

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RFID V LOGISTICKÝCH
PROCESECH A JEJICH DYNAMICKÁ SIMULACE

HABILITAČNÍ PRÁCE

2024

ROMAN HRUŠKA

Ing. Roman Hruška, Ph.D.

Obor

Technologie a management v dopravě

Název práce

Využití technologie RFID v logistických procesech a jejich dynamická simulace

Prohlašuji:

Práci s názvem **Využití technologie RFID v logistických procesech a jejich dynamická simulace** jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 04. 2024

Ing. Roman Hruška, Ph.D.

Poděkování

Děkuji všem spolupracovníkům (kolegyním a kolegům), kteří se se mnou podíleli na mojí vědecko-výzkumné, publikační a pedagogické činnosti. V rámci vzájemné spolupráce jsem získal cenné rady, názory a připomínky, které bych rád i v budoucnu rozvíjel.

V neposlední řadě patří můj dík mé rodině a přátelům, kteří mě v průběhu let významně podporovali a povzbuzovali.

ANOTACE

Habilitační práce shrnuje výsledky vybraných výzkumných činností, které autor dosud realizoval na Dopravní Fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice. Zabývá se problematikou využití technologií automatické identifikace (zejména technologií RFID, ale i technologií 1D a 2D kódů) v logistických procesech a jejich následnou dynamickou simulací pomocí specializovaného softwaru s cílem dané logistické procesy zefektivnit.

Habilitační práce obsahuje uvedení do řešené problematiky, a to vymezením technologií automatické identifikace v souvislosti na návazné technologie jako jsou lokalizační systémy v reálném čase (RTLS), Internet věcí (IoT) a Digitální dvojče (DT).

Stěžejní část práce je rozdělena do dvou hlavních kapitol (tvoří ji kapitola 4 a 5). Čtvrtá kapitola je zaměřena na využití technologie RFID v logistických procesech, kde pomocí provedení sad měření a experimentů v laboratoři automatické identifikace je zjištěno a ověřeno správné nastavení parametrů RFID soustavy pro efektivní detekování sledovaných objektů (poštovní přepravní klece, poštovní přepravní jednotky a zásilek). V rámci páté kapitoly autor do svého výzkumu využívá a přidává metodu dynamické simulace logistických procesů s cílem zlepšit distribuci zásilek pomocí technologie RFID a dále zvýšit kapacitu třídícího logistického centra. Autor využívá různé scénáře a nastavení parametrů, které následně vyhodnocuje a vyvozuje závěry.

KLÍČOVÁ SLOVA

technologie RFID, RFID tag, AIDC, dynamická simulace, proces, logistika

TITLE

The use of RFID technology in logistic processes and their dynamic simulation

ANNOTATION

The habilitation thesis presents the results of selected research activities that the author has carried out so far at the Faculty of Transport Engineering, University of Pardubice. It deals with the use of automatic identification technologies (especially RFID technology, but also 1D and 2D code technologies) in logistic processes and their subsequent dynamic simulation using specialized software with the aim of making logistic processes more efficient.

The habilitation thesis contains the introduction to the solved issue by defining automatic identification technologies in the context of follow-up technologies such as real-time localization systems (RTLS), Internet of Things (IoT) and Digital Twin (DT).

The main part of the thesis is divided into two main chapters (chapters 4 and 5). The fourth chapter focuses on the use of RFID technology in logistic processes, whereby performing a set of measurements and experiments in the automatic identification laboratory, it is determined and verified the correct setting of the RFID system parameters for effective detection of the monitored objects (postal transport cages, postal transport units and parcels). Within the fifth chapter, the author uses and adds the method of dynamic simulation of logistic processes to his research to improve the distribution of parcels using RFID technology and further increase the capacity of the sorting logistic center. The author uses different scenarios and parameter settings which are then evaluated, and conclusions are drawn.

KEYWORDS

RFID technology, RFID tag, AIDC, dynamic simulation, process, logistics

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 CÍL HABILITAČNÍ PRÁCE	12
2 ZVOLENÉ METODY ZKOUMÁNÍ.....	13
3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY	15
3.1 TECHNOLOGIE AUTOMATICKÉ IDENTIFIKACE.....	18
3.1.1 Magnetická technologie.....	18
3.1.2 Biometrická technologie.....	19
3.1.3 Optická technologie.....	19
3.1.4 RFID	19
3.2 VÝZVY PRO SYSTÉMY AUTOMATICKÉ IDENTIFIKACE V DODAVATELSKÉM ŘETĚZCI ...	22
4 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RFID V LOGISTICKÝCH PROCESECH	27
4.1 SIMULACE REÁLNÉHO POŠTOVNÍHO PROVOZU S VYUŽITÍM RFID TECHNOLOGIE.....	27
4.1.1 Měření.....	27
4.1.2 Výsledky měření.....	30
4.1.3 Vyhodnocení naměřených výsledků.....	32
4.1.4 Shrnutí	37
4.2 DETEKOVÁNÍ POŠTOVNÍ PŘEPRAVNÍ KLECE PŘI PRŮCHODU RFID BRÁNOU	38
4.2.1 Měření.....	38
4.2.2 Shrnutí	43
4.3 TECHNOLOGIE AUTOMATICKÉ IDENTIFIKACE V RÁMCI DISTRIBUČNÍ LOGISTIKY Z HLEDISKA EFEKTIVITY PROCESU IDENTIFIKACE.....	43
4.3.1 Metody.....	45
4.3.2 Výsledky a diskuse	47
4.3.3 Shrnutí	50
4.4 EFEKTIVITA TECHNOLOGIÍ AUTOMATICKÉ IDENTIFIKACE PŘI KONSOLIDACI ZÁSILEK	51
4.4.1 Metody.....	53
4.4.2 Výsledky.....	55
4.4.3 Shrnutí	56
5 DYNAMICKÁ SIMULACE LOGISTICKÝCH PROCESŮ.....	58
5.1 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RFID V RÁMCI LOGISTICKÉHO PROCESU DISTRIBUCE ZA PODPORY DYNAMICKÉHO SIMULAČNÍHO SOFTWARE.....	58
5.1.1 Metody.....	60
5.1.2 Výsledky a diskuse	62
5.1.3 Shrnutí	64
5.2 MODELOVÁNÍ VYBRANÉHO LOGISTICKÉHO PROCESU V LOGISTICKÉM CENTRU POUŽITÍM DYNAMICKÉ SIMULACE	64
5.2.1 Metody.....	66
5.2.2 Výsledky a diskuse	70
5.2.3 Shrnutí	71
6 PŘÍNOSY HABILITAČNÍ PRÁCE	72
ZÁVĚR.....	73

SEZNAM LITERATURY	75
SEZNAM TABULEK	82
SEZNAM OBRÁZKŮ	83
SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ K TÉMATU HABILITAČNÍ PRÁCE.....	84
SEZNAM PŘÍLOH	86

SEZNAM ZKRATEK

- 1D – čárový lineární kód (jednorozměrný)
- 2D – dvou dimenzionální kód (dvourozměrný)
- AI – Artificial Intelligence (umělá inteligence)
- AIDC – Automatic Identification and Data Capture (automatická identifikace a sběr dat)
- CRP - Capacity Requirements Planning (plánování kapacit výrobních zdrojů)
- DFJP UPCE – Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzity Pardubice
- DRP – Distribution Requirements Planning (plánování požadavků na distribuci)
- DRP II – Distribution Resource Planning (systémy plánování distribuce)
- DT – Digital Twin (digitální dvojče)
- EDI - Electronic Data Interchange (elektronická výměna dat)
- ERP - Enterprise Resource Planning (plánování podnikových zdrojů)
- HW – Hardware
- IS – Information System (informační systém)
- IoT – Internet of Things (Internet věcí)
- JIT – Just in Time (logistická metoda „právě včas“)
- JIS – Just in Sequence (logistická metoda „v sekvencích“)
- MRP II – Manufacturing Resource Planning (plánování výrobních zdrojů)
- MRP – Materials Requirement Planning (plánování materiálových požadavků)
- OCR – Optical Character Recognition (optické rozpoznávání písma)
- RFID - Radio Frequency Identification (radiofrekvenční systém identifikace)
- RSSI – Received Signal Strength Indicator (indikátor síly přijímaného signálu)
- RTLS – Real Time Location System (lokalizační systémy v reálném čase)
- SW – Software
- WMS – Warehouse Management System (systém řízení skladu)

ÚVOD

Technologie automatické identifikace a sběru dat (AIDC) jsou pro podporu logistických činností využívány ve všech typech organizací a podniků. Především to platí pro společnosti, které chtějí zaujmout ve svém oboru vedoucí postavení. Tyto podniky mají AIDC nasazeny v logistických procesech jako je příjem materiálu, skladování, distribuce, řízení výroby, dopravy a v mnoha dalších. Správná uplatnění technologií AIDC je jedním z hlavních faktorů při získávání potřebné konkurenční výhody plynoucí ze zajištění efektivního informačního toku mezi jednotlivými články logistického řetězce. Velkým přínosem technologií AIDC je rychlé zajištění přesných a reálných (aktuálních) informací o logistických procesech.

Na přelomu 70. a 80. let 20. století nastal obrovský rozmach informačních technologií. Podniky získaly k dispozici nástroj, pomocí kterého byly schopny lépe sledovat aktivity náročné na počet transakcí jako objednávání, pohyb materiálu, skladování zboží atd. V kombinaci s možnostmi počítačových kvantitativních modelů takové informace zvýšily schopnost řídit materiálové toky a optimalizovat výši a pohyb zásob. Mezi tyto systémy patří plánování materiálových požadavků (MRP – Materials Requirement Planning), systémy plánování výrobních zdrojů (MRP II - Manufacturing Resource Planning), systémy plánování požadavků na distribuci (DRP - Distribution Requirements Planning), systémy plánování distribuce (DRP II – Distribution Resource Planning), Just in Time (JIT) a Just in Sequence (JIS) umožňují podnikům propojení řady činností spojených s materiálovými toky, a to od procesu objednávání od dodavatelů, přes řízení zásob, prognózování až po výrobní plánování a následnou distribuci. Jeden z hlavních principů výše uvedených systémů je správné zajištění informačního toku. K tomu slouží plánování podnikových zdrojů (ERP), elektronická výměna dat (EDI), systémy řízení skladů (WMS) a mimo jiné i právě technologie AIDC.

Mezi faktory, které přispívají ke zvýšenému zájmu společností o logistiku, patří rozvoj technologií informačních systémů, zvýšený důraz na zákaznický servis, narůstající význam systémového přístupu a koncepce celkových nákladů, využití správné logistiky pro snižování nákladů a pochopení skutečnosti, že logistiku lze využít jako strategický nástroj v konkurenčním boji.

Habilitační práce tvoří ucelený přehled o současném vědeckém poznání v oblasti využívání technologií automatické identifikace v logistice. Dále se zaměřuje na trendy v této oblasti i souvisejících technologií (Lokalizační systémy v reálném čase (RTLS), Internet věcí (IoT) a Digitální dvojče (DT)). Nedílnou součástí je i zakomponování vhodných vědeckých

metod jako je experimentální měření a metody dynamické simulace, která nachází stále větší uplatnění a přináší významnou podporu při rozhodování v logistické problematice. Pomocí těchto metod autor řeší problematiku správného využití technologie RFID ve vybraných logistických procesech a za pomoci dynamické simulace zefektivnění procesu distribuce a třídění zásilek v logistickém centru.

Habilitační práce vychází z vědecko-výzkumných aktivit autora v oblasti implementace technologií automatické identifikace (zejména RFID) a modelování logistických procesů pomocí simulačního logistického softwaru.

1 CÍL HABILITAČNÍ PRÁCE

Cílem habilitační práce je vytvoření uceleného přehledu o současném vědeckém poznání v oblasti využívání technologií automatické identifikace v logistice. Dále se zaměřuje na trendy v této oblasti i souvisejících technologií (Lokalizační systémy v reálném čase, Internet věcí a Digitální dvojče). Nedílnou součástí je i zakomponování vhodných vědeckých metod jako je experimentální měření a metody dynamické simulace, která nachází stále větší uplatnění a přináší významnou podporu při rozhodování v logistické problematice.

Dalším cílem je správné využití technologie RFID ve vybraných logistických procesech a za pomoci dynamické simulace zlepšit proces distribuce a třídění zásilek v logistickém centru.

Dále identifikovat pozitivní a negativní efekty při využívání technologií automatické identifikace v rámci logistických procesů. Práce se zaměří i na kritické posouzení s cílem upozornit na jejich omezení technologické, případně technické povahy.

Autor vychází z vlastních experimentálních měření, která prováděl v laboratoři automatické identifikace, jež se nachází na Dopravní fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice (DFJP UPCE) a ze získaných znalostí a dovedností z oblasti zkoumané problematiky, které nabyl z tuzemských a zahraničních stáží a v rámci spolupráce s odborníky z praxe.

2 ZVOLENÉ METODY ZKOUMÁNÍ

Tato kapitola obsahuje základní charakteristiky použitých metod a účel jejich použití v rámci habilitační práce.

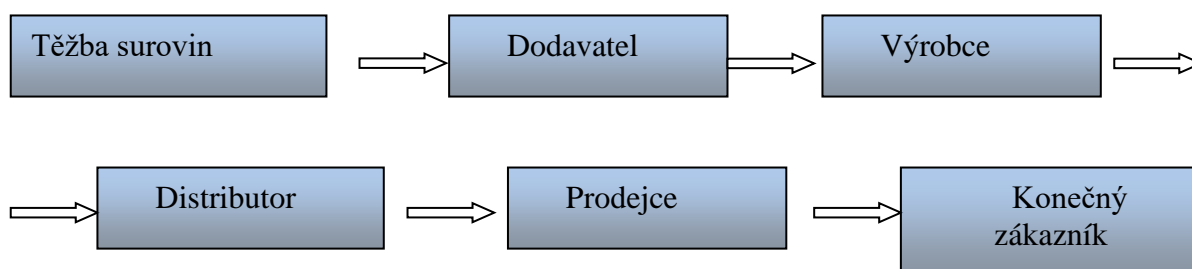
V habilitační práci budou použity následující metody.

- Metoda sběru, shromažďování a zpracování informací sloužící pro poznání dané problematiky a splnění cíle habilitační práce.
- Abstrakce – myšlenkový proces odlučující odlišnosti a zvláštnosti a zjišťující obecné, podstatné vlastnosti a vztahy v rámci problematiky této habilitační práce.
- Analýza – vědecká metoda založená na dekompozici celku na elementární části. Cílem analýzy je identifikovat podstatné a nutné vlastnosti předmětu habilitační práce, poznat jejich podstatu a zákonitosti.
- Syntéza – shrnutí, sjednocení jednotlivých částí (spojuje dvě nebo více částí do jednoho celku); slouží pro shrnutí poznatků z dané problematiky.
- Dedukce – typ úsudku a metoda zkoumání, kdy se z přijatých informací dospívá k novému tvrzení, závěru, důsledku; postup od obecného k jednotlivému.
- Indukce – typ úsudku a metoda zkoumání, kdy se z jedinečných informací usuzuje na obecný závěr, postup od zvláštního k obecnému.
- Metoda komparace (Benchmarking) – porovnává dva nebo více jevů a odhaluje odchylky. Pomocí této analytické metody budou zjištěny rozdíly v jednotlivých technologiích AIDC.
- Brainstorming – je skupinová technika zaměřená na generování co nejvíce nápadů na dané téma. Je založena na skupinovém výkonu. Nosnou myšlenkou je předpoklad, že lidé ve skupině, na základě podnětů ostatních, vymyslí více, než by vymysleli jednotlivě. Tato analytická metoda slouží pro zjištění současného stavu v oblasti používání AIDC a jejich potenciál v budoucnu.
- Delfská metoda – patří mezi expertní metody. Metoda k dosažení souhlasu ve skupině odborníků za účelem získat ucelený názor na určitou věc.
- Experiment – jedná se o vědecký pokus, který je záměrně realizován. V jeho průběhu jsou cíleně ovlivňovány podmínky s následným vyhodnocením jeho průběhu a získaných výsledků. Experiment je využíván v následujících částech práce formou experimentálních měření v laboratoři automatické identifikace.

- Rozhovor – je metoda získávání dat.
- Dynamická simulace – umožňuje přenést reálný proces do softwarového (virtuálního) prostředí, v kterém dochází k napodobení chování reálného systému pomocí modelu
- Případová studie (Case study) – metoda kvalitativního výzkumu. Zabývá se podrobným studiem jednoho či nemnoho případů s cílem implementace získaných poznatků při porozumění případům obdobným.

3 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU DANÉ PROBLEMATIKY

Tato část práce se zabývá současnými trendy v logistice. Logistika řeší tři hlavní logistické toky a to materiálový, informační a finanční. Toky jsou nedílnou součástí logistického řetězce. *Logistický řetězec (Logistic chain) je název pro „dynamické propojení trhu spotřeby s trhy zdrojů (surovin, materiálů a polotovarů) z hmotného i nehmotného hlediska, které vychází z poptávky konečného zákazníka a jeho cílem je pružné, kvalitní a z hlediska nákladů ekonomicky výhodné uspokojení této poptávky konečného článku řetězce [1].* V odborné literatuře se logistický řetězec nazývá i pojmy jako dodavatelský řetězec, dodavatelsko-odběratelský řetězec případně hodnototvorný řetězec. Obrázek 1 znázorňuje zjednodušený dodavatelský řetězec. Zjednodušení dodavatelského řetězce spočívá v jeho přímém sledu jeho článků a ve značné redukci jejich počtu. V reálných podmínkách existuje více dodavatelů a to v různých úrovních. Stejná situace je i u ostatních základních článků řetězce [2].



