/8), 817 – 828.
<https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2019-788>

Kopishynska, O., Utkin, Y., Makhmudov, K., Kalashnik, O., Moroz, S., & Somych, M. (2023a). Digital Transformation of Resource Management of Territorial Communities Based on the Cloud ERP System in the Concept of Industry 4.0. In N. Callaos, J. Horne, B. Sánchez, M. Savoie (Eds.), *Proceedings of the 17th International Multi-Conference on Society, Cybernetics and Informatics: IMSCI 2023* (s. 13-20). International Institute of Informatics and Cybernetics.
<https://doi.org/10.54808/IMSCI2023.01.13>

Kopishynska, O., Utkin, Y., Sliusar, I., Muravlov, V., & Makhmudov, K. (2023b). Application of Modern Enterprise Resource Planning Systems for Agri-Food Supply Chains as a Strategy for Reaching the Level of Industry 4.0 for Non-Manufacturing Organizations. *Engineering Proceedings*, 40, 15.
<https://doi.org/10.3390/engproc2023040015>

Králová, M. (n.d.). *Parní stroj*.
<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/plyny/tepelne-motory/parni-stroj>

Lacurezeanu, R., Chis, A., & Bresfelean, V. P. (2021). Integrated Management Solution for a Sustainable SME – Selection Proposal Using AHP. *Sustainability*, 13(19), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su131910616>

Lahrman, G., Marx, F., Winter, R., & Wortmann, F. (2011). Business Intelligence Maturity: Development and Evaluation of a Theoretical Model. In R. H. Sprague (Ed.), *Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on System Sciences – 2011*. IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2011.90>

Lake, P., & Crowther, P. (2013). *Concise Guide to Databases: A Practical Introduction*. Springer.

Lasi, H., Kemper, H., Fettke, P., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 4, 239-242.
<https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

Lee, E. A. (2006). *Cyber-Physical Systems - Are Computing Foundations Adequate?* [Position Paper] NSF Workshop On Cyber-Physical Systems: Research Motivation, Techniques and Roadmap, Austin – Texas.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

Leyh, Ch., Schäffer, T., Bley, K., & Forstehäusler, S. (2016). SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprise-wide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0. In M. Ganzha, L. Maciaszek, & M. Paprzycki (Eds.), *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (s. 1297-1302). IEEE. <https://doi.org/10.15439/2016F478>

Liu, Y., Li, Z., Wang, Z., Bai, H., Xing, Y., & Zeng, P. (2019a). Design of the Intelligent Manufacturing Demonstration. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 252, 052001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/5/052001>

Liu, J., Wang, L., & Chu, P. (2019b). Development of a Cloud-based Advanced Planning and Scheduling System for Automotive Parts Manufacturing Industry. *Procedia Manufacturing*, 38, 1532-1539. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.133>

López, C., & Ishizaka, A. (2017). GAHPSort: A new group multi-criteria decision method for sorting a large number of the cloud-based ERP solutions. *Computers in Industry*, 92-93, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.06.007>

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>

Lukac, D. (2015). The fourth ICT-based Industrial Revolution „Industry 4.0“ – HMI and the case of CAE/CAD Innovation with EPLAN P8. In *Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23rd, Proceedings of Papers* (s. 835-838). Telecommunications Society. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2015.7377595>

Luther, D. (2022). *10 Criteria to Select and Compare ERP Vendors*. <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/erp-vendor-selection-criteria.shtml>

Magalhaes, L. C., Magalhaes, L. C., Ramos, J., B., Moura, L. R., de Moraes, R. E. N., Goncalves, J. B., Hisatugu, W. H., Souza, M. T., de Lacalle, L. N. L., & Ferreira, J. C. E. (2022). Conceiving a Digital Twin for a Flexible Manufacturing System. *Applied Sciences*, 12, 9864. <https://doi.org/10.3390/app12199864>

Maia, E., Wannous, S., Dias, T., Praca, I., & Faria, A. (2022). Holistic Security and Safety for Factories of the Future. *Sensors*, 22, 9915. <https://doi.org/10.3390/s22249915>

Majeed, M. A. A., & Rupasinghe, T. D. (2017). Internet of Things (IoT) Embedded Future Supply Chains for Industry 4.0: An Assessment from an ERP-based Fashion Apparel and Footwear Industry. *Journal of Supply Chain Management*, 6(1), 25-40.

Majstorovic, V., Stojadinovic, S., Lalic, B., & Marjanovic, U. (2020). ERP in Industry 4.0 Context. In B. Lalic et al. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems. APMS 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology* (s. 287-294). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57993-7_33

Malaga, M., Broum, T., & Ulrych, Z. (2022). Cost-related industrial project design using simulation, layout design and an ERP system. In *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/HORA55278.2022.9799830>

Manoharan, A., & Singal, M. (2017). A systematic literature review of research on diversity and diversity management in the hospitality literature. *International Journal of Hospitality Management*, 66, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2017.07.002>

Mantravadi, S., Moller, C., & Christensen, F. M. M. (2018). Perspectives on Real Time Information Sharing through Smart Factories: Visibility via Enterprise Integration. In *2018 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)* (s. 133-137). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SST.2018.8564617>

Marcon, P., Zezulka, F., & Bradac, Z. (2018). Terminology of Industry 4.0. *Fundamental Sciences and Applications*, 24, 7-12.

Marinho, M., Prakash, V., Garg, L., Savaglio, C., & Bawa, S. (2021). Effective Cloud Resource Utilisation in Cloud ERP Decision-Making Process for Industry 4.0 in the United States. *Electronics*, 10, 959. <https://doi.org/10.3390/electronics10080959>

Marr, B. (2018). *What is Industry 4.0? Here's A Super Easy Explanation For Anyone*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/09/02/what-is-industry-4-0-heres-a-super-easy-explanation-for-anyone/?sh=7d6e2ce99788>

Martin, C. R. (2020). *Brush up your COBOL: Why is a 60 year old language suddenly in demand?* <https://stackoverflow.blog/2020/04/20/brush-up-your-cobol-why-is-a-60-year-old-language-suddenly-in-demand/>

Mařík, V., Beran, H., Bízková, R., Bunčeka, M., Burčík, J., Burget, P., Burian, J., Čirličová, A., Csank, P., Czesaná, V., Čížek, B., Datel, V., Doupovec, M., Drábová, D., Filová, J., Fürman, J., Haindl, M., Hajič, J., Hanzlík, M., ... Židek, J. (2017). *Průmysl 4.0 – Výzva pro Českou republiku*. Management Press.

Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>

McCormack, K., Willems, J., Bergh, J., Deschoolmeester, D., Willaert, P., Štemberger, M. I., Škrinjar, R., Trkman, P., Ladeira, M., B., de Oliveira, M. P. V., Vuksic, V., B., & Vlahovic, N. (2009). A global investigation of key turning points in business process maturity. *Business Process Management Journal*, 15(5), 792-815. <https://doi.org/10.1108/14637150910987946>

McCue, I. (2020). *The History of ERP*. <https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/erp/erp-history.shtml>

Michel, R. (2019). *ERP in the age of omni-channel*. https://www.logisticsmgmt.com/article/erp_in_the_age_of_omni_channel

Microsoft. (n.d.). *What are public, private, and hybrid clouds?* <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-are-private-public-hybrid-clouds/#overview>

Microsoft. (2023). *Maximum capacity specifications for SQL Server*. <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/maximum-capacity-specifications-for-sql-server?view=sql-server-ver16>

Miller, T. (2023). *Top 10 ERP selection criteria (including checklist)*. <https://www.erpfocus.com/ten-essential-erp-selection-criteria-2640.html>

Mladineo, M., Veza, I., Gjeldum, N., Crnjac, M., Aljinovic, A., & Basic, A. (2019). Integration and testing of the RFID-enabled Smart Factory concept within the Learning

Factory. *Procedia Manufacturing*, 31, 384-389.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.060>

Moghaddam, M., Jones, A., & Wuest, T. (2019). Design of Marketplaces for Smart Manufacturing Services. *Procedia Manufacturing*, 39, 194-201.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.312>

Mokyer, J. (1998). *The Second Industrial Revolution, 1870-1914*.
<https://faculty.wcas.northwestern.edu/jmokyr/castronovo.pdf>

Moller, C. (2004). ERP II: next-generation extended enterprise resource planning. In J. Damsgaard, J. Hørlück, P. Kræmmergaard, & J. Rose (Eds.), *Organizing for Networked Information Technologies: Readings in Process Integration and Transformation*, Aalborg Universitet sforlag (s. 108–118). Aalborg Academic Press..

Morawiec, P. & Soltysik-Piorunkiewicz, A. (2023). ERP System Development for Business Agility in Industry 4.0—A Literature Review Based on the TOE Framework. *Sustainability*, 15, 4644. <https://doi.org/10.3390/su15054646>

Motroc, G. (2017). *The State of API Integration: SOAP vs. REST, public APIs and more*. https://devm.io/api/state-of-api-integration-report-136342?utm_source=xp&utm_medium=blog&utm_campaign=content%22%20\h

MPO. (2016). *Iniciativa Průmysl 4.0*.
<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

Mubarok, K. (2020). Redefining Industry 4.0 and Its Enabling Technologies. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569, 032025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032025>

Nakayama, R. S., Spínola, M. M., & Silva, J. R. (2020). Towards I4.0: A comprehensive analysis of evolution from I3.0. *Computers & Industrial Engineering*, 144, 106453. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106453>

Nata Kusuma, L. T. W., Leu, J., & Tseng, F. (2019). Advanced ERP Application for Marine Transportation Industry in the South Asia Pacific Country; a Case Study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528, 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012048>

Naveed, Q. N., Islam, S., Qureshi, M. R. N. M., Aseere, A. M., Rasheed, M. A. A., & Fatima, S. (2021). Evaluating and Ranking of Critical Success Factors of Cloud Enterprise Resource Planning Adoption Using MCDM Approach. *IEEE Access*, 9, 156880-156893. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3129523>

Nef, J. U. (1943). The Industrial Revolution Reconsidered. *The Journal of Economic History*, 3(1), 1-31. <https://www.jstor.org/stable/2113419>

Novák, P., Vyskočil, J., & Wally, B. (2020). The Digital Twin as a Core Component for Industry 4.0 Smart Production Planning. *IFAC PapersOnLine*, 53(2), 10803-10809. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2865>

Nugroho, A., Rizaludin, D., Soebandhi, S., Junaedi, L., Winardi, S., & Al-Azam, M. N. (2020). Automatic Sign of Commencement of Work from Enterprise Resource Planning. In *2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*. IEEE. <https://erepository.uwks.ac.id/8941/1/18.%20c.1.10%20iCosta%20-%20Artikel%20Automatic%20Sign%20of%20Commencement%20of%20Work.pdf>

Oman, S., Leskovar, R., Rosi, B., & Baggia, A. (2017). Integration of MES and ERP in Supply Chains: Effect Assessment in The Case of The Automotive Industry. *Tehnički vjesnik*, 24(6), 1889-1896. <https://doi.org/10.17559/TV-20160426094449>

Oracle. (n.d.). *Co jsou big data?* <https://www.oracle.com/cz/big-data/what-is-big-data/>

O'Reilly. (n.d.). *Brief History of SAP*. <https://www.oreilly.com/library/view/sap-basis-administration/9780071663489/ch01lev1sec3.html>

Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>

Paelke, V. (2014). Augmented Reality in the Smart Factory Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment. In A. Grau, & H. Martinez (Eds.), *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005252>

Patalas-Maliszewska, J., Posdzych, M., & Skrzypek, K. (2022). MODELLING INFORMATION FOR THE BURNISHING PROCESS IN A CYBER–PHYSICAL

PRODUCTION SYSTEM. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 32(3), 345-354.
<https://doi.org/10.34768/amcs-2022-0025>

Paththinige, P., Thilakarathne, K., Rathnasekara, T., Wickramaarachchi, R., & Withanaarachchi, A. (2022). Examine the Impact of IoT for Supply Chain-Based Operations in ERP Systems: Systematic Literature Review. In *Smart Computing and Systems Engineering* (s. 344-350). University of Kelaniya. <https://doi.org/10.1109/SCSE56529.2022.9905098>

Pauker, F., Frühwirth, T., Kittl, B., & Kastner, W. (2016). A systematic approach to OPC UA information model design. *Procedia CIRP*, 57, 321-326.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.056>

Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, Ch. V. (1993). *Capability Maturity Model for Software, Version 1.1*. Software Engineering Institute.
https://insights.sei.cmu.edu/documents/1092/1993_005_001_16211.pdf

Pavlovic, M., Marjanovic, U., Rakic, S., Tasic, N., & Lalic, B. (2020). The Big Potential of Big Data in Manufacturing: Evidence from Emerging Economies. In In B. Lalic et al. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing. IFIP Advances in Information and Communication Technology* (s. 100-107). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57997-5_12

Peddie, J. (2017). *Augmented Reality Where We Will All Live*. Springer.

Perera, A. G., Dionisio, P. S., & Jiménez, A. J. (2018). ERP systems in the context of Industry 4.0. Advances, challenges and implications. *DYNA*, 93(6), 592-596.
<https://doi.org/10.6036/8835>

Piedade, F., Baptista, M., & Chaves, P. (2020). IN2Dig – Implementation of a Digital Manufacturing System in a Production Cell of the Metal Mold Industry: From Planning to Action. *Procedia Manufacturing*, 42, 104-110.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.030>

Plattform Industrie 4.0. (n.d.a). *The background to Plattform Industrie 4.0*.
<https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html>

Plattform Industrie 4.0. (n.d.b). *What is Industrie 4.0?* <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Industrie40/WhatIsIndustrie40/what-is-industrie40.html>

Polívka, M., & Dvořáková, L. (2019). Využití automatické identifikace a sběru dat prostřednictvím radiofrekvenčních technologií v prostředí průmyslu 4.0 [Use of Automatic Identification And Data Capture Based on Radio Frequency Technologies in The Environment of Industry 4.0]. *Trendy v podnikání*, 9(2), 53-61. https://doi.org/10.24132/jtb.2019.9.2.53_61

Pöppelbuss, J., & Röglinger, M. (2011). What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In *European Conference on Information Systems*. <https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1027&context=ecis2011>

Proenca, D., & Borbinha, J. (2016). Maturity Models for Information Systems - A State of the Art. *Procedia Computer Science*, 100, 1042-1049. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.279>

Punch, K. F. (2015). *Úspěšný návrh výzkumu* (Druhé vydání). Portál.