Obr. 1 Zjednodušený dodavatelský řetězec [2]

Řízení dodavatelského řetězce (SCM) slouží k plánování operací a navrhování systémů dodavatelského řetězce (SC), které jsou schopny uspokojit poptávku zákazníků ve stanoveném termínu a s co nejnižšími náklady. Takového cíle lze dosáhnout účinným řízením SC, které se snaží vyhnout chybám a nejistotám měření, a také včasným a přesným sledováním zásob ve skladech [3].

V současné době je stále zřetelnější, že nejnovější technologie jsou zaváděny do všech logistických činností s cílem zajistit efektivní tok zboží v dodavatelském řetězci. Děje se tak bez ohledu na to, zda se jedná pouze o sledování, identifikaci, resp. evidenci, přípravu zboží, resp. platbu za zboží. Většina dříve prováděných manuálních úkonů byla nebo bude postupně nahrazena automatizovanými systémy zpracování a identifikace a také bezdrátovými technologiemi zajišťujícími aktivní sledování, vyhledávání, správu zboží a provádění operací zajišťovaných logistickými společnostmi. Mezi tyto systémy patří technologie označovaná

jako AIDC (Automatická identifikace a sběr dat, Automatic Identification and Data Capture). Jedná se o nejvíce využívané systémy pro zpracování zboží a řízení logistických procesů. Představuje skupinu různých technologií používaných pro automatickou identifikaci položek, sběr dat o těchto položkách s možností zadávat tato data v elektronické podobě do podnikových informačních systémů. Podle [4] je důvodem jejich rozšíření zejména skutečnost, že systémy automatické identifikace a sběru dat jsou ve většině případů schopny pracovat bez zásahu člověka, který se pak omezuje na skenování zboží, resp. předmětů vybavených identifikací/zařízením AIDC (např. čárový kód na potravinách nebo oprávnění ke vstupu zajištěné technologií RFID, Radio Frequency IDentification).

Mnohé z technologií automatické identifikace a sběru dat (někdy také označovaná jako „*automatická identifikace*“ nebo „*Auto-ID*“) jsou ve své podstatě staršího data vývoje a zaznamenaly v průběhu let výrazného progresu a jsou tak momentálně dostupné všem uživatelům, kteří hledají interakci obchodních procesů a systémů využívajících AIDC elektronických zařízení. Na straně druhé, některé z principů a technik využívaných v AIDC nemají až takové celoplošné nasazení a využití, a to zejména z důvodu vysokých vstupních nákladů spojených s implementací a údržbou v podnikovém systému, nebo jednoduše z důvodu upřednostnění alternativní/levnější formy automatické identifikace (čárové kódy (event. QR kódy) vs. RFID tagy) [5].

Dle [6] se každý systém automatické identifikace v obecné rovině skládá z následujících prvků, přičemž se odlišují v závislosti na funkcích, které mají provádět a také podle uplatnění fyzikálních jevů, na kterých jsou založeny:

- **Snímací zařízení** – umožňuje přečtení identifikačního kódu resp. symbolů, na místě styku hmotného a informačního systému a jeho následné převedení do vhodného tvaru pro další zpracování.
- **Nosič kódu** – slouží k zachycení symbolu kódu, přičemž se může jednat přímo o výrobek, součást výrobku, nebo bývá zpravidla připevněn na výrobku (např. na obalu, jako etiketa, magnetická páska nebo proužek). Odpovídá zvolené identifikační technologii podle konkrétních podmínek aplikace a obvykle je fyzicky vázán k objektu identifikace.
- **Programová jednotka** – představuje zařízení umožňující uložit získaná data/informace na programovatelný nosič dat, ačkoli jenom v kombinacích se systémy automatické identifikace, které jsou schopny využívat programovatelných jednotek.

- **Vyhodnocovací jednotka** – má na starosti převedení zjištěného kódu do formy srozumitelné pro člověka, nebo pro automatické vyhodnocení a vyvolání následných činností nebo aktivit. Vyhodnocovací jednotka je součástí informačního systému a často zabezpečuje zpětnou vazbu mezi jednotkou a identifikovanými objekty.

Výše zmíněné základní prvky jsou znázorněny na obrázku č. 2.



Obr. 2 Obecné schéma prvků technologie AIDC [7]

Před zavedením vhodné technologie automatické identifikace v podniku je třeba kalkulovat nejen se vstupními náklady potřebnými na realizaci dané technologie, ale také s provozními náklady, přímo závislými na funkcích a činnostech, kvůli kterým se daná technologie aplikuje. Efektivní využití jednotlivých technologií automatické identifikace se tak v konečném důsledku odvíjí od fyzikálních principů a konkrétních vlastností, kterými se technologie AIDC od sebe navzájem odlišují. Jedná se především o vlastnosti jako [8]:

- vzdálenost nosiče informací od snímacího zařízení,
- objem a hustota uložených dat,
- rozsah snímaných znaků,
- programovatelnost,
- možnost ručního vkládání dat,
- rychlost čtení,
- spolehlivost,
- trvanlivost nosiče a kódového označení,
- vhodnost pro různá pracovní (náročnější) prostředí,
- bezpečnost a ochrana dat.

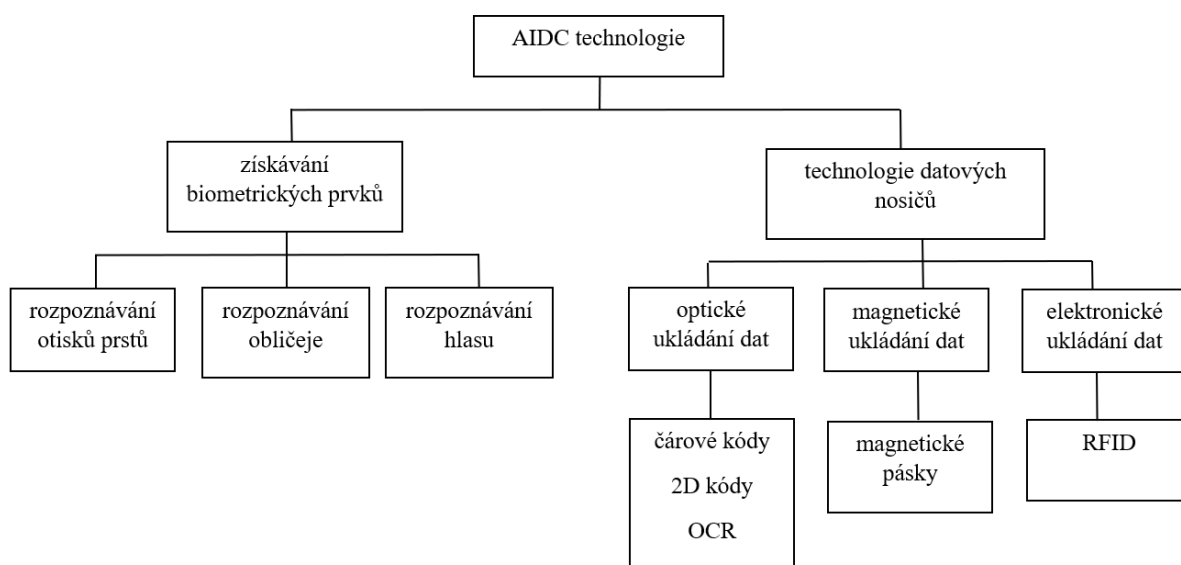
Na základě rozdílu mezi uvedenými vlastnostmi a principu fyzikálního jevu, na kterém je konkrétní technologie automatické identifikace založena, můžeme klasifikovat následující metody, resp. technologie automatické identifikace a sběru dat [6]:

- magnetická technologie,

- biometrická technologie,
- optická technologie,
- radiofrekvenční technologie.

3.1 Technologie automatické identifikace

Využívání a provozování každé technologie automatické identifikace s sebou přináší určitá pozitiva a negativa, ať již ekonomického, technického, popřípadě jiného aspektu. Především ekonomická náročnost zavedení některých technologií posouvá do popředí levnější alternativy. Dalším významným faktorem ovlivňujícím upřednostnění určité technologie je prostředí, kde se dané technologie budou provozovat a s nimi spojený vliv fyzikálních jevů na principy a metody, které jednotlivé technologie automatické identifikace využívají. V konečném důsledku je taktéž vhodné zohlednit funkční vhodnost nasazení konkrétní technologie. V následujících částech bude pozornost věnována stručnému popisu zmíněných druhů technologií automatické identifikace a sběru dat, které jsou znázorněny na obrázku 3.



Obr. 3 Typy technologie AIDC [9; upraveno autorem]

3.1.1 Magnetická technologie

Magnetickou technologii lze charakterizovat jako jednu z technologií automatické identifikace využívající magnetické metody založené na principu magnetického kódování dat na plášti/obalu nebo magnetickém proužku, které jsou umístěny na plastových

kartách/magnetických kartách nebo jiných magnetických nosičích dat, přičemž v dalším kroku jsou identifikovány pomocí magnetického skeneru s digitálním obvodem [10]. Magnetická karta se vyznačuje dlouhou životností a hlavní výhodou magnetické karty (například ve srovnání s čárovými kódy) je možnost opakovaného záznamu. Na druhou stranu se její výhoda může za určitých podmínek stát i její velkou nevýhodou, protože v případě, že je na kartě uložen určitý záznam, je velmi silný magnetický zdroj schopen kartu vymazat pomocí nechtěné magnetické indukce, pokud se nachází v blízkosti karty. Z tohoto důvodu a také z důvodu bezpečnosti zaznamenaných dat se v současné době používá hybridní systém založený na kombinaci magnetického proužku a programovatelného mikročipu [11].

3.1.2 Biometrická technologie

Biometrie je měření a statistická analýza jedinečných fyzických (otisky prstů rozpoznání obličeje, hlasu, oční duhovky nebo sítnice) a behaviorálních (styl psaní, chůze, pohyby prstů) charakteristik lidí. Tato technologie se používá především k identifikaci a kontrole přístupu nebo k identifikaci sledovaných osob. Základním předpokladem biometrické autentizace je, že každou osobu lze přesně identifikovat na základě vnitřních fyzických znaků nebo znaků chování [12].

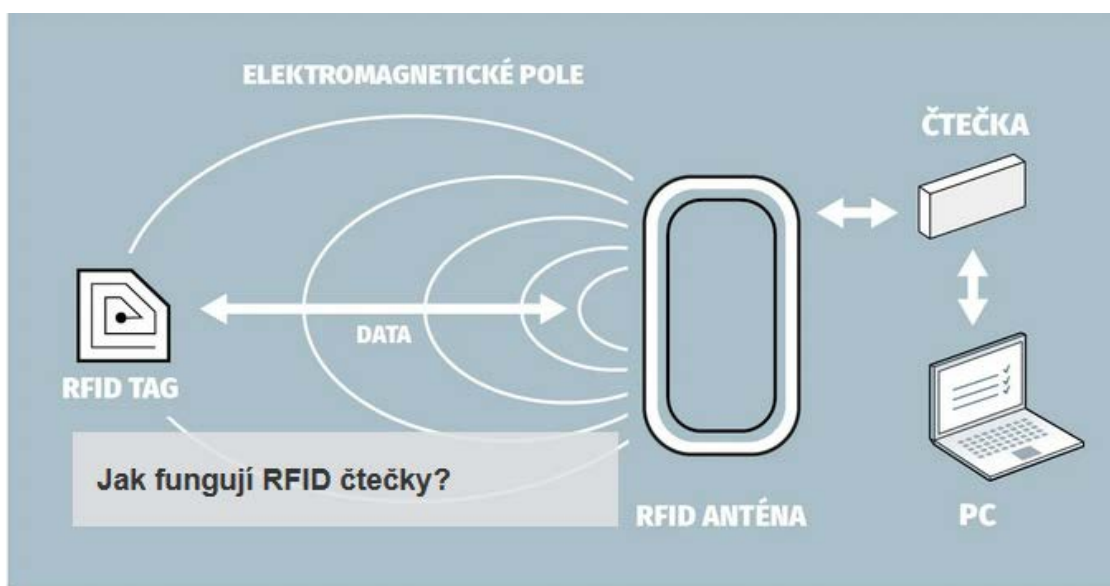
3.1.3 Optická technologie

Tato technologie je založená na principu odrazu a pohlcování světelných paprsků, které dopadají na nosič kódu a světelné paprsky jsou citlivými přístroji detekovány [13]. Technologie založené na tomto principu jsou např.:

- čárové kódy 1D a 2D
- systém OCR (Optické rozpoznání písma)

3.1.4 RFID

Technologie RFID (**R**adio **F**requency **I**dentification) je automatická identifikační technologie založená na principu elektromagnetických vln (obrázek 4), které detekují RFID tagy obsahující data.

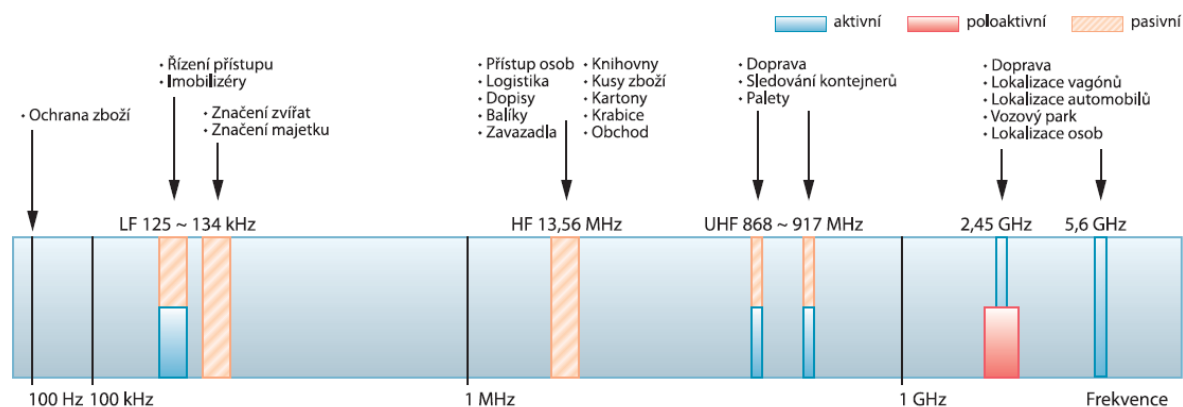


Obr. 4 Jak fungují RFID čtečky [14]

Komunikace mezi RFID čtečkou a RFID tagem probíhá ve čtyřech hlavních pracovních frekvencích [15]:

- nízká frekvence LF (Low Frequency), 125 kHz a 134 kHz, čtecí vzdálenost do 30 cm,
- vysoká frekvence HF (High Frequency), 13,56 MHz, čtecí vzdálenosti do 1 m,
- ultra vysoká frekvence UHF (Ultra High Frequency), od 850 MHz do 950 MHz, čtecí vzdálenosti do 10 metrů,
- mikrovlnná frekvence MW (Microwawe), 2,45 GHz (běžnější), 5,8 GHz nebo 9,6 GHz, komunikace s tagem na vzdálenost až několika desítek metrů.

Na obrázku 5 lze vidět využití jednotlivých frekvenčních pásem v logistice.



Obr. 5 Frekvenční pásma RFID [15]

Síť, která je založena na tradiční telekomunikační síti a internetu, se nazývá internet věcí (IoT). Zařízení v takových sítích propojují vzájemně rovnocenné subjekty a vytvářejí pokročilé spolupráce. Radiofrekvenční identifikace (RFID) se v posledních letech stala s rozvojem IoT žhavým tématem [16]. RFID tagy mohou obsahovat různé sensory (např. tlaku, teploty, vlhkosti apod.) a odesílat uložené data.

Níže uvedená tabulka 1 uvádí, jak se jednotliví autoři zaměřili na různý výzkumný cíl při využití technologie RFID. Dané cíle odráží, co všechno RFID umožňuje z pohledu logistiky. Nejvíce zastoupené cíle jsou efektivita procesu, sledovatelnost logistických jednotek a následně doplněny studií proveditelnosti.

Tab. 1 – Přehled vědeckých článků týkajících se výzkumu na základě RFID klasifikované podle výzkumného cíle

	Výzkumný cíl							
	Efektivita	Produktivita	Studie proveditelnosti	Doba cyklu	Řízení zásob	Bezpečnost	Sledovatelnost	Dodací lhůta
Song and Wu (2024)							✓	
Souza et al. (2024)					✓			
Menanno et al. (2023)	✓				✓		✓	
Xie et al. (2022)							✓	
Khan et al. (2020)	✓		✓		✓	✓	✓	
Poddaturi et.al (2020)	✓	✓					✓	
Ali and Haseeb (2019)	✓					✓	✓	✓
Biswal et al. (2018)	✓					✓		
Tsao et al. (2017)	✓		✓	✓				
Gautam et al. (2017)			✓		✓		✓	
Tian (2016)			✓			✓	✓	
Tanner (2016)	✓				✓	✓	✓	
Shin and Eksioglu (2015)		✓						
Ren (2015)	✓					✓		
Rossi and Pero (2014)			✓				✓	
Chen et al. (2013)	✓		✓					
Laosirhongthong et.al (2013)			✓					
Miaji et al (2013)			✓				✓	
Liu et al. (2012)						✓	✓	
Min et al. (2012)		✓	✓			✓		
Neubert et al. (2011)	✓		✓					
Bendavid and Boeck (2011)							✓	
Sarac et al. (2010)			✓		✓			
Battini et al. (2009)			✓				✓	
Jindae et al. (2008)							✓	
Choy et al. (2007)			✓	✓	✓			✓
Shrikant et al. (2007)			✓					✓

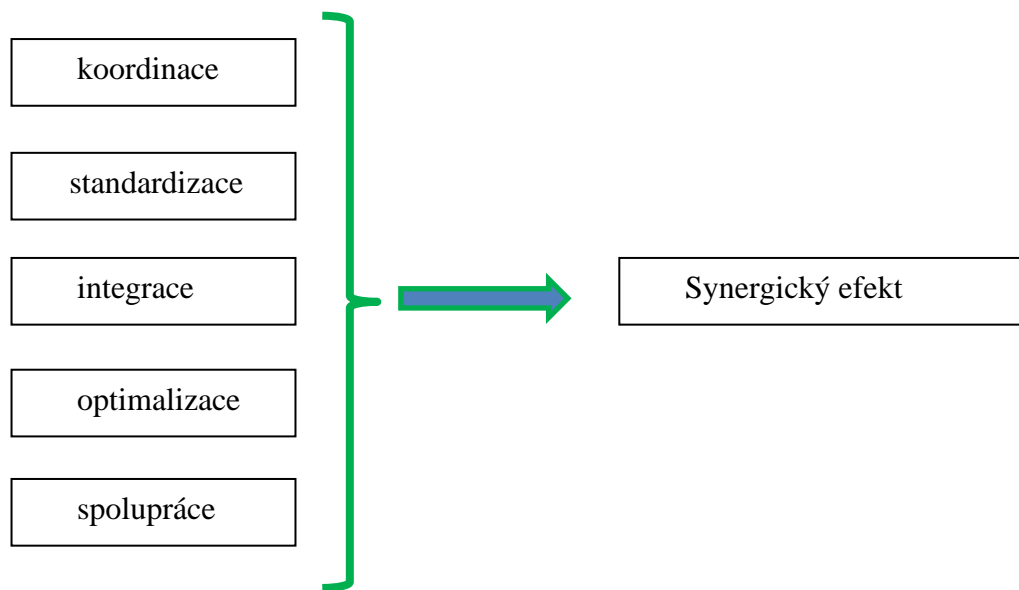
Zdroj: [17], upraveno autorem

3.2 Výzvy pro systémy automatické identifikace v dodavatelském řetězci

Hlavním přínosem technologií automatické identifikace je docílit efektivního informačního toku v dodavatelském řetězci. Jednotlivé články řetězce musí mít přesné a aktuální data a tím, kdo tomu napomáhá, jsou právě technologie AIDC. Nástroji, kterými lze toho dosáhnout, jsou E-business, ERP (Enterprise Resources Planning) systémy a RFID [18].

V důsledku prohlubující se globalizace jsou však dodavatelské řetězce více a více složitější, na což upozorňuje literatura [19], [20], [21] a [22].

Složitějším řetězcem se přitom myslí řetězec, který má více článků, které se nacházejí v různých částech světa a tím jsou mezi nimi i větší vzdálenosti. Z toho také plyne složitější zabezpečení logistického informačního toku. A zde mají právě velký potenciál technologie AIDC (viz příloha A). Zásadní je přitom zabezpečit koordinaci, standardizaci, integraci a spolupráci v logistických člancích řetězce s cílem dosáhnout synergických efektů, jak znázorňuje obrázek 6.

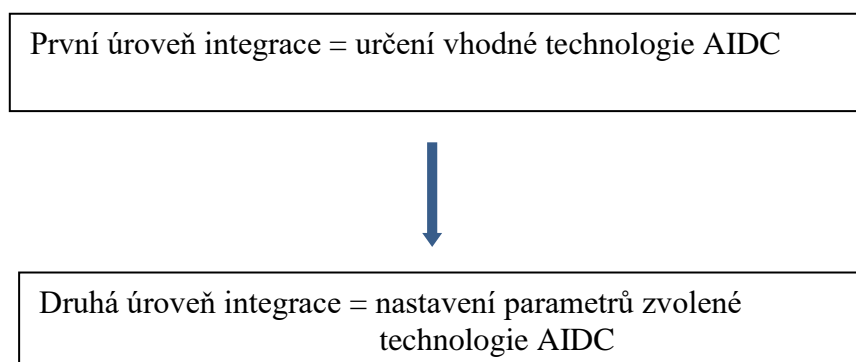


Obr. 6 Předpoklady pro dosažení synergického efektu [2]

Nejvíce propracovaný systém lze v současné době nalézt v odvětví automobilového průmyslu. Důkazem je fungování technologie Just in Sequence (JIS), která je mimo jiné založena na využívání technologií AIDC, EDI, ERP, WMS a dalších.

Ostatní odvětví se snaží přebírat logistické systémy z automotive industry, ale v modifikované formě, protože každé odvětví průmyslu má svá specifika.

V rámci procesu dosahování synergického efektu je také velmi důležitá „standardizace“, jak ve zvolení technologie AIDC, tak jejich parametrů (viz obrázek 7).



Obr. 7 Úrovně integrace technologie AIDC v dodavatelském řetězci [5]

RTLS ve vazbě na digitální dvojče

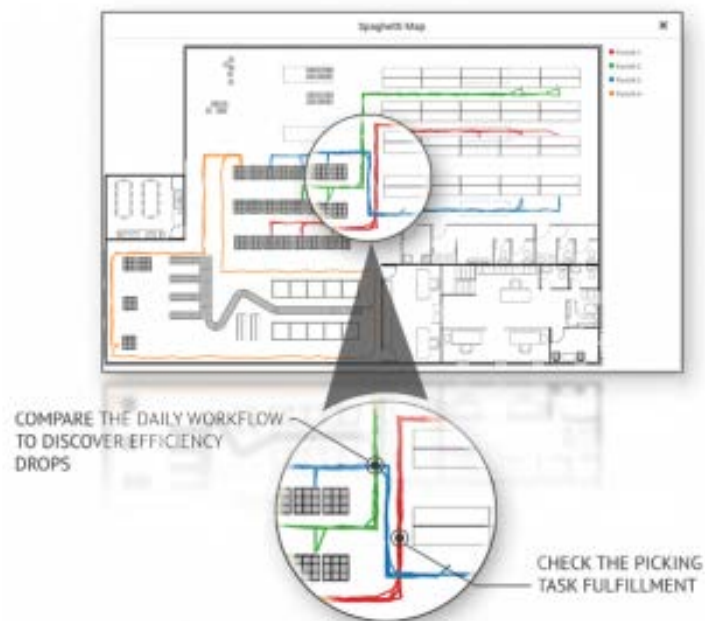
Lokalizační systémy v reálném čase (RTLS) je řešení pro přesný monitoring RFID tagů ve vymezeném prostoru a čase [23]. Umožňuje zlepšit viditelnost logistických procesů

(výroba, skladování, distribuce apod.), identifikovat slabá místa a následně zefektivnit hlavní procesy [23]. Možné technické provedení je znázorněno na následujícím obrázku č. 8.



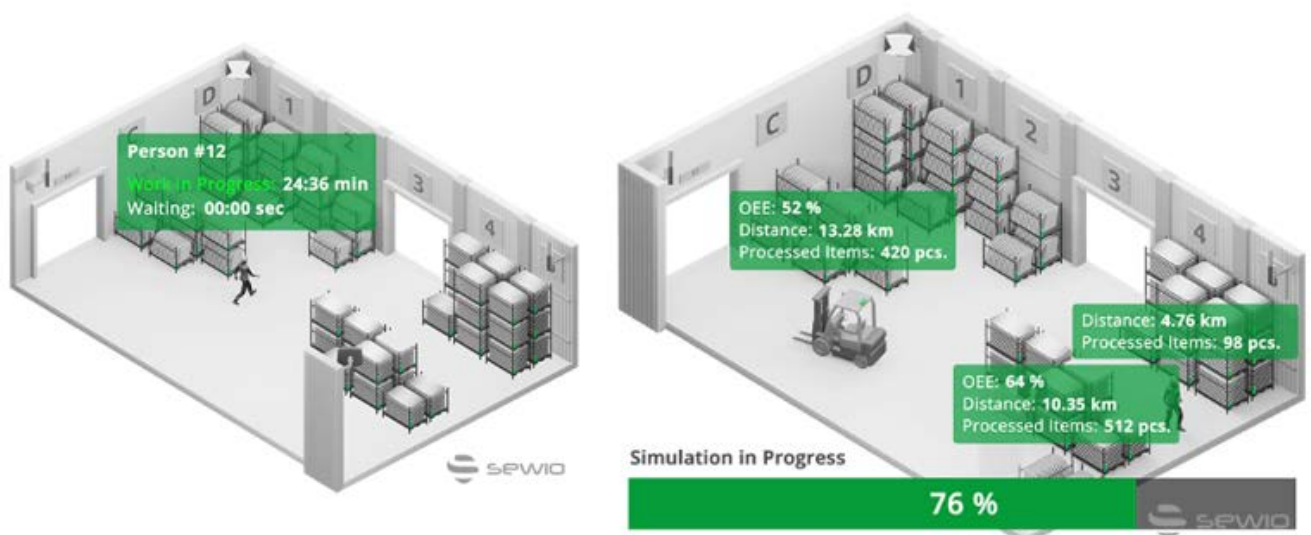
Obr. 8 systém RTLS [23]

Získaná data z RTLS systému lze zobrazit a následně zpracovávat v softwarovém prostředí, jak uvádí obrázek 9.



Obr. 9 Grafické zobrazení RTLS [23]

Na základě reálných dat získaných pomocí RTLS lze vytvořit digitální dvojče (DT), které umožní vizualizovat, vyhodnocovat a optimalizovat procesy [24]. Koncept DT poskytuje účinnější kontrolu a pomáhá tak ke zvýšení produktivity (viz obrázek č. 10).



Obr. 10 Digitální dvojče [24]

Pomocí digitálního dvojčete lze simulovat různé scénáře monitorovaných procesů a následně předvídat pravděpodobné výsledky v závislosti na nastavení různých parametrů systému.

4 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE RFID V LOGISTICKÝCH PROCESECH

Kapitola se věnuje implementacím technologie RFID v logistických procesech. Jedna z aplikací je detekce poštovních přepravek při průchodu stacionární RFID měřící soustavou. Další realizace je detekování poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou v závislosti na použitém RFID tagu a jeho poloze. Část 4.3 řeší využití technologií automatické identifikace v distribuční logistice s cílem porovnat vybrané parametry efektivity procesu automatické identifikace zásilek. Část 4.4 zkoumá jakou časovou úsporu může přinést zavedení technologie radiofrekvenční identifikace ve srovnání s technologií čárových kódů v procesu konsolidace zásilek.

4.1 Simulace reálného poštovního provozu s využitím RFID technologie

Část 4.1 prezentuje publikační výstup [7]. Zabývá se simulací reálného poštovního provozu s využitím technologie RFID k identifikaci poštovních přepravních jednotek (přepravek) a provádí porovnání přesnosti čtení vybraných pasivních tagů s využitím různé kombinace antén Motorola AN480. Moderní technologie v současnosti pronikají do všech odvětví. Právě díky nim dokážou podniky mnohem efektivněji uspokojovat svoje zákazníky, ať již se nacházejí na konci pomyslného dodavatelského řetězce, popřípadě mezi jeho jednotlivými články. Implementace moderních technologií se však neodráží jen v úrovni poskytovaného zákaznického servisu, protože efektivní aplikací lze dosáhnout i výrazného snížení nákladů.

Nejinak je tomu i v poštovním sektoru, kde v posledních letech také dochází k výraznému pronikání moderních technologií do všech oblastí zpracování přepravovaných poštovních zásilek a realizace poštovního platebního styku. Tyto technologie přitom jsou využity hlavně v procesech identifikace, sledování, respektive evidence poštovních zásilek.

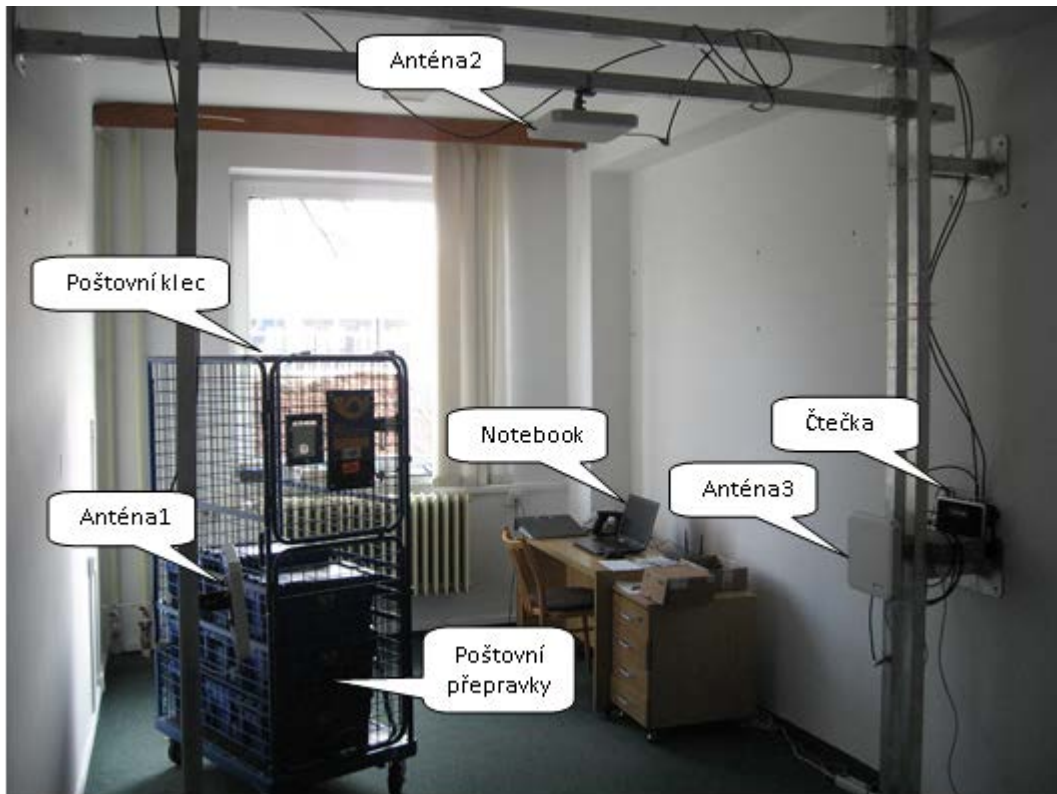
4.1.1 Měření

Pro potřeby měření byly použity následující prvky [7]:

- pracovní terminál (notebook),
- propojovací kabely,
- fixní čtyřportová čtečka Motorola FX9500,
- antény Motorola AN480 (3 kusy),
- pasivní tagy:

- UHF typu ALN-9640 Squiggle Inlay (9 kusů),
- UHF typu ALN-9654 G Inlay (9 kusů),
- UHF typu ALN-9662 Short Inlay (9 kusů),
- UHF typu ALN-9629 Square Inlay (9 kusů).

Výše popsaná soustava je znázorněna na obrázku 11.



Obr. 11 RFID měřící soustava [7]

Pro měření byly využity 4 typy pasivních UHF tagů vždy v počtu devíti kusů. Komparace rozměrů těchto tagů, antén a počtu zapisovacích cyklů při teplotě 25°C je znázorněna v tabulce 2, ze které je patrné, že z hlediska velikosti tagu je nejmenší tag typu ALN-9629 (celková plocha tagu odpovídá 676 mm²). Největším tagem, který byl použit, pro měření byl tag ALN-9654 (celková plocha tagu o velikosti 2 112 mm²). Z hlediska zapisovacích cyklů je možné na všechny tagy, kromě typu ALN-9654 (pouze 10 000 zapisovacích cyklů), provést 100 000 zápisů při doporučené teplotě 25°C.

Tab. 2 – Komparace parametrů tagů využitých pro potřeby měření

Vlastnost / Tag	ALN-9640	ALN-9654	ALN-9662	ALN-9629
Šířka antény [mm]	8,1	19,0	17,0	22,5
Délka antény [mm]	94,8	93,0	70,0	22,5
Plocha antény [mm ²]	767,9	1 767,0	1 190,0	506,3
Šířka tagu [mm]	11,5	22,0	20,0	26,0
Délka tagu [mm]	98,0	96,0	73,0	26,0
Plocha tagu [mm ²]	1 127,0	2 112,0	1 460,0	676,0
Počet zapisovacích cyklů [-]	100 000,0	10 000,0	100 000,0	10 000,0

Zdroj: [7]

Pro všechny tagy, které byly využity pro měření, jsou další parametry shodné, jako například:

- materiál jádra tagu: dřevovláknitá lepenka,
- skladovatelnost: 2 roky při teplotě do 25°C a vlhkosti do 40 %,
- limity pro skladování: teplota od -25°C do 50°C a vlhkost mezi 20 % a 90 %,
- provozní limity: teplota od -40°C do 70°C a vlhkost mezi 20 % a 90 %,
- maximální tlak: do 5N/mm².

Měření probíhalo ve specializované laboratoři automatické identifikace, kde bylo do reálné poštovní klece České pošty, s. p. umístěno celkem devět poštovních přepravek do třech sloupců. Přesné rozmístění jednotlivých poštovních přepravek v rámci poštovní klece je zobrazeno na obrázku 12. Všechny poštovní přepravky byly vyplněny různými listovními zásilkami, aby bylo dosaženo maximální možné míry reálného poštovního provozu. Na víko, umístěné nahoře, každé poštovní přepravky byl umístěn jeden tag (viz tabulka 2).