QAD. (n.d.). *Our Story*. <https://www.qad.com/about>

Qureshi, K. A., Mohammed, W. M., Ferrer, B. R., Lastra, J. L. M., & Agostinho, C. (2017). Legacy Systems Interactions with the Supply Chain Through the C2NET Cloud-based Platform. In *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (s. 725-731). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8104862>

Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184-1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>

Rashid, M. A., Hossain, L. & Patrick, J. D. (2002). The Evolution of ERP Systems: A Historical Perspective. In L. Hossain, J. D. Patrick & M. A. Rashid (Eds.), *Enterprise Resource Planning: Global Opportunities and Challenges* (s. 1-16). Igi Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-930708-36-5.ch003>

Rathnayake, H., Vimukthi, L., Gamage, M., Wickramaarachchi, R., & Withanaarachchi, A. (2022). Review of the State-of-the-Art of ERP 4.0 Systems. In *Smart Computing and Systems Engineering* (s. 351-355). University of Kelaniya.

Reference for Business. (n.d.). *Baan Company - Company Profile, Information, Business Description, History, Background Information on Baan Company*. <https://www.referenceforbusiness.com/history2/40/Baan-Company.html>

Rehman, S. U., & Ejaz, S. (2020). An Implementation of 9 Pillars of Industry 4.0 in Conventional Footwear Industry Model. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(12), 283-286. <https://www.ijeast.com/papers/283-286,Tesma412,IJEAST.pdf>

Reis, T. L., Mathias, M. A. S., & de Oliveira, O. J. (2017). Maturity models: identifying the state-of-the-art and the scientific gaps from a bibliometric study. *Scientometrics*, 110, 643-672. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2182-0>

Research and Innovation Centre on Advanced Industrial Production. (2020). *Prof. Wolfgang Wahlster on Industry 4.0*. <https://ricaip.eu/prof-wolfgang-wahlster-on-industrie-4-0/>

Richardson, Ch., (n.d.). *What are microservices?* <https://microservices.io/>

van de Riet, R., Janssen, W., & de Gruijter, P. (1998). Security moving from database systems to ERP systems. In A. M. Tjoa, & R. R. Wagner (Eds.), *Proceedings Ninth International Workshop on Database and Expert Systems Applications (Cat. No.98EX130)* (s. 273-280). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DEXA.1998.707413>

Roberts, B. H. (2015). *The Third Industrial Revolution: Implications for Planning Cities and Regions*. Urban Frontiers Working Paper 1. https://www.researchgate.net/publication/278671121_The_Third_Industrial_Revolution_Implications_for_Planning_Cities_and_Regions

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77-90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

Ross, P., & Maynard, K. (2021). Towards a 4th industrial revolution. *Intelligent Buildings International*, 13(3), 159-161. <https://doi.org/10.1080/17508975.2021.1873625>

Rouf, S., Malik, A., Singh, N., Raina, A., Naveed, N., Siddiqui, M. I. H., & Haq, M. I. U. (2022). Additive manufacturing technologies: Industrial and medical applications. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 258-274. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.001>

Rüssman, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Engel, P., Harnisch M., & Justus, J. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. BCG. https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries

Saboor, A., Imran, M., Agha, M. H., Ahmed, W. (2019). Flexible cell formation and scheduling of robotics coordinated dynamic cellular manufacturing system: A gateway to industry 4.0. In *2019 International Conference on Robotics and Automation in Industry (ICRAI)* (s. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRAI47710.2019.8967369>

Salomon, C., Ramler, R., Mayrhofer, A., & Sperrer, G. (2017). Towards Information Management Support in Test and Piloting of Complex Mechatronic Systems: An Industry Case Study. In F. Piazzolo, V. Geist, L. Brehm & R. Schimdt (Eds.), *Innovations in Enterprise Information Systems Management and Engineering* (s. 69-76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58801-8_6

SAP. (2022). *Make Industry 4.0 your everyday reality*. <https://www.sap.com/products/supply-chain-management/industry-4-0.html>

Sarac, A., Absi, N., & Dauzère-Pérés, S. (2010). A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *Int. J. Production Economics*, 128(1), 77-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.07.039>

Schaefer, D., Thames, J. L., Wellman, R. D., Wu, D., & Rosen, D. W. (2012). Distributed Collaborative Design and Manufacture in The Cloud – Motivation, Infrastructure, and Education. *Computers in Education Journal*, 3, 1-16.

Scheer, A., & Habermann, F. (2000). Making ERP a Success. *Communications of the ACM*, 43(4), 57-61. <https://doi.org/10.1145/332051.332073>

Schmidbauer, C., Komenda, T., & Schlund, S. (2020). Teaching Cobots in Learning Factories – User and Usability-Driven Implications. *Procedia Manufacturing*, 45, 398-404. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.043>

Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>

Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>

Senna, P. P., Barros, A. C., Roca, J. B., & Azevedo, A. (2023). Development of a digital maturity model for Industry 4.0 based on the technology-organization-environment framework. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 109645. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109645>

She, W., & Thuraisingham, B. (2007). Security for Enterprise Resource Planning Systems. *Information Systems Security*, 16(3), 152-163. <https://doi.org/10.1080/10658980701401959>

da Silva, E. R., Shinohara, A. C., Nielsen, C. P., de Lima, E. P., & Angelis, J. (2020). Operating Digital Manufacturing in Industry 4.0: the role of advanced manufacturing technologies. *Procedia CIRP*, 93, 174-179. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.063>

Simons, S., Abé, P., & Naser, S. (2017). Learning in the AutFab – the fully automated Industrie 4.0 learning factory of the University of Applied Sciences Darmstadt. *Procedia Manufacturing*, 9, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>

Sinha, D., & Roy, R. (2020). Reviewing Cyber-Physical System as a Part of Smart Factory in Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 103-117. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2992606>

Sinha, T. (2021). *OLAP vs. OLTP: What's the Difference?* <https://www.ibm.com/cloud/blog/olap-vs-oltp>

Sishi, M. N., & Telukdarie, A. (2020). Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry – a case study. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1504/IJMME.2020.10027477>

Sisinni, E., Saifullah, A., Han, S., Jennehag, U., & Gidlund, M. (2018). Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(1), 4724-4734. <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2852491>

Sodomka, P., & Klčová, H. (2010). *Informační systémy v podnikové praxi* (2. aktualizované a rozšířené vydání). Computer Press, a.s.

Soni, G., & Kodali, R. (2011). A critical analysis of supply chain management content in empirical research. *Business Process Management Journal*, 17(2), 238-266. <https://doi.org/10.1108/14637151111122338>

Spurgeon, C. E. (2000). *Ethernet: The Definitive Guide*. O'Reilly Media.

Stancioiu, A. (2017). The Fourth Industrial Revolution „Industry 4.0“. *Fiability & Durability*, 1(19), 74-78. https://www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2017-01/11_Alin%20ST%C4%82NCIOIU%20-%20THE%20FOURTH%20INDUSTRIAL%20REVOLUTION%20%E2%80%9EINDUSTRY%204.0%E2%80%9D.pdf

Stavropoulos, P., & Mourtzis, D. (2022). Digital twins in industry 4.0. In D. Mourtzis (Ed.), *Design and Operation of Production Networks for Mass Personalization in the Era of Cloud Technology* (pp. 277-316). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823657-4.00010-5>

Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>

Supramaniam, M., Shanmugam, B., & Abdullah, A. (2022). Investigating the Readiness of ERP system for Malaysian IR4.0 Factories. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(1), 1336-1344. [Pozn. autora – jedná se o plagiát práce Haddara & Erlagal (2015)]

Svaz průmyslu a dopravy České republiky. (2021). *Programové prohlášení Svazu průmyslu a dopravy ČR – priority a požadavky v oblasti digitální ekonomiky, Průmyslu 4.0 – 2022*. https://www.spcr.cz/files/cz/valne_hromady/PP_SPCR_Digi_2022.pdf

Swientek, M., Bleimann, U., & Dowland, P. S. (2008). Service-Oriented Architecture: Performance Issues and Approaches. In S. Furnell (Ed.), *Proceedings of the Seventh International Network Conference (INC 2008)* (s. 261-269). University of Plymouth. <https://www.cscan.org/?page=openaccess&eid=3&id=175>

Szelagowski, M., Berniak-Wozny, J., & Lupeikiene, A. (2022). The Future Development of ERP: Towards Process ERP Systems? In A. Marrella et al. (Eds.), *Business Process Management Blockchain, Robotic Process Automation, and Central and Eastern Europe Forum* (s. 326-341). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16168-1_21

Šeba, J., Hruška, R., & Švadlenka, L. (2016). Analysis of automatic identification and data capture systems use in logistics. *LOGI Scientific Journal on Transport and Logistics*, 7(1), 124-135. <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/67483/Analysis%20of%20automatic%20id%20entification.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Taalbi, J. (2017). *Origins and Pathways of Innovation in the Third Industrial Revolution: Sweden, 1950-2013*. Lund Papers in Economic History; No. 159. <https://ideas.repec.org/p/hhs/luekhi/0159.html>

Teichert, R. (2019). Digital Transformation Maturity: A Systematic Review of Literature. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(6), 1673-1687. <https://doi.org/10.11118/actaun201967061673>

Telukdarie, A., & Sishi, M. N. (2018). Enterprise Definition for Industry 4.0. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (s.849-853). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607642>

Temel, A., & Ayaz, M. (2019). Digital Transformation Design of Banbury Mixing Unit in Tire Manufacturing. In *2019 International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID)* (s. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAAID.2019.8934975>

Terillium (n.d.). *Vital ERP Selection Criteria to Consider When Choosing an ERP System*. <https://terillium.com/erp-system-selection-criteria/>

Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>

Theocharis, J. (n.d.). *2.1 Automation pyramid*. United Manufacturing Learning Hub. <https://learn.umh.app/lesson/introduction-into-it-ot-automation-pyramid/>

Themistocleous, M., & Irani, Z. (2001). Benchmarking the benefits and barriers of application integration. *Benchmarking: An International Journal*, 8(4), 317-331. <http://dx.doi.org/10.1108/14635770110403828>

Thomson Reuters. (n.d.). *COBOL blues*. <https://fingfx.thomsonreuters.com/gfx/rngs/USA-BANKS-COBOL/010040KH18J/index.html>

Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>

Tongsuksai, S., & Mathrani, S. (2020). Integrating Cloud ERP Systems with New Technologies Based on Industry 4.0: A Systematic Literature Review. In *2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CSDE50874.2020.9411570>

Trappey, A. J. C., Trappey, C. V., Govindrajana, U. H., Chuang, A. C., & Sun, J. J. (2017). A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 208-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2016.11.007>

Trunina, I., Vartanova, O., Sushchenko, O., & Onyshchenko, O. (2018). Introducing ERP System as a Condition of Information Security and Accounting System Transformation. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 530-536. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.3.19928>

Trusculescu, A., Draghici, A., Albulescu, C. T. (2015). Key Metrics and Key Drivers in the Valuation of Public Enterprise Resource Planning Companies. *Procedia Computer Science*, 64, 917-923. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.608>

Tsai, W., Lan, S., & Lee, H. (2020). Applying ERP and MES to Implement the IFRS 8 Operating Segments: A Steel Group's Activity-Based Standard Costing Production Decision Model. *Sustainability*, 12, 4303. <http://doi.org/10.3390/su12104303>

Tsai, W. (2023). Balancing Profit and Environmental Sustainability with Carbon Emissions Management and Industry 4.0 Technologies. *Energies*, 16, 6175. <https://doi.org/10.3390/en16176175>

Upadhyay, Y., Talib, F., Zaheen, S. A., & Ansari, M. S. (2023). INDUSTRY 4.0 ADOPTION FRAMEWORK IN MSMES USING A HYBRID FUZZY AHP-TOPSIS APPROACH. *Proceedings on Engineering Sciences*, 5(3), 453-474. <https://doi.org/10.24874/PES05.03.010>

Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>

Varga, P., Bacsi, S., Sharma, R., Fayad, A., Mandeel, A. R., Soos, G., Franko, A., Fegyo, T., & Ficzer, D. (2022). Converging Telco-Grade Solutions 5G and beyond to Support Production in Industry 4.0. *Applied Sciences*, 12, 7600. <https://doi.org/10.3390/app12157600>

Vasilev, J. (2013). The change from ERP II to ERP III systems. In *Proceedings of International Conference on Application of Information and Communication Technology and Statistics in Economy and Education (ICAICTSEE)* (s. 382-384). UNWE. <https://doi.org/10.13140/2.1.5109.7609>

VDI/VDE. (2015). *Status Report - Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)*. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/GMA_Status_Report__Reference_Architecture_Model_Industrie_4.0__RAMI_4.0_/GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf

Velasquez, N., Estevez, E., & Pesado, P. (2018). Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures. *Journal of Computer Science & Technology*, 18(3), 258-266. <https://doi.org/10.24215/16666038.18.e29>

Verville, J., Palanisamy, R., Bernadas, C., & Haltingen, A. (2007). ERP Acquisition Planning: A Critical Dimension for Making the Right Choice. *Long Range Planning*, 40(1), 45-63. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2007.02.002>

VMWare. (n.d.). *Private Cloud vs. Public Cloud: What is the difference?* <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/private-cloud-vs-public-cloud.html>

Voltz., H. (n.d.). *How SOA Provides Optimal ERP Performance*.
<https://blog.datixinc.com/blog/soa-erp>

Vowels, S.A. (2006). A Strategic Case for RFID: An Examination of Wal-Mart and its Supply-Chain. In *Proceedings of the 2006 Southern Association for Information Systems Conference* (s. 147-152). Association for Information Systems.

Wally, B., Huemer, C., & Vogel-Heuser, B. (2023). Modelling the Top Floor: Internal and External Data Integration and Exchange. In B. Vogel-Heuser & M. Wimmer (Eds.), *Digital Transformation: Core Technologies and Emerging Topics from a Computer Science Perspective* (s. 281-307). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65004-2_12

Wan, Y., & Clegg, B. (2011). *Managing ERP, Interoperability Strategy and Dynamic Change in Enterprises* [příspěvek na konferenci]. POMS 22nd Annual Conference: Operations Management: The Enabling Link. Reno, Nevada, USA. <https://www.pomsmeetings.org/ConfPapers/020/020-0612.pdf>

Weber, A. (2008). *Ten Ways the Model T Changed the World*. Assembly. <https://www.assemblymag.com/articles/85804-ten-ways-the-model-t-changed-the-world?v=preview>

Wei, C., Chien, C., & Wang, M. J. (2005). An AHP-based approach to ERP system selection. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.03.004>

Westermann, T., & Dumitrescu, R. (2018). Maturity Model-Based Planning of Cyber-Physical Systems, in The Machinery and Plant Engineering Industry. In D. Marjanovic, M. Štorga, S. Škec, N. Bojčetić, & N. Pavković (Eds.), *Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference* (s. 3041-3052). Design Society. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0260>

Weston, F. C. (2003). ERP II: The extended enterprise system. *Business Horizons*, 46(6), 49-55. [https://doi.org/10.1016/S0007-6813\(03\)00088-0](https://doi.org/10.1016/S0007-6813(03)00088-0)