Následně bylo s poštovní klecí poježděno skrz měřicí profil vybavený třemi anténami značky Motorola AN480 (viz obrázek 11), napojenými do fixní čtyřportové čtečky Motorola FX9500. Měření bylo vždy realizováno ve třech různých variacích. Nejdříve byly použity všechny tři antény (jedna horní i dvě boční). Při dalším měření byly využity pouze dvě antény, konkrétně se jednalo o antény boční. V poslední variantě měření byly tagy načítány pouze anténou horní. Při každé variantě měření bylo celkem uskutečněno 50 měření, přičemž doba jednoho načítání byla 5 sekund. Všechna měření byla provedena pro všechny 4 typy tagů (viz tabulka 2).

Následující kapitola se zabývá výsledky, jež byly ze všech měření získány a následně zpracovány v programu MS Excel. Pro každý typ tagu (ALN-9640, ALN-9654, ALN-9662,

ALN-9629) a každou variantu měření bylo vždy uskutečněno celkem 50 měření, což poskytlo pro vyhodnocení této simulace širokou škálu dat, zaručujících vysokou validitu výzkumu.



Obr. 12 Rozmístění poštovních přepravek v poštovní kleci [7]

4.1.2 Výsledky měření

Tato část shrnuje naměřené výsledky pro všechny druhy použitých tagů a pro všechny tři varianty měření. Výsledky jsou seskupeny vždy podle typu použitého tagu a dle varianty měření.

UHF tagy typu ALN-9640 Squiggle Inlay

Při 1. variantě měření (všechny tři antény) došlo celkem k 44 440 načtením, přičemž nejméně byl načítán tag č. 2 (2 571 načtení) umístěný ve střední vrstvě v přepravní kleci. Naopak nejvíce byl načítán tag č. 9 (7 697 načtení), který byl připevněn na přepravní box v horní vrstvě.

Když načítaly tagy pouze dvě boční antény (2. varianta měření), tak došlo celkem k 40 160 načtením. Nejvíce krát načtený byl tag č. 9 (7 189 načtení), oproti tomu nejméně krát byl načítán tag č. 7 (2 647 načtení), jenž byl umístěn ve spodní vrstvě v přepravní kleci.

Při poslední variantě měření (pouze horní anténa) byly všechny tagy načteny celkem 48 910 krát. Nejméně byl načítán tag č. 2 (jako při 1. variantě měření). Tento tag dosáhl hodnoty načtení pouze 3 807. Nejvíce byl načítán tag č. 6 (8 083 načtení).

UHF tagy typu ALN-9654 G Inlay

Když byly tagy měřeny všemi třemi anténami, tak došlo celkem k 42 670 načtení, přičemž tag č. 4 byl načten nejméně krát (3 787 načtení) a tag č. 8 nejvíce krát (6 064 načtení). Tag č. 8 byl umístěn na poštovní přepravce ve střední vrstvě v rámci poštovní přepravní klece.

Při druhé variantě měření (s využitím bočních antén) došlo celkem k 42 770 načtením. Nejméně byl načítán tag č. 1 (2 438 načtení), který byl umístěn v nejspodnější vrstvě v přepravní kleci. Oproti tomu největšího počtu načtení dosáhl tag č. 7 (7 440 načtení), umístěný taktéž v nejspodnější vrstvě poštovní klece.

Horní anténa provedla celkem 49 040 načtení. Nejvíce načítala tag č. 1 (7 078 načtení), který byl umístěn v nejspodnější vrstvě poštovní klece. Tag č. 4, umístěný taktéž v nejspodnější vrstvě přepravní klece, byl načítán nejméně krát (2 530 načtení).

UHF tagy typu ALN-9662 Short Inlay

Tento typ tagu při měření načetly všechny tři antény celkem 42 740krát. Nejméně přitom načítaly tag č. 8 (1 743 načtení), který byl umístěn ve střední vrstvě v poštovní kleci. Tag č. 9, umístěný v nejvyšší vrstvě v přepravní kleci, byl načten nejvíce krát (celkem 7 005 načtení).

Při využití pouze bočních antén, tedy při 2. variantě měření, byly všechny tagy načteny celkem 41 110krát. Zajímavé je, že nejméně i nejvíce načítaný tag je totožný s měřením v předcházející variantě. Tedy, tag č. 8 byl načten nejméně krát (pouze 1 745 načtení) a tag č. 9 oproti tomu nejvíce krát (7 156 načtení).

Při třetí variantě měření, kdy byla použita pouze horní anténa, došlo celkem k 47 820 načtením. Tag č. 6, umístěný v nejvyšší vrstvě v poštovní přepravní kleci, byl načten nejvíce krát (7 912 načtení). Pouze 2 246 načtení dosáhl tak č. 7 naopak umístěný v nejspodnější vrstvě.

UHF tagy typu ALN-9629 Square Inlay

Při 1. variantě měření, kdy tagy snímaly všechny tři antény, došlo k 17 610 načtením. Nejméně načítaným tagem byl tag č. 5 (468 načtení). Tag č. 9 byl naopak načítán nejvíce (celkem 4 493 načtení). Následující tagy však nebyly při některých opakovaných měřeních načteny vůbec:

- tag č. 2 – 0 načtení při 3. měření,

- tag č. 3 – 0 načtení při 3. a 5. měření,
- tag č. 5 – 0 načtení při 1. a 2. měření.

Druhá varianta měření, kdy tagy snímají pouze boční antény, definovala jako nejvíce načítaný tag č. 8 (3 638 načtení). Celkem však došlo pouze k 6 320 načtením. Některé tagy nebyly načítány vůbec, ani jednou z použitých antén, popřípadě nebyly načteny při všech realizovaných měřeních, viz níže:

- tag č. 1 – nenačten v žádném z realizovaných měření,
- tag č. 3 – nenačten v žádném z realizovaných měření,
- tag č. 4 – nenačten v žádném z realizovaných měření,
- tag č. 5 – 0 načtení při 2. měření,
- tag č. 6 – nenačten v žádném z realizovaných měření,
- tag č. 7 – 0 načtení při 1. měření,
- tag č. 9 – 0 načtení při 5. měření.

4.1.3 Vyhodnocení naměřených výsledků

Naměřené výsledky budou vyhodnoceny z hlediska následujících kritérií:

- dle počtu načtení tagů dle jejich typu,
- dle počtu načtení tagů jednotlivými anténami,
- dle lokace jednotlivých tagů v rámci přepravní klece.

Vyhodnocení výsledků dle typu použitých tagů

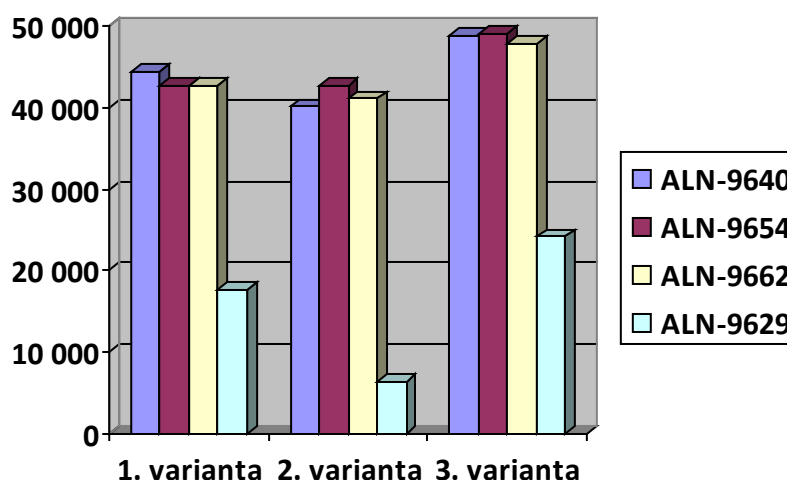
Jak již bylo uvedeno výše, tak pro potřeby měření byly využity následující druhy tagů (ALN-9640, ALN-9654, ALN-9662 a ALN-9629). Celkové počty načtení dle jednotlivých typů použitých tagů a varianty měření jsou prezentovány v tabulce 3.

Tab. 3 – Počet načtení tagů dle jejich typu a varianty měření

Typ tagu / počet načtení	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Celkem
ALN-9640	44 440	40 160	48 910	133 510
ALN-9654	42 670	42 770	49 040	134 480
ALN-9662	42 740	41 110	47 820	131 670
ALN-9629	17 610	6 320	24 160	48 090
Celkem	147 460	130 360	169 930	447 750

Zdroj: [7]

Z tabulky 3 a obrázku 13 vyplývá, že na základě provedeného měření, z hlediska použitých typů tagů, byly nejvícekrát načítány (celkem 134 480 načtení za všechny varianty měření) tagy typu ALN-9654 (nejvyšší počet načtení při 2. a 3. variantě měření). Tento typ tagu dosáhl pouze nepatrně horšího výsledku, z hlediska celkového počtu načtení, i v 1. variantě měření, kde byl načítán pouze o 1 770krát méně než nejnačítanější typ tagu (ALN-9640).



Obr. 13 Celk. počet načtení jednotlivých druhů použitých tagů dle varianty měření [7]

Na základě výsledků měření je možné dále konstatovat, že tagy typu ALN-9629 vykazují absolutně nejhorší výsledky, z hlediska celkového počtu načtení, ve všech realizovaných variantách měření.

V 1. variantě měření s využitím všech antén byly načteny pouze 17 610krát, což je více než o polovinu méně načtení, než další v pořadí nejhůře načítaný druh tagu ALN-9662 (42 740 načtení). Navíc, při této variantě měření, celkový počet načtení osciloval mezi hodnotami 42 až 45 tisíc načtení u druhů tagů ALN-9640, ALN-9654 a ALN-9662.

Při druhé variantě měření dosáhly tagy typu ALN-9629 absolutně nejhorsích výsledků, co do celkového počtu načtení, ze všech třech realizovaných variant měření. Celkem byly načteny pouze 6 320krát, což je v porovnání s ostatními tagy téměř o sedm krát méně. Navíc, když vezmeme v úvahu, že bylo načítáno celkem 9 tagů při 50 měřeních, tak docházíme k tomu, že průměrné načtení jednoho tagu typu ALN-9629 při jednom měření v rámci této varianty je rovno po zaokrouhlení hodnotě 14. Porovnat s touto hodnotou je možné například průměrné načtení jednoho tagu při jednom měření v rámci totožné varianty měření u tagů typu ALN-9654 (celkem 42 770 načtení), kde se dostáváme na hodnotu po zaokrouhlení rovnu 95, což v porovnání s průměrným počtem načtení jednoho tagu typu ALN-9629 v rámci jednoho měření, je v celku markantní a nezanedbatelný rozdíl.

Tagy typu ALN-9629 dosáhly nejlepších hodnot načtení při 3. variantě měření, avšak v komparaci s ostatními použitými typy tagů se opětovně jeví jako nejhůře použitelné, protože celkem byly načítány 24 160krát, oproti 48 910 načtení tagů ALN-9640, 49 040 načtení tagů ALN-9654 a 24 160 načtení tagů ALN-9662. Tagy typu ALN-9629 byly načítány o více než polovinu méně krát než ostatní konkurenční tagy použité v rámci tohoto měření.

Zcela zásadním problémem tagů typu ALN-9629 je fakt, že některé tagy při některých měřeních nebyly načteny vůbec a některé tagy nebyly načteny dokonce v žádném měření, čímž se z hlediska jejich aplikace do podmínek reálného poštovního provozu, jeví jako nepoužitelné.

Vyhodnocení výsledků dle počtu načtení tagů jednotlivými anténami

Jak již bylo uvedeno výše, tak měření bylo prováděno ve třech variantách, vždy s využitím antén Motorola AN480 následujícím způsobem:

- 1. varianta – načítání všemi třemi anténami,
- 2. varianta – načítání dvěma bočními anténami (levá a pravá),
- 3. varianta – načítání jednou anténou (horní anténa).

V tabulce 4 jsou uvedeny procentní podíly načtení jednotlivými anténami u 1. a 2. varianty měření. Analýzou 1. varianty měření (využití všech tří dostupných antén) docházíme k závěru, že největšího procentuálního načtení tagů dosáhla pro všechny druhy použitých tagů horní anténa, která vždy načetla mezi 41 až 60 % ze všech tagů. Horní anténa dále nejvíce načítala tagy ALN-9629, kdy jich načetla téměř 60 %.

Při druhé variantě měření (využití pouze pravé a levé boční antény) vždy načetla více tagů levá anténa, přičemž hodnoty načtení oscilovaly mezi 50 a 57 %. Nejvyváženějšího

procentuálního podílu, z hlediska komparace načtení oběma anténami, bylo dosaženo u tagů typu ALN-9640, které byly načteny ze 49,55 % pravou anténou a z 50,45 % anténou levou.

Vzhledem k tomu, že ve 3. variantě měření byly všechny tagy načítány pouze horní anténou, tak není účelné provádět rozbor načítání tagů dle jednotlivých použitých antén.

Tab. 4 – Podíl počtu načtení tagů dle antén a varianty měření [%]

Typ tagu / podíl načtení	Varianta 1			Varianta 2	
Anténa	Pravá	Horní	Levá	Pravá	Levá
ALN-9640	28,78	41,36	29,86	49,55	50,45
ALN-9654	27,37	41,60	31,03	45,73	54,27
ALN-9662	24,19	49,32	26,49	46,66	53,34
ALN-9629	25,95	59,91	14,14	43,99	56,01

Zdroj: [7]

Pokud bychom vzali v potaz celkový absolutní počet načtení a přihlíželi k výsledkům všech realizovaných měření, tak můžeme s odkazem na tabulku 3 konstatovat, že z hlediska přesnosti načítání vybraných pasivních UHF tagů, je nejefektivnější varianta 3, která využívá pouze horní anténu. Toto řešení je samozřejmě i nákladově přijatelnější, protože se zde počítá pouze s jedním kusem antény, oproti ostatním variantám měření (2 a více antén).

V reálném provozu však může dojít například vlivem technických problémů k výpadku antény. Pokud by byla použita pouze jedna anténa, tak by nebylo možné do odstranění závady dále identifikovat zásilky, proto je vzhledem k zabezpečení plynulosti procesu identifikace lepší používat dvě antény, přičemž jedna je v režimu on-line a druhá je takzvaná záložní, tedy v režimu off-line. Pokud dojde k výpadku první antény, tak okamžitě anténa číslo dvě změní svůj režim z off-line na on-line a anténu č. 1 nahradí, čímž nedojde k zastavení procesu identifikace, popřípadě k nenačtení některých zásilek.

Při první variantě měření (načítání všemi třemi anténami) totiž byly všechny druhy tagů načteny celkem 147 460krát. Pokud byly použity pouze dvě antény (boční – pravá a levá), tak byly tagy načteny celkem 130 360krát. Avšak při načítání pouze jednou (horní) anténou byly všechny druhy tagů načteny celkem 169 930krát.

Vyhodnocení výsledků dle lokace jednotlivých tagů v rámci přepravní klece

Tagy byly umístěny na poštovních přepravkách v poštovní přepravní kleci podle obrázku 12 ve třech sloupcích po třech přepravkách. Celkem tedy bylo pro měření vždy použito devět tagů umístěných vždy na víku jednotlivých přepravek.

V tabulkách 5 a 6 jsou vyhodnoceny nejvíce a nejméně načítané tagy dle varianty měření a dle typu použitého tagu.

Tab. 5 – Nejvíce načítané tagy dle jejich typu a varianty měření

Typ tagu / číslo a počet načtení	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
ALN-9640	9 – 7 697	9 – 7 189	6 – 8 083
ALN-9654	8 – 6 064	7 – 7 440	1 – 7 078
ALN-9662	9 – 7 005	9 – 7 156	6 – 7 912
ALN-9629	9 – 4 493	8 – 3 638	1 – 6 648

Zdroj: [7]

Při měření v rámci 1. varianty (využití všech antén) byl nejvícekrát načítán tag č. 9 umístěný v horní vrstvě v rámci přepravní klece na pravé straně při pohledu zepředu. U tagů typu ALN-9654 byl nejvíce načítán tag č. 8, který leží taktéž na pravé straně klece při pohledu z čela, avšak ve střední vrstvě.

Při druhé variantě měření (využití bočních antén) byly opět nejvíce načítány tagy (č. 7, 8 a 9) na pravé straně přepravní klece při pohledu z čela, přičemž zvláštní je, že byly rozmístěny ve všech vrstvách klece (spodní, střední i vrchní). Opět je zde patrný rozdíl mezi absolutním počtem načtení tagů typu ALN-9629 v komparaci s ostatními typy tagů.

Třetí varianta měření (využití horní antény) nevykázala nedostatky u tagu ALN-9629, který jinak vychází, na základě provedených měření, ve všech hodnocených kritériích jako nepoužitelný pro potřeby poštovního provozu. V rámci této varianty měření byl sice načítán ze všech ostatních tagů nejméně, ale hodnota u nejvíce načítaného tagu stále oscilovala mezi přijatelnými hodnotami. V tabulce 6 jsou dále prezentovány počty načtení nejméně načítaných tagů dle jejich typu a varianty měření.