Wikipedia. (n.d.). *Fourth Industrial Revolution*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Fourth_Industrial_Revolution

Wood, B. (2010). *ERP vs. ERP II vs. ERP III Future Enterprise Applications*. <https://www.iitrun.com/erp-vs-erp-ii-vs-erp-iii-future-enterprise-applications/>

Wortmann, J. C. (1998). Evolution of ERP Systems. In U. S. Bititci, & A. S. Carrie (Eds.), *Strategic Management of the Manufacturing Value Chain* (s. 11-23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35321-0_2

Wozniakowski, T., Jalowiecki, P., Zmarzłowski, K., & Nowakowska, M. (2018). ERP Systems and Warehouse Management by WMS. *Information Systems in Management*, 7(2), 141-151. <https://doi.org/10.22630/ISIM.2018.7.2.13>

Wu, S. L., & He, W. (2009). Industry-oriented enterprise resource planning. *Enterprise Information Systems*, 3(4), 409-424. <https://doi.org/10.1080/17517570903100511>

Wu, S. L., & He, W. (2011). *From ERP, IERP to ERP*. eNewsletter, Systems, Man and Cybernetics Society. https://www.ieeesmc.org/newsletters/back/2011_06/main_article2.html

Xu, L. D. (2011). Enterprise Systems: State-of-the-Art and Future Trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 630-640. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2167156>

Yang, C., Lan, S., Shen, W., Wang, L., & Huang, G. Q. (2020). Software-defined Cloud Manufacturing with Edge Computing for Industry 4.0. In *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC) – Conference Proceedings* (s. 1618-1623). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IWCMC48107.2020.9148467>

Yang, J., Wu, C., & Tsai, C. (2007). Selection of an ERP system for a construction firm in Taiwan: A case study. *Automation in Construction*, 16(6), 787-796. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.02.001>

Yao, X., Zhou, J., Lin, Y., Li, Y., Yu, H., & Liu, Y. (2017). Smart manufacturing based on cyber-physical systems and beyond. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 30, 2805-2817. <https://doi.org/10.1007/s10845-017-1384-5>

Ye, X., Yu, M., Song, W. S., & Hong S. H. (2021). An Asset Administration Shell Method for Data Exchange Between Manufacturing Software Applications. *IEEE Access*, 9, 144171-144178. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3122175>

Yoon, J., Shin, S., & Suh, S. (2012). A conceptual framework for the ubiquitous factory. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2174-2189. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.562563>

Youssef, J. R., Zacharewicz, G., Chen, D., Marques, M., Agostinho, C., & Jardim-Goncalves, R. (2017). Implementation Of Enterprise Operating System (EOS) In Industry 4.0 Based On The Decentralized Decision Support. In R. Jardim-Goncalves, J. P. Mendonca, M. Pallot, A. Zarli, J. Martins, & M. Marques (Eds.), *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (s. 1055-1065). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICE.2017.8279998>

Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review Engineering. *Engineering*, 3(5), 616-630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Zvezdov, D., & Hack, S. (2016). Carbon footprinting of large product portfolios. Extending the use of Enterprise Resource Planning systems to carbon information management. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1267-1275. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.070>

Přílohy

Příloha 1 – Dotazník mezi relevantními uživateli ERP systémů

Část 1 – Ověření znalostí Průmyslu 4.0

1. Kdy jste se poprvé setkal/a s termínem Průmysl 4.0? *[1 možná odpověď]*
 - a. Před více než deseti lety
 - b. Před více než pěti lety
 - c. Před více než dvěma lety
 - d. V posledních dvou letech
 - e. Zatím jsem se s tímto termínem neseťkal
2. Jak byste subjektivně zhodnotil svou míru pochopení konceptu Průmysl 4.0? *[1 možná odpověď]*
 - a. Rozumím mu velmi dobře. Chápu jeho celkovou ideu, dokážu uvést jeho typické znaky a technologie a chápu vazby mezi nimi.
 - b. Rozumím mu poměrně dobře. Chápu ideu konceptu, dokážu uvést většinu typických znaků a technologií Průmyslu 4.0, mám představu o vazbách mezi jednotlivými technologiemi.
 - c. Rozumím mu průměrně. Chápu ideu konceptu, dokážu uvést některé typické znaky a technologie Průmyslu 4.0.
 - d. Rozumím mu spíše špatně. Chápu pouze základní ideu konceptu.
 - e. Tento koncept vůbec neznám nebo o něm nemám žádnou konkrétní představu.
3. Uveďte technologie, které považujete za součást konceptu Průmysl 4.0 (nevyplňujte, pokud jste v otázce 2 zvolili odpověď e.) *[otevřená otázka]*
4. Očekáváte, že Průmysl 4.0 významně ovlivní odvětví ve kterém Váš podnik působí v příštích 5 letech? *[1 možná odpověď]*
 - a. Rozhodně ano
 - b. Spíše ano
 - c. Nevím
 - d. Spíše ne
 - e. Rozhodně ne

Část 2 - Využití technologií Průmyslu 4.0 v praxi konkrétního podniku

Big Data

5. Zpracováváte (tzn. evidujete, ukládáte a vyhodnocujete) ve Vaší firmě velké objemy dat (příčemž velkým objemem rozumíme denní přírůstek databázových dat v řádu přinejmenším stovek MB, resp. desetitisíců nových záznamů)? *[1 možná odpověď]*
 - a. Ano, zpracováváme nebo plánujeme zpracovávat velké objemy dat ze všech procesů, které je generují nebo mohou generovat
 - b. Ano, zpracováváme nebo plánujeme zpracovávat velké objemy dat z většiny procesů, které je generují nebo mohou generovat
 - c. Ano, ale zpracováváme velké objemy dat pouze z několika klíčových procesů, které je generují
 - d. Ne, ale ve střednědobém horizontu jejich zpracování plánujeme.
 - e. Ne
6. Pokud jste na předchozí otázku odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, jaké činnosti Vaší firmy velké objemy dat, které dále zpracováváte generují: *[výpis jednotlivých oblastí podnikových činností, např. „nákup“, „výroba“ apod. Možnost vybrat více odpovědí, nebo i doplnit další odpověď vepsáním textu]*
7. Pokud jste na otázku 5. odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, jaké nástroje pro zpracování velkých dat používáte: *[možnost vybrat více odpovědí]*
 - a. Pro zpracování velkých dat nemáme specializovaný nástroj, data zpracováváme v rámci standardních funkcionalit našeho ERP systému nebo jiného informačního systému, který používáme primárně k jiným účelům.
 - b. Pro zpracování velkých dat využíváme specializovanou rozšiřující funkcionalitu našeho ERP systému nebo jiného informačního systému, který používáme primárně k jiným účelům.
 - c. Pro zpracování velkých dat využíváme specializovaný lokálně provozovaný informační systém (např. některý ze systémů pro Business Intelligence)
 - d. Pro zpracování velkých dat využíváme specializovaný informační systém (např. některý ze systémů pro Business Intelligence) provozovaný v cloudu.
 - e. Pro zpracování využíváme jiné nástroje..... *[možnost dopsat text]*
 - f. Nevím přesně, jaké nástroje ke zpracování využíváme