Tab. 6 – Nejméně načítané tagy dle jejich typu a varianty měření

Typ tagu / číslo a počet načtení	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
ALN-9640	2 – 2 571	7 – 2 647	2 – 3 807
ALN-9654	4 – 3 787	1 – 2 438	4 – 2 530
ALN-9662	8 – 1 743	8 – 1 745	7 – 2 246
ALN-9629	5 – 468	1, 3, 4, 6 – 0	2 – 405

Zdroj: [7]

Z tabulky 6 je zřetelně patrné, že tagy typu ALN-9629 vykazují, v komparaci s ostatními měřenými tagy, výrazně horších hodnot, nejen z hlediska nejmenšího počtu načtení. Při první variantě měření byl nejméně načítaný tag typu ALN-9629 (tag č. 5) načten 3x až téměř 8x méně než ostatní analyzované tagy. V rámci druhé varianty měření tagy stejného typu č. 1, 3, 4 a 6 nebyly načteny ani v jednom z padesáti provedených měření

a ostatní tagy č. 5, 7 a 9 nebyly načteny při některém z prováděných měření. Při třetí variantě měření dosáhl tag č. 2 typu ALN-9629 pouze 405 načtení z padesáti prováděných měření, což znamená, že průměrně byl po zaokrouhlení tag načten v rámci jednoho měření 8krát. Oproti tomu, ostatní nejméně načítané tagy byly načteny průměrně v rámci jednoho měření po zaokrouhlení 45 až 76krát.

4.1.4 Shrnutí

Cílem této části práce bylo simulovat reálný poštovní provoz s využitím technologie RFID k identifikaci poštovních přepravních jednotek (přepravek) umístěných v poštovní kleci a provést komparaci přesnosti čtení vybraných pasivních tagů s využitím různé kombinace antén Motorola AN480.

K tomuto měření byly vybrány tagy typu ALN-9640, ALN-9654, ALN-9662, ALN-9629, přičemž analyzováno bylo: načtení tagů dle jejich typu, načtení tagů jednotlivými anténami a lokace jednotlivých tagů v rámci přepravní klece.

Na základě interpretace naměřených hodnot je možné konstatovat, že z hlediska použitých typů tagů, byly nejvíce krát načítány tagy typu ALN-9654 (nejvyšší počet načtení při 2. a 3. variantě měření). Tento typ tagu dosáhl pouze nepatrně horšího výsledku, z hlediska celkového počtu načtení, i v 1. variantě měření, kde byl načítán pouze o 1 770krát méně než nejnačítanější typ tagu (ALN-9640). Dále je možné tvrdit, že tagy typu ALN-9629 vykazují absolutně nejhorší výsledky, z hlediska celkového počtu načtení, ve všech realizovaných variantách měření.

Z hlediska načítání tagů jednotlivými anténami docházíme k závěru, že největšího procentuálního načtení tagů dosáhla pro všechny druhy použitých tagů horní anténa, která vždy načetla mezi 41 až 60 % ze všech tagů. Pokud bychom vzali v potaz i celkový absolutní počet načtení a přihlíželi k výsledkům všech realizovaných měření, tak můžeme dále konstatovat, že z hlediska přesnosti načítání vybraných pasivních UHF tagů, je nejefektivnější varianta 3, která využívá pouze horní anténu. Toto řešení je samozřejmě i nákladově přijatelnější, protože se zde počítá pouze s jedním kusem antény. V reálném provozu však může dojít k výpadku antény. Pokud by byla použita pouze jedna anténa, tak by nebylo možné do odstranění závady dále identifikovat zásilky, proto je vzhledem k zabezpečení plynulosti procesu identifikace lepší používat dvě antény, přičemž jedna je v režimu on-line a druhá je takzvaná záložní, tedy v režimu off-line.

Analýza načítání jednotlivých tagů definovala jako nejproblematictější tagy typu ALN-9629, které vykazují v komparaci s ostatními měřenými tagy, výrazně horší hodnoty,

nejen z hlediska nejmenšího počtu načtení. Při první variantě měření byl nejméně načítaný tag typu ALN-9629 načten 3x až téměř 8x méně než ostatní analyzované tagy. V rámci druhé varianty měření tagy stejného typu č. 1, 3, 4 a 6 nebyly načteny ani v jednom z padesáti provedených měření a ostatní tagy č. 5, 7 a 9 nebyly načteny při některém z prováděných měření.

Závěrem lze konstatovat, že tagy typu ALN-9629 nejsou vhodné pro implementaci do podmínek reálného poštovního provozu vzhledem k jejich nedostatečným výsledkům výše uvedeným. Naopak testované tagy typu ALN-9640, ALN-9654 a ALN-9662 byly vyhodnoceny jako vhodné pro použití.

4.2 Detekování poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou

Část 4.2 vychází z publikace [25]. Tato část řeší detekování poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou v závislosti na použitém RFID tagu a jeho poloze. Testovány byly dva rozdílné tagy a to aktivní tag typu RFID-tag-MET96 a pasivní tag typu HA-VIS FT 89. Oba RFID tagy jsou konstruovány na kovové předměty.

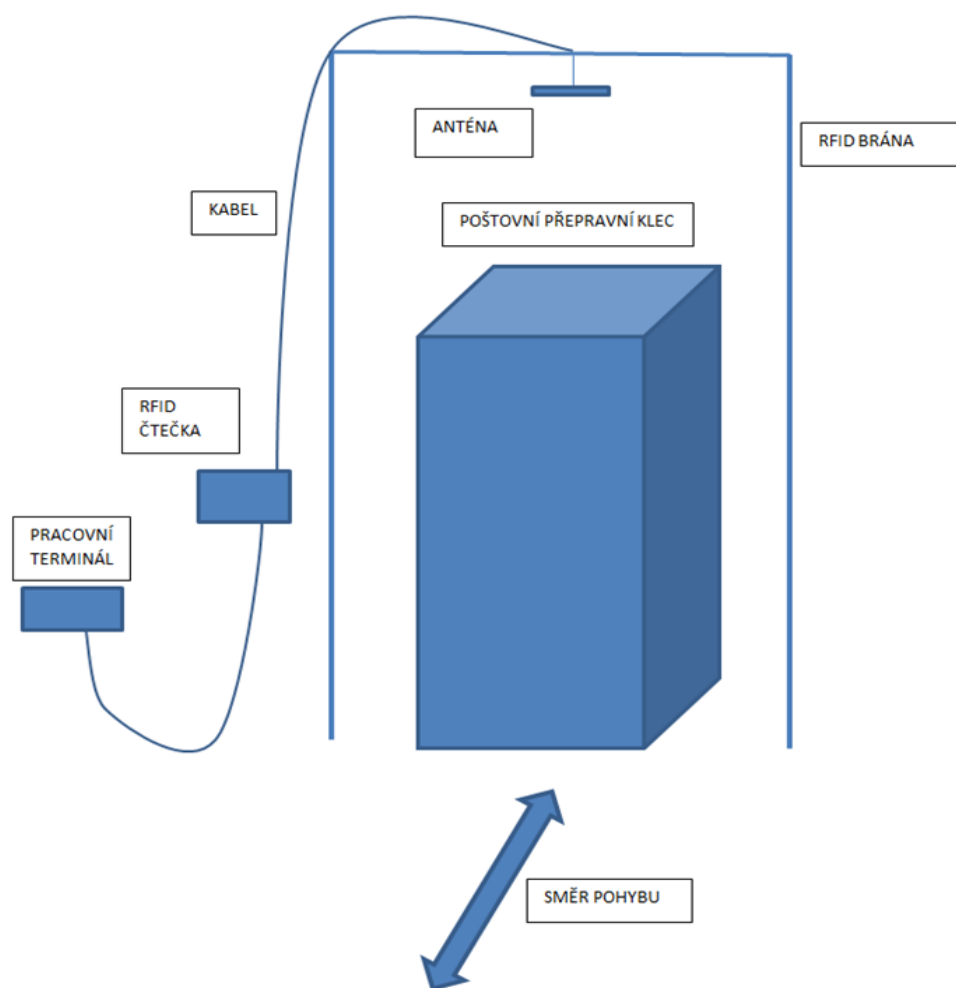
Detekování poštovní přepravní klece (dále jen „klec“) je potřebné pro evidenci jednotlivých klecí, zjištění jejich vytiženosti, poloze, atd. Klec je vyrobena z kovu a proto je potřeba pro jejich identifikaci použít RFID tagy, které jsou konstrukčně řešené tak, aby eliminovaly vlastnosti kovu při aplikaci RFID technologie.

4.2.1 Měření

V rámci měření bylo využito následující vybavení:

- pracovní terminál (notebook) s instalovaným softwarem SessionOne,
- propojovací kabely,
- fixní RFID čtečka Motorola FX9500,
- anténa Motorola AN480,
- pasivní tag: HA-VIS FT 89
- aktivní tag: RFID-tag-MET96
- poštovní přepravní klec
- RFID brána

Zapojení jednotlivého výše zmíněného vybavení je znázorněno na obrázku 14.



Obr. 14 Použité RFID vybavení [25]

RFID Tag MET96 (viz obrázek 15), výrobce Deister Electronic, rozměry 160*20 mm, určen pro kovový povrch, UHF (Ultra High Frequency), RW (Read/Write), 96 bits, aktivní.

Obr. 15 RFID Tag MET96 [25]

RFID Tag HA-VIS FT 89 (viz obrázek 16), výrobce Harting, určen pro kovový povrch, UHF (Ultra High Frequency), pasivní.



Obr. 16 RFID Tag HA-VISFT 89 [25]

Byly provedeny 2 varianty měření, které se lišily jen různým umístěním tagů. Ostatní zařízení zůstala beze změny.

První varianta měření – tag umístěn na dveřích klece

U první varianty měření byly oba RFID tagy umístěny tak, jak je znázorněno na obrázku 17, čili na dveřích klece. Používala se jedna RFID anténa AN480 viz obrázek 14, která se nacházela v horní části RFID brány. Při takto nastavené RFID soustavě nebyl pasivní tag HA-VIS FT 89 načten ani jednou. To bylo způsobeno směřováním antény vůči poloze tagu. Tuto situaci znázorňují obrázky 14 a 17. Aktivní RFID tag MET96 se podařilo detekovat, což vyplývá z vlastností aktivních tagů oproti pasivním. Průměrný počet načtení aktivního tagu za 10 s bylo 514. Jeden z dalších faktorů ovlivňujících výsledky měření je i rychlost, jakou se klec pohybuje. Průměrná rychlost klece při průchodu RFID bránou byla 5 km/hod.



Obr. 17 Umístění RFID tagu na dveřích klece [25]

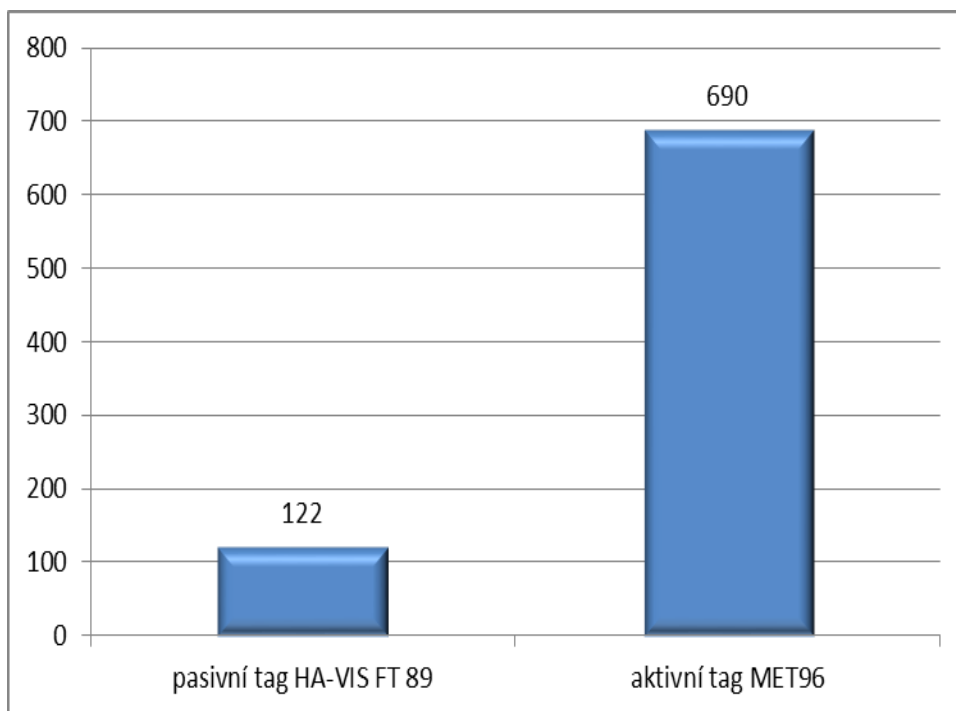
Druhá varianta měření - – tag umístěn na vrch klece

U druhé varianty měření byl RFID tag umístěn na vrch klece, což znázorňuje obrázek 18. U této varianty měření už byly detekovány oba dva typy tagu. Doba měření byla též 10 s.



Obr. 18 Umístění RFID tagu na vrch klece [25]

Z obrázku 19 vyplývá, že průměrný počet načtení pasivního tagu HA-VIS FT 89 za 10 s bylo 122 a průměrný počet načtení aktivního tagu MET96 za 10 s bylo 690. I když je průměrný počet načtení pasivního tagu nižší než u aktivního, tak pro potřeby detekce poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou to stačí.



Obr. 19 Průměrný počet načtení tagů u druhé varianty měření [25]

4.2.2 Shrnutí

Cílem této části práce bylo otestovat detekci poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou za pomoci dvou různých typů RFID tagů. Byly použity dva typy tagů určených na kovové předměty. Pasivní tag HA-VIS FT 89 a aktivní tag MET96. Měřením se prokázalo, že lepší detekce klece je, pokud je označena aktivním tagem. Významnou nevýhodou je, ale jeho několika násobně vyšší cena. Pokud by se klec měla označovat pasivním tagem, musel by se klást velký důraz na jeho polohu na kleci, protože díky vhodně zvolené poloze tagu vůči anténě se dá eliminovat nevýhoda pasivních tagů oproti aktivním. Tuto skutečnost prokázala druhá varianta měření. V dnešní době poskytovatelé logistických služeb hledají řešení, která zeštíhlují jednotlivé logistické náklady.

4.3 Technologie automatické identifikace v rámci distribuční logistiky z hlediska efektivity procesu identifikace

Část 4.3 prezentuje výsledky vědeckého článku [26]. Zabývá se využitím technologií automatické identifikace v distribuční logistice. Efektivně nastavená distribuční logistika významně přispívá ke zlepšení zákaznického servisu společností. V dnešní době, kdy roste význam elektronického obchodování, je nutné efektivně nastavit logistické procesy a používat

vhodné technologie. Řešení distribuce v rámci „poslední míle“ je z pohledu distribuční logistiky nezbytné. Je to poslední fáze distribuce zásilek konečnému zákazníkovi z distribučních center. Pokud jde o technologie automatické identifikace, v současné době se používají zejména čárové kódy, ale stále častěji se objevují také QR kódy. Existují však i jiné technologie automatické identifikace, jako je například technologie radiofrekvenční identifikace. Technologie radiofrekvenční identifikace umožňuje získat skutečná, přesná a aktuální data, která jsou potřebná pro efektivní distribuci. Cílem této části práce je porovnat vybrané parametry efektivity procesu automatické identifikace zásilek v rámci distribuční logistiky. Experimentální testování vybraných technologií automatické identifikace bylo provedeno ve specializované laboratoři automatické identifikace.

Distribuční logistika zahrnuje uspořádání systému nákladní dopravy a skladování, který slouží k přepravě zboží mezi místy výroby a spotřeby. Správné výrobky ve správném množství a správné kvalitě musí být dodány na správné místo, ve správný čas a za správné náklady ke správnému konečnému zákazníkovi. Toho musí být dosaženo při zachování nejvyšší možné úrovně zákaznických služeb a nejnižších možných nákladů. To je jeden z důvodů, proč společnosti neustále zdokonalují procesy distribuční logistiky a investují do moderních technologií. Zavádění technologií automatické identifikace v rámci distribuční logistiky je způsob, jak zvýšit úroveň služeb zákazníkům.

V souvislosti s globalizací se v posledních desetiletích objevilo mnoho nových mezinárodních obchodních a dopravních toků, které představují velké logistické výzvy v distribuční logistice [27]. Nastavení distribuční logistiky významně ovlivňuje rychlost a efektivitu distribuce [28]. Efektivní distribuční logistika vzniká při použití vhodných moderních technologií automatické identifikace. Typické technologie automatické identifikace používané v distribuční logistice jsou:

- čárové kódy,
- kódy rychlé odezvy (tzv. QR kódy),
- radiofrekvenční identifikace (RFID).

Evropské číslování zboží 13 (dále jen EAN-13) je lineární číselný a spojitý kód, který je určen především k rychlé identifikaci zboží. Kód může obsahovat 13 číslic. Každá číslice je kódována dvěma řádky a dvěma mezerami. Každá skupina číslic má svůj význam. První tři číslice označují zemi původu, další čtyři až šest číslic určují výrobce a následující číslice

určují konkrétní výrobek. Poslední číslice je kontrolní a slouží k ověření správnosti dekodování. EAN-13 je nejčastěji používaný čárový kód, který definovala nezisková organizace GS1. Tento kód je klíčový k externí databázi, z níž se zobrazují údaje týkající se výrobku [29].

QR kód je kód vyvinutý japonskou společností Toyota. Skládá se ze čtvercových buněk a umožňuje všesměrové a velmi rychlé načítání velkých objemů dat. Kód obsahuje tři charakteristické symboly, které slouží k orientaci čtečky a umožňují tak rychlé načtení dat. QR kód může kódovat číselné znaky, alfanumerické znaky, a binární data [30].

Technologie RFID se používá v široké škále aplikací již od 50. let 20. století [31]. V současné době se RFID začíná hojně rozvíjet a používat v různých průmyslových odvětvích, zejména tam, kde je kladen důraz na rychlost a přesnost informací, které jsou následně přenášeny podnikovým softwarem pro další reporting [32]. RFID využívá ke zpracování informací nosiče informací, tzv. tagy, čtečky a software. Velkou výhodou RFID je, že k získání informací z tagů není nutný přímý vizuální kontakt [33]. RFID tag může být například uložen v balíčku a čtečka jej může přečíst i na větší vzdálenost v závislosti na výkonu čtečky. To vede k velké úspoře času i nákladů společnosti [34]. Přesnost s RFID znamená, že díky vhodnému uspořádání čteček (antén) lze s velkou přesností sledovat pohyb balíků, zařízení nebo zaměstnanců. Díky tomu využívá RFID mnoho společností, například ve skladech pro manipulaci se zbožím [32]. Transparentnost a sledovatelnost RFID je účinným prostředkem ke snížení logistických nákladů [35, 36].

Technologie RFID je bohužel stále poměrně drahou technologií, která vyžaduje poměrně vysoké počáteční investice. Využívá bezdrátovou komunikaci založenou na principu odrazu elektromagnetických vln. Velký rozdíl oproti jiným bezdrátovým technologiím spočívá v tom, že čtečka je vysílačem vln a štítek RFID je přijímačem signálu. Místo vysílání vlastních signálů tag pouze moduluje nebo odráží elektromagnetické vlny z vysílače (pasivní tagy). Tato technologie má nespornou výhodu, že nevyžaduje složitou konstrukci tagu, ale pouze malý, jednoduchý tag, jehož výroba není technologicky ani finančně nákladná. To nelze říci o složitosti čtečky, která je konstrukčně poněkud složitější a jejíž pořízení je nákladnější. Označování RFID se osvědčilo v dopravních a logistických studiích [37, 38, 39].

4.3.1 Metody

Experimentální měření jsou z hlediska vědeckých metod využívána ve specializované laboratoři automatické identifikace umístěné na DFJP UPCE.

Cílem experimentálních měření bylo porovnat vybrané parametry účinnosti procesu automatické identifikace zásilek v rámci distribuční logistiky. Prvním parametrem je doba načtení. Tento parametr je definován jako doba načítání zásilek danou technologií. Druhým parametrem je čtecí vzdálenost. Tento parametr je definován jako požadovaná vzdálenost mezi čtecím zařízením a zásilkou, aby bylo zajištěno čtení zásilek.

Experimentální měření byla provedena pomocí následujících technologií automatické identifikace používaných v distribuční logistice:

- čárový kód (EAN-13),
- QR kód,
- RFID.

Vzorek použitých kódů EAN-13, QR kódů a RFID UHF tagů ALN-9654 "G" Inlay při experimentálních měřeních je zobrazen na obrázku 20. Tyto čárové kódy a QR kódy byly vybrány z důvodu jejich častého používání při sledování zásilek v rámci distribuční logistiky. Velikost použitých kódů (EAN-13 a QR) odpovídá standardům GS1, které jsou doporučeny pro procesy distribuční logistiky.

RFID UHF tag ALN-9654 "G" Inlay byl vybrán pro svou vhodnost pro distribuční logistické procesy. Tento typ tagu je určen pro použití na skle, plastech, dřevě nebo jiných náročných izolačních materiálech. Tag RFID UHF ALN-9654 "G" Inlay podporuje protokoly ISO/IEC 18000-6C a EPCglobal Class 1 Gen 2. Specifikace tagu je následující: Certifikát EPCglobal 950110126000001084, pracovní frekvence 840-960 MHz, velikost EPC 96-480 bitů a uživatelská paměť cca 512 bitů [40].



Obr. 20 Použitý kód EAN-13, QR kód a RFID UHF tag ALN-9654 "G" Inlay při experimentálních měřeních [40]

Experimentální měření účinnosti procesu identifikace zásilek v rámci distribuční logistiky bylo provedeno ve specializované laboratoři automatické identifikace pomocí přepravní klece, do které byly umístěny zásilky. (šest plastových beden a jedna papírová

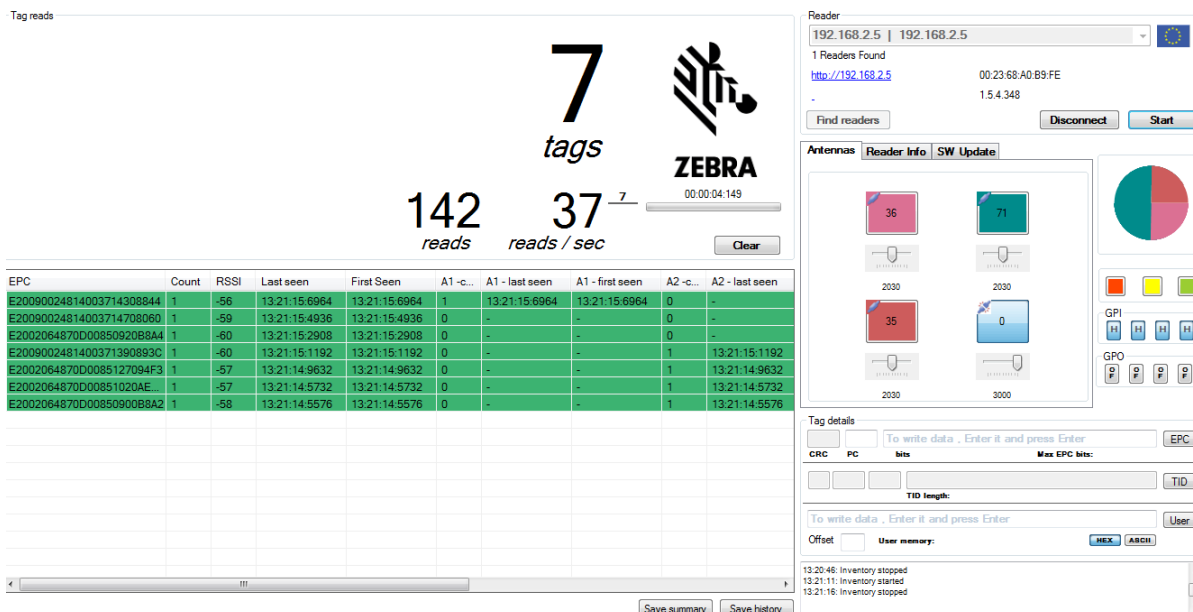
bedna). Každá zásilka byla označena jedním RFID UHF tagem ALN-9654 "G" Inlay, QR kódem a čárovým kódem (viz obrázek 20).

Ke čtení čárových kódů a QR kódů byla použita čtečka CipherLab CP30 WM 6.5 Pro, 2D Imager, BT, Wi-Fi, 3G WCDMA, GSM, GPRS, EDGE, WQVGA. Systém RFID se skládal z následujících komponent: fixní čtečka Motorola FX9500, antény RFID AN480, propojovací kabely, notebook včetně softwaru SessionOne pro zjišťování zařízení, inventární operace, přístupové operace, export tagů a mapování a zobrazování obrázků k ID tagů. Systém RFID pracoval na frekvenci UHF (850 MHz - 950 MHz). Tato frekvence je vhodná pro aplikace RFID v odvětví dopravy pro sledování kontejnerů, zásilek a palet [29].

Experimentální měření provádělo pět osob. Každá osoba provedla dvacet měření a celkem bylo pro každou technologii automatické identifikace realizováno sto nezávislých měření. Naměřená data byla aritmeticky zprůměrována. Tyto údaje byly použity pro vyhodnocení doby načtení a čtecí vzdálenosti analyzovaných technologií automatické identifikace [26].

4.3.2 Výsledky a diskuse

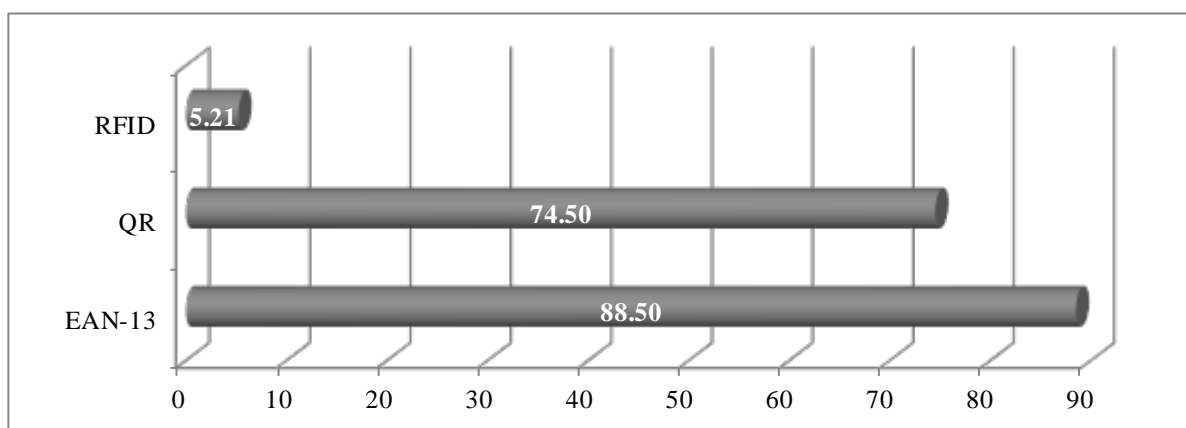
Doba načítání technologií RFID byla vyhodnocena pomocí softwaru SessionOne (obrázek 21). Tento software vyhodnocuje údaje o čtečce a anténě. Software vizualizuje číslo EPC tagu, počet přečtení za časovou jednotku, čas prvního a posledního přečtení tagu každou anténou a hodnotu indikátoru síly přijímaného signálu (RSSI). RSSI je měření síly přijímaného signálu ze zpětného signálu ze štítku RFID při dotazování čtečkou.



Obr. 21 Software SessionOne (experimentální měření č. 52) [26]

Doba načítání u ostatních technologií automatické identifikace (čárové kódy a QR kódy) byla měřena stopkami dvěma nezávislými pozorovateli.

Výsledky průměrné doby načítání jsou uvedeny na obrázku 22. Průměrná doba načítání zásilek s použitím technologie RFID činila 5,21 sekundy. Tato doba byla čtrnáctkrát kratší než při použití QR kódů a sedmáctkrát kratší než při použití čárových kódů, protože průměrná doba načtení zásilek při použití QR kódů činila 74,50 sekundy a u čárových kódů, 88,50 sekundy. Technologie RFID je z hlediska doby načtení zásilek jednoznačně nejrychlejší. Rozdíl v době načtení zásilek mezi technologií RFID a čárovými kódy nebo QR kódy je 69 až 83 sekund. Pokud by se pro experimentální měření použilo více než sedm zásilek, doba načtení čárového kódu nebo QR kódu by se výrazně prodloužila ve srovnání s dobou načtení čárového kódu nebo QR kódu v porovnání s dobou načítání pomocí technologie RFID. To je jedna ze základních výhod použití technologie RFID - krátká doba načítání tagů. Tato výhoda může mít zásadní význam pro zefektivnění distribučních logistických procesů. Průměrná doba načtení čárového kódu a QR kódu je velmi podobná, protože postup načítání kódu je stejný. Jediný rozdíl z hlediska načítání kódu spočívá v načítaném objektu. QR kódy jsou v porovnání s čárovými kódy stále oblíbenější, a to především proto, že v dnešní době umožňují v kontextu distribučních logistických procesů zakódovat více dat.



Obr. 22 Průměrná doba načtení zásilky pro vybrané technologie automatické identifikace [s] [26]

Druhým experimentálně testovaným parametrem byla čtecí vzdálenost. Systém RFID byl nastaven na standardní čtecí vzdálenost 1,5 m. Tato čtecí vzdálenost je v souladu se standardní vzdáleností 1,5 m s frekvencí UHF, která umožňuje čtení tagů na vzdálenost několika metrů. Čtecí vzdálenost pro čárové kódy a QR kódy vycházela z výsledků experimentálních měření zprůměrovaných na 0,4 m. Výsledky experimentálních měření ukazují, že potřebná vzdálenost mezi čtečkou a zásilkou pro zajištění čtení zásilek je v průměru 0,4 m. Tato vzdálenost čtení již zajišťuje načtení kódů zásilek.

Výsledky experimentálního měření potvrdily specifické výhody použití technologie RFID v distribučních logistických procesech. Zásadní výhodou technologie RFID spočívá v tom, že všechny RFID tagy (zásilky) jsou čteny společně v jednom časovém okamžiku. Díky této skutečnosti je doba načtení zásilek pomocí technologie RFID rychlejší. Výsledky experimentálního měření ukázaly, že doba načítání zásilek pomocí technologie RFID čtrnáctkrát kratší než při použití QR kódů a sedmáctkrát kratší než při použití čárových kódů. Vliv na to má i oddělené snímání čárových kódů a QR kódů. To způsobuje prodloužení doby načítání zásilek. Výhoda technologie RFID, která spočívá v současném načítání více zásilek, je spojena s další výhodou, že technologie RFID zajišťuje, že všechny zásilky obsahující RFID tagy jsou přečteny. Při použití technologie ručního snímání čárových kódů a QR kódů může obsluha snadno zapomenout (přehlédnout) některou ze zásilek.

Výhoda technologie RFID spočívá také ve snížení nebo eliminaci manuální práce. V situaci, kdy se používá statický systém RFID (brána RFID s anténami), není nutné, aby obsluha načítala jednotlivé zásilky, protože je systém RFID načítá automaticky. Zaměstnanec musí pouze zajistit tok zásilek přes bránu RFID. Na druhou stranu je možné použít například pásový dopravník, který zajistí plynulý tok zásilek přes bránu RFID. Při vkládání čárových

a QR kódů bude vždy nutné zajistit zaměstnance, kteří budou jednotlivé zásilky skenovat a vkládat do systému. Na základě výsledků experimentálních měření zaměřené na analyzování vybraných parametrů (doba načítání a čtecí vzdálenost) je možné konstatovat, že nejvhodnější technologií automatické identifikace z hlediska efektivity procesu identifikace je technologie RFID. Technologie RFID má i další specifické výhody spojené s nižší chybovostí při nakládání zásilek nebo s nižší manuální náročností.

Limity provedeného experimentálního měření souvisejí především s dobou načítání zásilek. Velký vliv má pracovní prostředí a technické vybavení (typ použitých antén a čteček, typ RFID tagu, velikost čárového kódu a QR kódu, osvětlení a laboratorní hluk). Důležitým aspektem jsou také osoby, které prováděly experimentální testování vybraných technologií automatické identifikace. Ve skutečnosti mohou hrát důležitou roli tyto faktory: školení, styl práce, fyzická kondice, zkušenosti, motivace. Snahou tohoto experimentálního měření byla snaha o odstranění těchto limitů. Bylo simulováno prostředí, které odpovídá podmínkám v logistických distribučních centrech v laboratoři automatizované identifikace. Bylo použito standardní vybavení, stejně jaké se používá v logistických distribučních centrech, pokud jde o technologie automatické identifikace. V distribučních logistických procesech se běžně používají vybrané RFID tagy, čárové kódy a QR kódy. Pracovníci, kteří prováděli experimentální měření, byli záměrně různého pohlaví a věku.

4.3.3 Shrnutí

Cílem této části práce bylo porovnat vybrané parametry účinnosti procesu identifikace zásilek v rámci distribuční logistiky. V rámci tohoto výzkumu byly vybrány dva testované parametry - doba načítání zásilek a čtecí vzdálenost technologií automatické identifikace. Experimentální testování vybraných technologií automatické identifikace bylo provedeno ve specializované laboratoři automatické identifikace. Testovány byly technologie RFID, čárové kódy a QR kódy.

Technologie RFID byla na základě experimentálního měření analyzovaných parametrů vyhodnocena jako nejlepší pro zajištění efektivity distribučních logistických procesů zásilek. Na druhou stranu má technologie RFID vyšší investiční náklady než čárové kódy a QR kódy. Technologie RFID je efektivní v situaci, kdy je implementována v celém dodavatelském řetězci současně. Subjekty dodavatelského řetězce neustále usilují o zefektivnění distribučních logistických procesů, protože přímo souvisejí s úrovní poskytovaných služeb

zákazníkům. Využití technologií automatické identifikace je jedním ze způsobů, jak tohoto zefektivnění dosáhnout.

4.4 Efektivita technologií automatické identifikace při konsolidaci zásilek

Část 4.4 prezentuje výsledky vědeckého článku [41]. Problematika distribuční logistiky včetně všech dílčích procesů je velmi aktuální. Elektronický obchod zažívá každoročně velký rozmach, který ještě umocnila pandemie COVIDu-19. V důsledku toho roste tlak na zefektivnění procesů distribuční logistiky v rámci logistiky poslední míle. Jedním z možných řešení je zkrácení doby procesu konsolidace zásilek pomocí technologií automatické identifikace (např. pomocí technologie radiofrekvenční identifikace), neboť poskytovatelé logistických služeb většinou používají pro automatické zpracování dat čárové kódy nebo technologii 2D kódů. Tato část práce se zaměřuje na efektivitu technologií automatické identifikace v procesu konsolidace zásilek. Cílem je zjistit, jakou časovou úsporu může přinést zavedení technologie radiofrekvenční identifikace ve srovnání s technologií čárových kódů v procesu konsolidace zásilek. Analyzované technologie automatické identifikace jsou experimentálně porovnávány s využitím laboratoře automatické identifikace na DFJP UPCE. Následně je v softwaru Witness Horizon vytvořen model konsolidace zásilek pomocí dynamické simulace, který simuluje dobu trvání procesu konsolidace zásilek pro různé vstupy a použitou technologii automatické identifikace. Hlavním sledovaným parametrem je celková doba trvání procesu konsolidace zásilek pro různé vstupní parametry modelu. Výsledky experimentální a dynamické simulace jsou porovnány v kontextu dalších studií.