8. Pokud jste na otázku 5 odpověděli e., zaškrtněte prosím hlavní důvod, proč velké objemy dat nezpracováváte ani neplánujete zpracovávat: *[1 možná odpověď]*
- a. Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.
 - b. Při činnosti naší firmy dle mého názoru takové objemy dat vůbec nevznikají.
 - c. Velká data vznikající při činnosti naší firmy nejsou dle mého názoru smysluplně zpracovatelná, jejich analýza by nám nepřinášela relevantní informace.
 - d. Investiční náklady na zpracování velkých dat (např. v podobě pořízení a implementace potřebných technických prostředků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - e. Provozní náklady na zpracování velkých dat na jejich zpracování (např. v podobě času pracovníků zodpovědných za jejich zpracování) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - f. Jiný důvod – prosím vypište:..... *[možnost dopsat text]*

Systémová integrace

9. Využíváte ve firmě více informačních systémů? *[1 možná odpověď]*
- a. Ano
 - b. Ne
10. Jsou tyto systémy uvnitř firmy vzájemně integrovány? *[1 možná odpověď]*
- a. Ano, vzájemně jsou propojeny veškeré systémy, mezi kterými existují styčné body.
 - b. Ano, vzájemně jsou propojeny jen některé systémy, mezi kterými existují styčné body, propojení ostatních je plánováno.
 - c. Ano, ale propojeny jsou jen některé systémy, mezi kterými existují styčné body, a neplánuje se budoucí kompletní integrace.
 - d. Ne, ale propojení některých systémů ve střednědobém horizontu plánujeme.
 - e. Ne.
11. Pokud jste na otázku 10. odpověděli a. nebo b., zaškrtněte prosím, jaké systémy jsou propojeny: *[výpis jednotlivých podnikových informačních systémů, např. „ERP“, „WMS“, „MES“ apod. Možnost vybrat více odpovědí, nebo i doplnit další odpověď vepsáním textu]*
12. Pokud jste na otázku 10. odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, jaké technologie pro systémovou integraci uvnitř podniku používáte: *[možnost vybrat více odpovědí]*

- a. Textové soubory strukturovaných dle standardů EDI
 - b. Proprietární strukturované textové soubory
 - c. Soubory ve formátu csv
 - d. Strukturované soubory ve formátu XML
 - e. Strukturované soubory ve formátu JSON
 - f. Webové služby na bázi REST
 - g. Webové služby na bázi SOAP
 - h. Integrovaní databázi nebo databázové objekty
 - i. Jiná technologie..... *[možnost dopsat text]*
 - j. Nevím přesně, o jakou technologii se jedná
13. Pokud jste na otázku 10. odpověděli c. – e., zaškrtněte prosím hlavní důvod, proč některé nebo všechny systémy nejsou vzájemně integrovány: *[1 možná odpověď]*
- a. Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.
 - b. Propojení by dle našeho názoru nepřinášelo žádný pozitivní efekt.
 - c. Propojení se nám nepodařilo zrealizovat z technických důvodů.
 - d. Propojení se nám nepodařilo zrealizovat z důvodů business logiky.
 - e. Investiční náklady na tvorbu propojení (např. v podobě ceny integračních můstků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - f. Provozní náklady na tvorbu propojení (např. v podobě mezd pracovníků zodpovědných za běh integrací) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - g. Jiný důvod – prosím vypište:..... *[možnost dopsat text]*
14. Jsou některé vaše firemní systémy propojeny se systémy vašich obchodních partnerů? *[1 možná odpověď]*
- a. Ano, vzájemně jsou propojeny veškeré systémy, mezi kterými existují styčné body.
 - b. Ano, vzájemně jsou propojeny jen některé systémy, mezi kterými existují styčné body, propojení ostatních je plánováno.
 - c. Ano, ale propojeny jsou jen některé systémy, mezi kterými existují styčné body, a neplánuje se budoucí kompletní integrace.
 - d. Ne, ale propojení některých systémů ve střednědobém horizontu plánujeme.
 - e. Ne.

15. Pokud jste na předchozí otázku odpověděli a., zaškrtejte prosím, o jaké systémy se jedná: *[výpis jednotlivých podnikových informačních systémů, např. „ERP“, „WMS“, „MES“ apod. Možnost vybrat více odpovědí, nebo i doplnit další odpověď vepsáním textu]*
16. Pokud jste na otázku 14. odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, jaké technologie pro systémovou integraci vně podniku používáte: *[možnost vybrat více odpovědí]*
- Textové soubory strukturovaných dle standardů EDI
 - Proprietární strukturované textové soubory
 - Soubory ve formátu csv
 - Strukturované soubory ve formátu XML
 - Strukturované soubory ve formátu JSON
 - Webové služby na bázi REST
 - Webové služby na bázi SOAP
 - Integrační databázi nebo databázové objekty
 - Jiná technologie..... *[možnost dopsat text]*
 - Nevím přesně, o jakou technologii se jedná
17. Pokud jste na otázku 14. odpověděli c. - e., uveďte prosím hlavní důvod, proč integraci se systémy partnerů nepoužíváte *[1 možná odpověď]*
- Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.
 - Propojení by dle našeho názoru nepřinášelo žádný pozitivní efekt.
 - Propojení by dle názoru našeho partnera nepřinášelo žádný pozitivní efekt.
 - Integrace neproběhla z technických důvodů na naší straně
 - Integrace neproběhla z důvodů business logiky na naší straně
 - Integrace neproběhla z technických důvodů na straně partnera
 - Integrace neproběhla z důvodů business logiky na straně partnera
 - Investiční náklady na tvorbu propojení (např. v podobě ceny integračních můstků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - Provozní náklady na tvorbu propojení (např. v podobě mezd pracovníků zodpovědných za běh integrací) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - Jiný důvod – prosím vypište:..... *[možnost dopsat text]*

18. Používáte ve vaší firmě cloudová řešení? *[1 možná odpověď]*
- a. Ano, jednoznačně preferujeme cloudová řešení, lokální systémy se snažíme postupně zcela eliminovat
 - b. Ano, cloudové technologie se snažíme využívat v maximální možné míře. Lokálně provozujeme pouze takové systémy, které cloudový provoz nepodporují
 - c. Ano. Některé systémy provozujeme na cloudu, některé lokálně. Při volbě mezi lokální instalací a cloudovým řešením se řídíme doporučením dodavatele daného systému
 - d. Ano, ale na cloudu provozujeme pouze ty systémy, u kterých není jiná možnost. Pokud je to možné preferujeme lokální instalace.
 - e. Provozujeme pouze lokální systémy a využití cloudu do budoucna ani neplánujeme
19. Pokud jste na předchozí otázku odpověděli a. – d., zaškrtejte prosím, jaké systémy provozujete na cloudu: *[výpis jednotlivých podnikových informačních systémů, např. „ERP“, „WMS“, „MES“ apod. Možnost vybrat více odpovědí, nebo i doplnit další odpověď vepsáním textu]*
20. Pokud jste na otázku 18. odpověděli d. nebo e., uveďte prosím hlavní důvod, proč se cloudovým řešením vyhýbáte: *[1 možná odpověď]*
- a. Vůbec jsme se touto otázkou nezabývali
 - b. Využití cloudových řešení by nám dle našeho názoru nepřineslo žádný pozitivní efekt
 - c. Máme obavy ze zajištění dostupnosti cloudových služeb
 - d. Máme obavy ze zabezpečení cloudových služeb
 - e. Provozní náklady na využívání cloudu jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - f. Jiný důvod – prosím vypište..... *[možnost dopsat text]*

Využití automatické identifikace a sběru dat

21. Používáte ve firmě nástroje pro automatickou identifikaci a sběr dat např. prostřednictvím radiofrekvenční technologie, rozpoznávání obrazů apod.? *[1 možná odpověď]*
- a. Ano, automatizovaný sběr dat využíváme v maximální možné míře