Hlavním cílem každého podniku je optimalizovat všechny logistické operace, aby se minimalizovaly chyby a získala se konkurenční výhoda oproti ostatním podnikům v oboru [42]. Logistika je součástí řízení dodavatelského řetězce, která plánuje, realizuje a efektivně řídí dopředné a zpětné toky výrobků, služeb a příslušných informací z místa původu do místa spotřeby a skladování zboží s cílem uspokojit požadavky konečných zákazníků [43]. Řízení logistiky je integrující funkce, která koordinuje a optimalizuje všechny logistické činnosti a podílí se na propojení logistických činností s dalšími funkcemi, včetně marketingu, výroby, prodeje, financí a informačních technologií [43]. S rychlým rozvojem ekonomiky čelí rozvoj logistických společností po celém světě velké výzvě; zejména logistické společnosti obecně postrádají základní konkurenceschopnost, efektivní logistické procesy a povědomí o inovaci služeb není silné [44].

Náklady na distribuční logistiku představují nejvyšší podíl na celkových logistických nákladech a jejich racionalizace může přinést velké obchodní a konkurenční výhody [45]. Efektivní distribuční logistika vzniká při použití vhodných moderních technologií automatické identifikace [46]. Typickými technologiemi automatické identifikace používanými v distribuční logistice jsou čárové kódy, kódy rychlé odezvy (QR kódy), radiofrekvenční identifikace (RFID) [46].

Úloha skladování vychází z potřeb trhu a posunu výrobků ke spotřebiteli a lze rozlišit základní typy zásob, ať už se jedná o fázi zásobování nebo fázi distribuce [47]. Skladování přináší prostorové i časové výhody a pomáhá zajistit vysokou úroveň služeb zákazníkům [47]. Plánování zdrojů a správná distribuční logistika jsou rozhodujícími kroky při řízení komplexních logistických sítí [48]. Distribuční centra jako důležité uzly provádějí procesy, jako je soustřeďování, zpracování a distribuce nákladu, s podporou zařízení, jako je manipulační technika [49]. Všechna místa, kde dochází k manipulaci se zbožím zákazníka, např. od vozidla do skladu a zpět nebo uvnitř skladu, jsou rizikovými místy, protože poskytovatel přepravních služeb musí zajistit, aby všechny technologické a fyzické procesy byly řádně popsány a sděleny zákazníkovi, a zákazník musí být informován o všech odchylkách od předchozích postupů [50]. Mnoho výzkumníků v Číně i v zámoří zkoumalo umístění konkurenčních distribučních center z hlediska největšího podílu na trhu, který nová distribuční centra získala [51]. Byly analyzovány způsoby efektivního rozhodování o umístění nových distribučních center tak, aby získala co největší podíl na trhu vzhledem k existenci více distribučních center [51].

V dnešní době globalizace se logistika stala jedním z generátorů přidané hodnoty pro zákazníky. Dekoncentrace poptávky a nabídky, rostoucí požadavky zákazníků vedou ke zvýšení logistických nákladů [52]. To vede ke snížení prodejní marže nebo ke zvýšení cen. Je proto nutné zlepšit logistické procesy [52]. Logistické procesy se často vyznačují značnou nejistotou spojenou s jejich složitostí, spolehlivostí dostupných informací o aktuálních rizicích a dostupností různých statistických parametrů z předchozího období [53]. V současné době je k dispozici mnoho nástrojů pro obchodní modelování, které pomáhají při analýze a identifikaci logistických procesů [54]. Techniky simulačního modelování jsou jedním ze základních nástrojů, které se používají k identifikaci, analýze a optimalizaci logistických procesů a systémů [54]. Simulační nástroje dnes mohou nahradit experimenty, navrhovat a zdokonalovat systémy, školit a učit obsluhu [55]. Všechna opatření jsou navržena tak, aby fungovala environmentálně šetrně a nákladově efektivním způsobem [55]. Simulace nabízí mnoho možných řešení a umožňuje iteraci dříve vytvořeného modelu. To může pomoci

optimalizovat všechny logistické procesy [56]. Simulační modely jsou důležité pro plánování, realizaci a provoz logistických systémů, protože mohou zobrazit jejich dynamické chování [57]. Počítačová simulace je uznávaným nástrojem pro modelování chování rozsáhlých nebo složitých provozních logistických systémů [58].

4.4.1 Metody

Experimentální měření byla realizována ve specializované laboratoři automatické identifikace DFJP UPCE. Tato měření byla zaměřena na kontrolu vychystaných zásilek před distribucí v rámci procesu konsolidace zásilek. Cílem měření bylo porovnat využití technologie automatické identifikace (RFID a čárových kódů event. 2D kódem) v procesu konsolidace zásilek z hlediska parametru úspory času. Paleta se zásilkami je znázorněna na obrázku 23. Každá zásilka byla označena jedním UHF RFID tagem a jedním 1D nebo 2D kódem



Obr. 23 Manipulační jednotka - paleta se zásilkami [41]

Při experimentálních měřeních bylo použito následující vybavení: mobilní čtečka (1D a 2D kódů) CIPHERLAB CP30 a mobilní čtečka RFID ZEBRA MC3390R (obrázek 24).



Obr. 24 P Mobilní čtečka (1D a 2D kódů) CIPHERLAB CP30 (vlevo) a mobilní čtečka RFID ZEBRA MC3390R (vpravo) [41]

První část experimentu byla věnována čtení zásilek pomocí mobilní čtečky CIPHERLAB CP30 v procesu konsolidace. Zásilky byly označeny kódem GS-1 128 nebo GS1 QR kódem (obrázek 25). Tři nezávislí výzkumníci provedli třicet měření a měřili čas potřebný k přečtení všech zásilek. Druhá část experimentu se lišila pouze v tom, že ke čtení zásilek byla použita mobilní čtečka RFID. Každá zásilka byla označena tagem RFID UHF (Confidex Steelwave Micro IITM, Confidex Casey SlimTM, Confidex Carrier MicroTM, Confidex Carrier Tough II™ a ALN-9662). Obrázek 25 ukazuje vybrané různé typy použitých tagů UHF RFID.



Obr. 25 Kód GS1-128 (vlevo), kód GS1 QR (uprostřed), vybrané tagy UHF RFID (vpravo) [59, 60, 41]

Schematické znázornění dílčích procesů v rámci dvou různých typů experimentálních měření kontroly vychystaných zásilek před distribucí v rámci procesu konsolidace zásilek je uvedeno na obrázku 26. Hlavní rozdíl v obou analyzovaných technologiích automatické identifikace spočívá v tom, že v případě technologie čárového kódu a QR kódu je nutné načíst každou kontrolovanou zásilku zvlášť (horní proces na obrázku 26). Naproti tomu u technologie RFID to není nutné, protože všechny zásilky jsou snímány najednou ve stejný okamžik (spodní proces na obrázku 26).



Obr. 26 Dílčí procesy v rámci dvou různých typů experimentálních měření (technologie čárového kódu a QR kódu - horní proces, technologie RFID - dolní proces) [41]

Následně byla použita metoda dynamické simulace v softwaru Witness Horizon (verze 22.5b) ke stanovení časové úspory v trvání procesu konsolidace zásilek pomocí technologie RFID ve srovnání s technologií čárových kódů a QR kódů. V posledních letech začalo mnoho společností využívat dynamickou simulaci k optimalizaci podnikových procesů, protože 3D vizualizace může usnadnit pochopení vazeb mezi procesy, dále přispět ke zjednodušení procesů a inovacím a nepřímo snížit náklady [61]. Počítačová simulace je jedním z nejeftivnějších přístupů díky své schopnosti a flexibilitě simulovat a vyhodnocování statických a dynamických systémů, při zohlednění nejistoty a variability mezi systémy [62]. Dynamickou prediktivní simulaci lze použít v jakémkoli logistickém procesu, od skladování a manipulace až po optimalizaci výrobních linek a distribuci [63].

4.4.2 Výsledky

Průměrná doba vyzvednutí zásilky pro obě analyzované technologie byla 1,60 s (minimální hodnota), 2,25 s (střední hodnota), 3,70 s (maximální hodnota) a průměrná doba umístění zásilky na paletu pro obě analyzované technologie byla 0,80 s (minimální hodnota), 1,90 s (střední hodnota), 3,25 s (maximální hodnota). Průměrná doba skenování jedné zásilky byla 1,00 s (minimální hodnota), 1,85 s (střední hodnota), 2,50 s (maximální hodnota) při použití mobilní čtečky CIPHERLAB CP30. Průměrná doba společného skenování zásilek byla 2,50 s (minimální hodnota), 3,87 s (střední hodnota), 5,00 s (maximální hodnota) při použití mobilní čtečky RFID ZEBRA MC3390R (viz tabulka 7).

Tab. 7 – Nejméně načítané tagy dle jejich typu a varianty měření

Dílčí process	Čárový kód / QR kód			RFID technologie		
	Minimální hodnota [s]	Střední hodnota [s]	Maximální hodnota [s]	Minimální hodnota [s]	Střední hodnota [s]	Maximální hodnota [s]
Vyzvednutí zásilky	1.60	2.25	3.70	1.60	2.25	3.70
Umístění zásilky na paletu	0.80	1.90	3.25	0.80	1.90	3.25
Individuální skenování zásilky	1.00	1.85	2.50	---	---	---
Společné skenování zásilek na paletě	---	---	---	2.50	3.87	5.00

Zdroj: [41]

Dva analyzované scénáře (použití technologie čárových kódů / QR kódů a použití technologie RFID) byly poté převedeny do dynamického simulačního softwaru Witness Horizon a byly vytvořeny modely. Tyto modely zkoumaly dobu trvání konsolidačního procesu v závislosti na počtu zásilek (obrázek 27).



Obr. 27 Vizualizace procesu konsolidace v softwaru Witness Horizon (verze 22.5b) [41]

Doba trvání konsolidačního procesu byla modelována pro 50, 100, 150, ... a 350 zásilek pro čárové kódy/ QR kód a technologii RFID (tabulka 8).

Tab. 8 – Doba trvání procesu konsolidace podle technologie a počtu zásilek

Počet zásilek [-]	50	100	150	200	250	300	350
Čárový kód / QR kód [s]	336	683	1 021	1 363	1 718	2 058	2 393
RFID technologie [s]	262	517	757	1 007	1 267	1 527	1 792
Úspora času pro RFID technologii [s]	-74	-166	-264	-356	-451	-531	-601

Zdroj: [41]

Analýza obou scénářů jasně ukazuje časovou úsporu při použití technologie RFID, která se pohybuje od 22 do 26 %. Tato časová úspora je dána především tím, že při použití technologie RFID je možné v jeden okamžik naskenovat všechny zásilky najednou, zatímco při použití technologie čárových kódů/QR kódů je nutné skenovat každou zásilku zvlášť.

4.4.3 Shrnutí

Cílem bylo zjistit, jakou časovou úsporu může přinést zavedení technologie radiofrekvenční identifikace ve srovnání s technologií čárových kódů (event. QR kódů) v procesu konsolidace zásilek. Byly analyzovány dva typy experimentálních měření. První se zaměřilo na použití technologie čárového kódu / QR kódu a druhé se zaměřilo na použití technologie RFID. Experimentální měření byla prováděna v zázemí laboratoři automatické identifikace. Na základě výsledků experimentálních měření byly v softwaru Witness Horizon vytvořeny dynamické simulační modely pro jednotlivé typy měření. Software Witness Horizon modeloval dobu trvání konsolidačního procesu pro různé počty zásilek.

Zjištění jasně ukazují časovou úsporu při použití technologie RFID ve srovnání s technologií čárových kódů nebo QR kódů. Tato časová úspora je dána především tím, že je možné skenovat více zásilek najednou ve stejný okamžik. Na druhou stranu je třeba zdůraznit,

že zavedení technologie RFID je ve srovnání s technologií čárového kódu nebo QR kódu nákladnější. Výzkum obsahuje následující omezení: byly zkoumány pouze některé typy tagů RFID, čárových kódů a QR kódů. Zároveň byly použity pouze některé typy čtecích zařízení, přičemž je možné, že jiná čtecí zařízení, tagy a kódy by mohly poskytnout částečně odlišné výsledky. Rovněž výsledky mohou být odlišné u jiných typů zásilek, v jiné oblasti, kde technologie RFID nemusí fungovat tak dobře, nebo u jiných výzkumníků, kteří dosahují jiných časů při skenování zásilek a dalších činnostech. Další výzkum může být zaměřen na použití jiných typů kódů a tagů RFID, stejně jako na skenovací zařízení nebo jiné logistické procesy.

5 DYNAMICKÁ SIMULACE LOGISTICKÝCH PROCESŮ

Tato část je zaměřena na využití metody dynamické simulace logistických procesů. Metoda dynamické simulace nachází stále větší uplatnění a přináší významnou podporu při rozhodování v logistické problematice. Část 5.1 se zabývá vytvořením návrhu využití RFID technologie v rámci distribučního procesu zásilek za účelem jeho zefektivnění. Je použit simulační software Witness Horizon, který umožní pomocí dynamické simulace vyhodnotit přínos využití RFID technologie před samotnou její implementací. Část 5.2 se věnuje logistickému procesu třídění zásilek pro další distribuci. Daný proces je modelován a dynamicky simulován taktéž pomocí softwaru Witness Horizon s cílem zvýšit třídící kapacitu zásilek.

5.1 Využití technologie RFID v rámci logistického procesu distribuce za podpory dynamického simulačního softwarového nástroje

Část 5.1 vychází z publikačního výstupu [64]. Během posledních let objem zásilek prodaných elektronickou cestou významně narostl. Pandemická doba (z důvodu COVID-19) toto ještě umocnila, protože objem obchodů realizovaných prostřednictvím e-shopů ještě více narostl. Z důvodu pandemie COVID-19 a souvisejících restriktivních opatření byla uzavřena většina kamenných obchodů v České republice. Zákazníci nejčastěji využívají k nákupu zboží e-shopy. Tím pádem narůstá i objem balíkových přeprav ke konečným zákazníkům, kterou zajišťují balíkoví dopravci. Na zlepšování distribuční logistiky a na celý logistický systém je vyvíjen neustálý tlak v souvislosti s existující konkurencí, zachováním deklarované úrovně zákaznického servisu a stále narůstajícím objemem zásilek. Jednou z možností, jak zefektivnit logistický distribuční proces, je využití technologie RFID, jakožto jedné z technologií automatické identifikace. Cílem části 5.1 je vytvoření návrhu na využití RFID technologie v rámci distribučního procesu zásilek za účelem jeho zefektivnění. Pro naplnění cíle bude využit simulační software Witness Horizon, který umožní pomocí dynamické simulace vyhodnotit přínos využití RFID technologie před samotnou její implementací.

S rozvojem ekonomiky se logistický průmysl jako pomocné odvětví velmi rychle rozvíjí a úroveň jeho služeb se neustále zlepšuje, ale vysoké náklady na logistiku stále vyvolávají velké obavy. Náklady na logistickou distribuci tvoří velkou část celkových logistických nákladů. Pokud lze cestu rozumně naplánovat a optimalizovat tak, aby se zkrátil čas a snížily distribuční náklady, lze logistické náklady snížit. Základní schopnosti logistických společností se neustále zlepšují.

Logistické společnosti obecně nemají klíčovou konkurenceschopnost, chybí povědomí o inovaci služeb o problémech, které je třeba řešit, a ke studiu klíčových schopností společnosti by měly být použity dynamické výzkumné metody ke studiu klíčových schopností logistických společností. Vývoj základních kompetencí logistických společností je procesem dynamických změn.

Pandemie a epidemie představují dalekosáhlé scénáře hrozeb, jejichž frekvence narůstá [65]. Výsledné krize mohou mít vážné důsledky, zejména z lékařského, sociálního a ekonomického hlediska, jak prokázala pandemie COVID-19 v roce 2020. V pandemiích jsou opatření, jako je omezení sociální interakce a sebeizolace, zaměřena na zvládnání nemoci a zmírnění negativních dopadů [66]. Protože obchody s potravinami jsou místy blízkého osobního kontaktu, mohou způsobit infekce. Návštěvy by měly být omezeny při dodržování doporučení pro izolaci veřejnosti [67, 68]. Zásobování obyvatelstva základním zbožím, zejména potravinami, však musí být neustále zachováno. Doručování domů je logistické řešení, které snižuje sociální interakce, a je proto vhodné pro pandemické podmínky [67, 68]. Poruchy v logistickém řetězci mohou ohrozit dodávky [69]. Logistika poslední míle je finální fází v dodavatelských řetězcích s cílem distribuovat zboží lidem se zdravotním postižením [70]. Jiní autoři zdůrazňují důležitost omezených dopravních zdrojů pro nouzové dodávky v logistice poslední míle [71]. Distribuční náklady tvoří velkou část konečné prodejní ceny produktu a skládají se z fixních i variabilních nákladů. Společnosti proto musí snížit obě tyto složky distribučních nákladů, aby dosáhly vyšší poptávky po výrobcích ze strany zákazníků. Fixní náklady pocházejí zejména z platu řidiče nebo nákladů na používání vozidla a zatěžují distribuční společnost pouhým používáním vozidla bez ohledu na trasu a počet obsluhovaných zákazníků [72].