- b. Ano, snažíme se automatickou identifikaci a sběr dat aktivně využívat
 - c. Automatický sběr dat používáme pouze v míře, která je v našem oboru nezbytná
 - d. Ne, ale ve střednědobém horizontu jejich používání plánujeme
 - e. Ne
22. Pokud jste na otázku 21. odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, v jakých oblastech technologii AIDC využíváte: *[výpis jednotlivých oblastí podnikových činností, např. „nákup“, „výroba“ apod. Možnost vybrat více odpovědí, nebo i doplnit další odpověď vepsáním textu]*
23. Pokud jste na otázku 21. odpověděli kladně, zaškrtejte prosím, jaké technologie AIDC používáte: *[možnost vybrat více odpovědí]*
- a. Identifikace pomocí čárových kódů nebo QR kódů
 - b. Rozpoznávání obrazu pro vytěžování dokumentů
 - c. Rozpoznávání biometrických charakteristik (např. obličejů)
 - d. Rozpoznávání zvuku
 - e. Technologie NFC
 - f. Radiofrekvenční technologie
 - g. Jiná technologie..... *[možnost dopsat text]*
 - h. Nevím přesně, o jakou technologii se jedná
24. Pokud jste na otázku 21. odpověděli e., zaškrtněte prosím hlavní důvod, proč s využitím AIDC nepočítáte. *[1 možná odpověď]*
- a. Vůbec jsme se touto problematikou dosud nezabývali.
 - b. V rámci naší firmy nevidíme možnost smysluplného využití AIDC.
 - c. Při analýze možného využití AIDC jsme narazili na technické problémy, které se nám nepodařilo vyřešit.
 - d. Investiční náklady na využití AIDC (např. v podobě pořízení a implementace potřebných technických prostředků) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - e. Provozní náklady na využití AIDC (např. v podobě času pracovníků zodpovědných za údržbu nástrojů AIDC) jsme vyhodnotili jako vyšší než potenciální přínosy.
 - f. Jiný důvod – prosím vypište:..... *[možnost dopsat text]*

Část 3 – Vlastnosti ERP systémů ve vztahu k Průmyslu 4.0

25. Využíváte ve firmě ERP systém? [1 možná odpověď]
- Ano
 - Ne
26. Kdy jste tento systém vybírali? [1 možná odpověď]
- V tomto roce nebo výběr dosud probíhá
 - V posledních dvou letech
 - Před více než dvěma lety
 - Před více než pěti lety
 - Před více než deseti lety
27. Napište prosím, jaký systém jste vybrali, případně jaký systém aktuálně ve výběru vede?..... [otevřená otázka]
28. Jak jste s tímto systémem spokojeni? [1 možná odpověď]
- Velmi spokojeni
 - Spíše spokojeni
 - Průměrně spokojeni
 - Spíše nespokojeni
 - Velmi nespokojeni
29. Uveďte prosím důležitost jednotlivých kritérií, podle kterých byste si informační systém nyní vybírali. Každému kritériu přiřaďte hodnotu od 1 = vůbec bychom k němu nepřihlíželi do 5 = kritérium by bylo pro výběr zásadní.

Kritéria související s cenou

- Celková cena za licenci - tzn. veškeré jednorázové i pravidelné platby spojené s licencováním systému*
- Cena za implementační práce - tzn. cena za práci dodavatele spojenou s instalací a prvotním nastavením systému a zaškolením uživatelů*
- Cena za servis - např. hodinová sazba konzultantů, nutnost externího správce apod.*

Kritéria související s portovatelností systému

- Portovatelnost klienta na MacOS a/nebo Linux – tzn. možnost přímého provozu klienta na počítačích firmy Apple, respektive na strojích kde je operačním systémem některá z distribucí Linuxu*

- e. Existence a případné funkcionality mobilního klienta – *existence klienta pro Android a IOS, plnohodnotnost tohoto klienta ve srovnání se základním klientem*
- f. Existence a případné funkcionality webového klienta - *existence klienta pro standardní webové prohlížeče, plnohodnotnost tohoto klienta ve srovnání se základním klientem*

Kritéria související s komplexitou a možnostmi customizace systému

- g. Škálovatelnost systému z hlediska rozsahu – *tzn. schopnost systému přizpůsobit se rostoucímu množství uživatelů a požadavků např. pomocí využití výkonnějšího hardware, distribuce na několik serverů apod.*
- h. Komplexita a modularita systému – *tzn. schopnost systému pokrýt různé existující nebo potenciální požadavky Vaší firmy prostřednictvím standardních modulů, které mohou být jednoduše zakoupeny a nasazeny*
- i. Míra a náročnost možné customizace systému – *tzn. do jaké míry je možné systém přesně přizpůsobit konkrétním potřebám Vaší firmy pomocí zakázkových úprav*

Kritéria související s uživatelským rozhraním

- j. Design uživatelského rozhraní systému z hlediska vzhledu a ergonomie – *modernost a líbivost vzhledu systému, schopnost systému přizpůsobit ovládání potřebám jednotlivých uživatelů, intuitivnost ovládání uživatelského rozhraní.*
- k. Funkce uživatelského rozhraní pro práci s daty – *např. možnost filtrací, grupování nebo výpočtů nad daty přímo v rámci uživatelského rozhraní*
- l. Rozmanitost, vzhled a možnost customizace tiskových výstupů ze systému – *tzn. jaké sestavy a formuláře jsou v systému standardně k dispozici, nakolik náročné jsou jejich případné změny nebo tvorba nových*

Kritéria související s bezpečností systému

- m. Zabezpečení práce s databází – *např. zda aplikace přistupuje k databázi přes vyhrazený účet, bezpečnost uložení údajů tohoto účtu apod.*
- n. V případě existence webového klienta výsledky jeho penetračních testů – *tzn. zabezpečení webového klienta před možným útokem z internetu*
- o. Zabezpečení v rámci systému – práva na pohledy, akce a konkrétní data – *tzn. možnost nastavení práv jednotlivých uživatelů pouze na vybrané moduly, tabulky, sloupce či řádky tabulek, akce, komplexita tohoto nastavení*

Kritéria související s otevřeností systému – systémová integrace

- p. Schopnost systému exportovat a importovat soubory s daty, schopnost definovat generovanou nebo očekávanou strukturu těchto souborů – *např. v podobě csv, xlsx nebo xml souborů*
- q. Míra souladu systému s principy architektury orientované na služby (SOA) – *tzn. systém je složen z dílčích komponent, které je možné využívat i samostatně i pro potřeby systémové integrace*
- r. Existence a případné funkcionality API vrstvy - *existence takové vrstvy, širší možností pro její volání, komplexita jejích funkcionalit*

Kritéria související s prací s velkými daty

- s. Schopnost systému získávat velké objemy dat o podnikových procesech – *tzn. systém je schopen např. získávat data z výroby a logistiky, případně je schopen komunikovat se specializovanými řešeními určenými pro získávání dat přímo ze strojů a zařízení*
- t. Schopnost systému efektivně pracovat s velkými objemy dat – *tzn. systém je schopen tato data uložit a je schopen nad nimi provádět analýzy např. pomocí nástrojů Business Intelligence*
- u. Schopnost systému vizualizovat výsledky analýz velkých dat *např. v podobě dynamických grafů nebo kontingenčních tabulek*

Kritéria související s cloudem

- v. Technická připravenost systému na provoz v cloudu – *tzn. systém nevyžaduje instalaci na lokálních prostředcích*
- w. Připravenost a ochota dodavatele nabízet systém jako cloudové řešení – *tzn. zda je dodavatel schopen sám zajistit poskytování systému formou cloudu, případně i formou SAAS (Software As A Service)*
- x. Úroveň zabezpečení a geografická diverzifikace cloudu nabízeného dodavatelem – *např. soulad s normou ISO 27017 nebo existence bezpečnostního auditu od renomované konzultační společnosti*

Kritéria související s automatickou identifikací a sběrem dat

- y. Schopnost systému využívat technologii rozpoznávání obrazu k vytěžování dokumentů – *např. automatické vytěžování došlých faktur nebo objednávek*
- z. Schopnost systému evidovat a pracovat s předměty (např. majetkem, zásobami apod.) prostřednictvím jednoznačného, strojově čitelného identifikátoru – *např.*

značení majetku, zásob nebo obalů čárovým kódem nebo čipem a následná realizace skladových pohybů nebo inventur na základě strojového čtení těchto identifikátorů

- aa. Schopnost systému sledovat a zpětně vyhodnocovat průchod výrobku jednotlivými etapami výrobního procesu prostřednictvím zapisování do strojově čitelného identifikátoru *např. v podobě paměti RFID čipu*

Příloha 2 – Otázky pro výzkumný rozhovor

Část 1 – Obecný postoj dodavatele k Průmyslu 4.0

1. Řekl(a) byste, že Vaše firma při plánování vývoje nových funkcionalit Vašeho systému, případně doplňkových řešení k němu, bere do úvahy i problematiku Průmyslu 4.0? Máte např. definován interní tým nebo pracovníka, který je zodpovědný za vyhledávání novinek z oblasti Průmyslu 4.0 a navrhuje jejich možné využití v rámci Vašeho systému?

*Pokud respondent odpověděl na otázku č. 1 kladně, následuje otázka 2.a.
Pokud odpoví záporně, následuje 2.b.:*

- 2.a. Kdy přibližně jste s tím začali a co vás k tomuto rozhodnutí vedlo?
- 2.b. Zkuste prosím vyjádřit, proč se Průmyslem 4.0 při návrhu změn Vašeho systému nezabýváte.
3. Řekl(a) byste, že Vaše firma bere při plánování technických změn Vašeho systému (tím je myšlena např. významná změna v datové struktuře, změna v architektuře, změna platformy apod.) do úvahy i problematiku Průmyslu 4.0? Posuzujete v takových případech např. vliv změny na otevřenost systému a jeho schopnost komunikace s okolím nebo jeho schopnost práce s velkými objemy dat?

Část 2 – Schopnost interakce systému s konkrétními technologiemi

Následně bude respondentovi výzkumníkem promítnuta definice Průmyslu 4.0 dle Maříka et al. (2017) a přehled 10 hlavních technologií Průmyslu 4.0 definovaných v rámci této práce, a tyto informace mu budou stručně okomentovány. Cílem je vymežit pojmy a zabránit vzájemnému nepochopení mezi tazatelem a dotazovaným.

4. Souhlasil byste s vymezením 10 základních technologií Průmyslu 4.0 tak, jak jsou uvedeny výše? Pokud ne, jaké technologie byste ze soupisu odstranil nebo na něj přidal a proč?

Technologie Big data

5. Je součástí Vašeho systému nějaké řešení, které je schopné uchovávat a zpracovávat velké objemy dat a tvořit z nich reporty (úroveň stovek GB a výše)? Může se jednat o i externí řešení, které je nativně nabízeno a integrováno s Vaším systémem.

Pokud odpoví respondent kladně, následuje otázka 6.a. Pokud odpoví záporně, následuje otázka 6.b.

- 6.a. Popište prosím toto řešení detailněji. Pokud nabízíte více variant takových řešení, je nějaké z Vašeho pohledu preferované? Je standardní součástí systému, nebo je implementováno zvlášť?
- 6.b. Z jakého důvodu takové řešení nenabízíte? Nevidíte pro něj obchodní využití, nebo se jedná o důvody technického charakteru?
7. Plánujete v příštích 1-3 letech nějaký rozvoj schopností Vašeho systému v oblasti zpracování velkých dat, ať už z hlediska nových funkcionalit nebo technických změn? Pokud ano, jaký?

Technologie systémové integrace

8. Poskytuje Váš systém nějaké standardizované metody pro komunikaci s jinými informačními systémy?

Pokud odpoví respondent kladně, následuje otázka 9.a. Pokud odpoví záporně, následuje otázka 9.b.

- 9.a. Popište prosím tyto metody detailněji. Pokud podporujete více metod, je nějaká z nich z Vašeho pohledu preferovaná? Jsou standardní součástí systému, nebo jsou implementovány zvlášť a laděny pro konkrétní případ?
- 9.b. Z jakého důvodu takové metody nenabízíte? Nevidíte pro ně obchodní využití, nebo se jedná o důvody technického charakteru?
10. Plánujete v příštích 1-3 letech nějaký rozvoj schopností standardizované komunikace Vašeho systému, ať už z hlediska nových funkcionalit nebo technických změn? Pokud ano, jaký?

Cloudové technologie

11. Je Váš systém schopen provozu v cloudu?

Pokud odpoví respondent kladně, následuje otázka 12.a. Pokud odpoví záporně, následuje otázka 12.b.

- 12.a. Popište prosím detailněji, jak provoz Vašeho systém v cloudu funguje (zajišťujete si např. sami hosting? Jsou využívány weboví klienti, nebo terminálové služby?) Preferujete při instalaci nových zákazníků variantu on-premise nebo cloud?
- 12.b. Z jakého důvodu provoz v cloudu nenabízíte? Jedná se o důvody obchodního nebo technického charakteru?
13. Plánujete v příštích 1-3 letech nějaký rozvoj schopností Vašeho systému fungovat v cloudu? Pokud ano, jaký?

Automatická identifikace a sběr dat

14. Počítá Váš systém s automatickou identifikací a sběrem dat? Tzn. např. generování čárových/QR kódů a podpora jejich čteček, podpora RFID technologie, vytěžování dokumentů formou OCR, vytěžování kamerových záznamů apod.

Pokud odpoví respondent kladně, následuje otázka 15.a. Pokud odpoví záporně, následuje otázka 15.b.

- 15.a. Popište prosím detailněji, jaké metody automatické identifikace a sběru dat podporujete a k jakým účelům je Váš systém schopen je využívat. Existuje nějaká metoda automatické identifikace a sběru dat, resp. její use-case, jejíž využití při instalaci nových zákazníků preferujete, tzn. např. aktivně navrhuje její použití?
- 15.b. Z jakého důvodu metody automatické identifikace a sběru dat nenabízíte? Nevidíte pro ně obchodní využití, nebo se jedná o důvody technického charakteru?
16. Plánujete v příštích 1-3 letech nějaký rozvoj schopností Vašeho systému v oblasti automatické identifikace a sběru dat? Pokud ano, jaký?

Ostatní technologie

17. Soustředíte se při vývoji a prodeji Vašeho systému, resp. jeho doplňků, na některou jinou moderní technologii než 4 výše uvedené? Pokud ano, popište prosím detailněji.

Část 3 – Vliv Průmyslu 4.0 na hodnocení ERP systému

18. Když potenciální zákazník vybírá nový ERP systém, hrají z Vaší zkušenosti v tomto rozhodování schopnosti systému spolupracovat s některou z výše uvedených technologií významnou roli? Pokud ano, o které technologie se jedná?