Vzhledem k tomu, že důležitost inovací v logistických podnicích nabývá na důležitosti, společnosti nadále pomáhají zlepšovat vztahy s uživateli, zlepšovat provozní efektivitu a snižovat logistické náklady [73, 74, 75]. Schopnost inovovat služby se proto stala jednou z nejdůležitějších součástí klíčových kompetencí logistických společností. Fáze formování základní kompetence logistických společností, základní kompetence fáze modernizace a hlavní kompetence modernizace [76].

Provoz modelové simulace spočívá především v testování přesnosti a platnosti výsledků modelové simulace, přičemž platnost spočívá především v testování, zda informace získané modelem mohou objektivně odrazet pravidla fungování skutečného systému a zda lze po prostudování modelu řešit problémy. Testovací metody zahrnují zjišťování struktury a platnosti modelu, chování struktury modelu a zjišťování konzistence reálného systému [77].

5.1.1 Metody

K vytvoření návrhu na využití technologie RFID v procesu distribuce zásilek byly v rámci této části 8 použity následující vědecké metody: analýza scénářů, experimentální testování čárových kódů a technologie RFID a dynamická simulace.

Analýza scénářů je založena na formulovaných alternativách, kdy pravděpodobnosti nejistot nejsou známy a může být použita k začlenění nejistot do posouzení robustnosti výkonu [78, 79, 80]. Scénáře se používají k představení řady možných alternativ, aby bylo možné posoudit odolnost návrhů na základě toho, jak se různé návrhy chovají v každé z těchto alternativ [81]. Byly analyzovány, simulovány a testovány dva scénáře (scénář A a B) týkající se logistického procesu distribuce zásilek. Oba scénáře simulují konečnou fázi distribuce balíků z distribučního centra. Balíky jsou připraveny v expediční zóně a musí být zaevidovány v interním informačním systému a předány řidiči k naložení do nákladního vozidla. V obou scénářích jsou dva pracovníci ("vychystávač" a "řidič"). Zásadní rozdíl mezi scénáři je z technologického hlediska, protože vychystávač ve scénáři A používá technologii čárových kódů, konkrétně ruční mobilní terminál a čtečku čárových kódů CipherLab CP30 WM 6.5 Pro a čárových kódů EAN-13. Po načtení zásilky do informačního systému je zásilka předána řidiči k naložení. Ve scénáři B vychystávač používá k předání balíků řidiči pásový dopravník a technologii RFID (konkrétně fixní čtečku Motorola FX9500, duální anténu RFID AN440, notebook včetně softwaru SessionOne pro zjišťování zařízení, inventarizační operace, přístupové operace, exportní tagy, tagy Alien ALN-9613 Sit Inlay a propojovací kabely), aby zajistil načtení balíků do interního informačního systému. Experimentální testování čárových kódů a technologie RFID bylo zajištěno ve laboratoři automatické identifikace na DFJP UPCE. V rámci tohoto testování byly experimentálně měřeny průměrné doby trvání jednotlivých procesů v rámci procesu distribuce zásilek pomocí technologie RFID a technologie čárových kódů. Vizualizace experimentálního testování technologie RFID je uvedena na obrázku 28.



Obr. 28 Vizualizace experimentálního testování technologie RFID [64]

Logistický proces distribuce zásilek byl analyzován, simulován a testován pomocí specializovaného softwaru pro dynamickou simulaci (Witness Horizon, verze 22.5b). V posledních letech začalo mnoho společností využívat dynamickou simulaci k optimalizaci podnikových procesů, protože může usnadnit pochopení vztahů mezi procesy, pomoci zjednodušit a inovovat procesy a nepřímo ušetřit náklady [82]. Využití dynamické simulace v oblasti logistiky je v posledních letech velmi populární, například v oblasti: plánování poptávky v dodavatelském řetězci [83], optimalizace výrobních linek [84], modelování městské logistiky [85], optimalizace výrobní logistiky [86] a řízení dodavatelského řetězce [87]. Dynamickou prediktivní simulaci lze využít v jakémkoli logistickém procesu, od skladování a manipulaci přes optimalizaci výrobních linek až po distribuci [82]. Pro správné zobecnění výsledků simulace je třeba provést více testů a prozkoumat více možných scénářů [88]. Nejprve byly vytvořeny modely pro oba scénáře pomocí programu Witness Horizon. Modely byly následně ověřeny a validovány. Poté byly jednotlivé scénáře testovány a vyhodnoceny. Modely byly kalibrovány pro rozložení 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 a 500 zásilek. Doba trvání jednotlivých dílčích procesů zahrnutých do modelů byla stanovena na základě experimentálního testování a měření ve specializované laboratoři automatické identifikace. Doba trvání se předpokládá trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti s parametry a (minimální doba trvání [s]), b (průměrná doba trvání [s]), c (maximální doba trvání [s]). Přehled trvání jednotlivých dílčích procesů je uveden v tabulce 9.

Tab. 9 – Doba trvání dílčích procesů v rámci simulovaného distribučního procesu

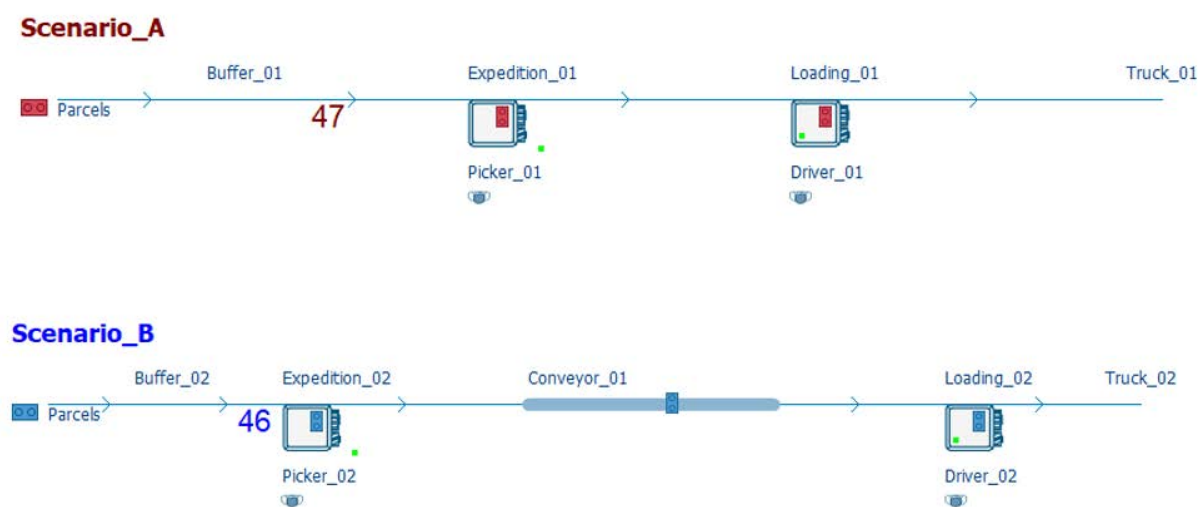
Scénář	Skladník “vychystávač zboží”			Řidič		
	a [s]	b [s]	c [s]	a [s]	b [s]	c [s]
A	30	45	60	30	40	50
B	20	30	40	25	35	45

Zdroj: [64]

Hlavním sledovaným parametrem byla celková doba trvání distribučního procesu pro oba scénáře a 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 a 500 zásilek. Oba scénáře předpokládají bezchybnou funkčnost simulovaných a testovaných technologií.

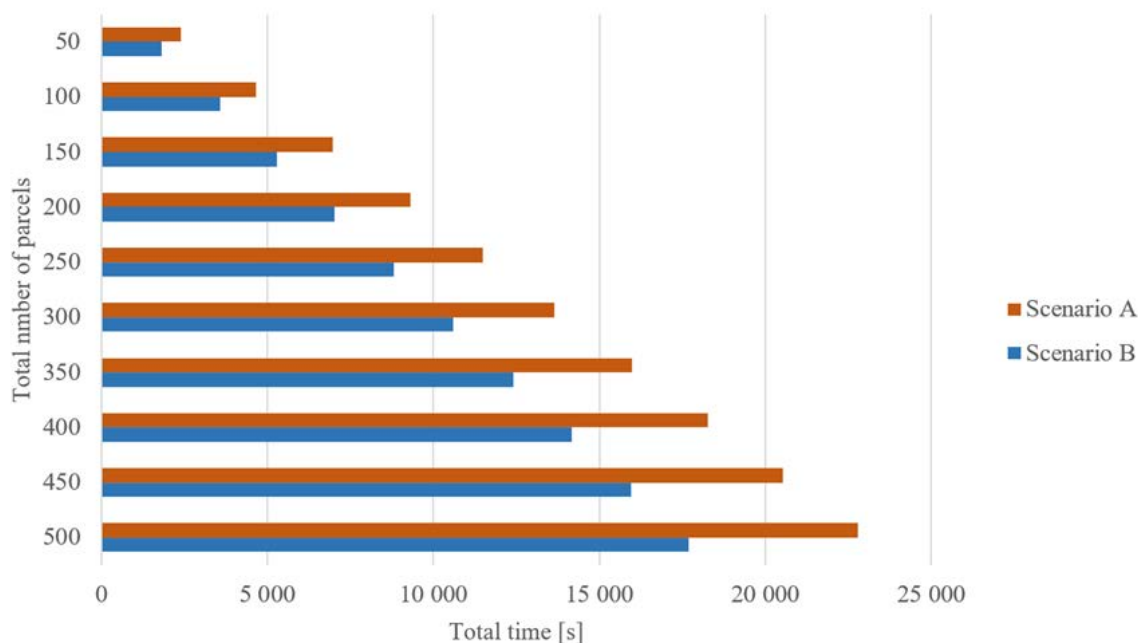
5.1.2 Výsledky a diskuse

Nejprve byly v softwaru Witness Horizon vytvořeny modely obou scénářů pro dynamickou simulaci. Příklad obou vytvořených modelů je uveden na obrázku 29. Model scénáře A je založen na využití technologie čárových kódů v procesu distribuce zásilek. Model scénáře B je založen na použití technologie RFID a pásového dopravníku v procesu distribuce balíků. Doba trvání dílčích procesů odpovídá hodnotám v tabulce 9.



Obr. 29 Vytvořené modely pro oba scénáře [64]

Modely byly následně ověřeny a validovány. Poté byly jednotlivé scénáře testovány a vyhodnoceny pro distribuci 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 a 500 zásilek z hlediska hlavního sledovaného parametru (celková doba trvání distribučního procesu). Výsledky hlavního sledovaného parametru obou scénářů pro různé počty zásilek jsou uvedeny na obrázku 30.



Obr. 30 Srovnání celkové doby trvání procesu distribuce parcel (scénář A a B) [64]

Celková doba trvání distribučního procesu pro 50 zásilek vycházela z výsledků dynamické simulace pro scénář A 2 386 s (40 minut po zaokrouhlení) a pro scénář B 1 823 s (31 minut po zaokrouhlení). Celková doba trvání procesu distribuce zásilek ve scénáři B je kratší o 9 minut, takže časová úspora činí 23,6 %. Situace je velmi podobná i pro další testované počty zásilek, například pro 300 zásilek bylo na základě výsledků dynamické simulace pro scénář A 13 652 s (3 hodiny a 48 minut po zaokrouhlení) a pro scénář B 10 604 s (2 hodiny a 57 minut po zaokrouhlení). Celková doba trvání procesu distribuce zásilek ve scénáři B je kratší o 51 minut, takže časová úspora činí 22,3 %, a pro 500 zásilek bylo na základě výsledků dynamické simulace pro scénář A 22 797 s (6 hodin a 20 minut po zaokrouhlení) a pro scénář B 17 696 s (4 hodiny a 55 minut po zaokrouhlení). Celková doba trvání procesu distribuce zásilek ve scénáři B je kratší o 1 hodinu a 25 minut, takže časová úspora činí 22,4 %. Výsledky jasně ukazují, že celková doba trvání procesu distribuce balíků ve scénáři A je výrazně delší pro všechna simulovaná množství zásilek než ve scénáři B. Z tohoto zjištění vyplývá závěr, že použití technologie RFID v procesu distribuce zkracuje dobu trvání tohoto procesu ve srovnání s použitím technologie čárových kódů. Použití technologie RFID vedlo v jednotlivých testech k úspoře času o 22,2 až 24,5 %. Tato studie obsahuje také řadu omezení. Prvním omezením je použité technické a technologické vybavení, protože na trhu existují jiné čtečky čárových kódů, jiné typy čárových kódů, tagy RFID, čtečky RFID a antény RFID. Dalším omezením může být skutečnost, že technologie

RFID nemusí fungovat bezchybně v každém prostředí. To vyžaduje další testování a ladění. Posledním omezením je skutečnost, že studie předpokládá bezchybnou funkčnost simulovaných a testovaných technologií.

5.1.3 Shrnutí

Simulace distribučního procesu je vynikajícím nástrojem pro analýzu dat, kterou mohou aplikovat zásilkoví dopravci. Cílem bylo vytvořit návrh využití technologie RFID v procesu distribuce zásilek tak, aby byl daný proces efektivnější. Byly využity metody: analýza scénářů, experimentální testování čárových kódů a technologie RFID a dynamická simulace. Závěrem lze konstatovat, že použití technologie RFID v procesu distribuce zefektivňuje dobu trvání tohoto procesu ve srovnání s použitím technologie čárových kódů. Software Witness Horizon je důležitým nástrojem pro podporu logistického plánování a optimalizaci logistických procesů, protože dynamická simulace umožňuje prakticky zefektivnit procesy před jejich zavedením do praxe.

5.2 Modelování vybraného logistického procesu v logistickém centru použitím dynamické simulace

Část 5.2 prezentuje publikační výstup [89]. Dnešní turbulentní a vysoce konkurenční tržní prostředí nutí společnosti neustále zlepšovat a zefektivňovat své procesy. Jedním z nástrojů pro řízení a plánování podnikových procesů je modelování a dynamická simulace. Umožňuje modelovat vybrané procesy a simulovat různé navrhované změny v procesech, aby bylo možné určit, zda tyto změnylepší současnou situaci. Logistická centra jsou jedním z nejdůležitějších bodů logistické infrastruktury, protože jsou obvykle zásobována pomocí různých druhů dopravy. V logistických centrech existuje mnoho logistických procesů, které je třeba neustále sledovat, analyzovat a vylepšovat. Logistický proces třídění zásilek pro další distribuci je v části 5.2 modelován a dynamicky simulován pomocí softwaru Witness Horizon Manufacturing Performance Edition. Cílem je zlepšit logistický proces třídění zásilek pomocí modelování a dynamické simulace.

V současnosti se logistika stává jedním z hlavních tvůrců přidané hodnoty pro zákazníky. Přidaná hodnota pro zákazníka představuje včasné dodání požadovaného zboží, ve správném stavu, na správné místo a za přijatelné náklady. V důsledku vyšších požadavků zákazníků, a i kvůli samotnému „boji“ o ně (tzn. získávání nových zákazníků a jejich udržení) je nutné neustálé zlepšování logistických procesů. Simulace je účinným nástrojem pro zlepšování logistických procesů. Pouhé použití analytických technik nemůže vést k úplné

analýze a optimalizaci logistického systému [55]. Simulační technika však může ukázat konkrétní stav a identifikovat překážky a zdroje nečinnosti systému, což poskytuje podrobný popis skutečných informací o procesu a produkci logistického systému [55].

Simulační nástroje se stále více stávají sklady znalostí, které flexibilně a rozsáhle řídí celý životní cyklus zařízení od plánování až po demontáž. Izolované řešení dílčích úloh naráží na své limity: složité výrobní procesy vyžadují komplexní pohled na systém a mezioborovou práci. To platí zejména pro procesní inženýrství (jednotkové operace) a logistiku (materiálové a informační toky). Kromě toho je známo, že ekonomicky úspěšný proces sám o sobě není součtem optimálně fungujících komponent. Pochopení vzájemných závislostí všech subsystémů procesu umožňuje bezproblémovou a pohodlnou výrobu. V této souvislosti je nezbytné, aby se při hodnocení a zlepšování rozvíjelo integrační propojení příslušných simulačních nástrojů, které se již úspěšně používají v dílčích oborech. Další nutností je posouzení zastřešujících strategií a okrajových podmínek.

Logistické procesy existují přímo či nepřímo v každé obchodní operaci. Složitost logistických operací roste více než kdy jindy, protože je ovlivňují změny v technologiích, globalizace podnikání, charakter pracovní síly a politické a environmentální faktory. S tím, jak se tyto logistické procesy stávají složitějšími, je obtížnější je analyzovat a upravovat tak, aby bylo dosaženo optimálních podnikových logistických operací [90]. V současné době je k dispozici mnoho nástrojů pro obchodní modelování, které pomáhají při analýze a identifikaci logistických procesů. Přestože bylo dosaženo značného pokroku v podpoře modelování dodavatelských řetězců a optimalizace logistických sítí, stále existuje potřeba integrovaného modelování logistických procesů.

Modelování procesů hraje důležitou roli v každé organizaci. Jednou z možných oblastí modelování jsou logistické procesy. Pochopení těchto procesů a jejich prezentace v podobě modelů umožňuje identifikovat možné problémy a poskytnout jejich řešení. Modelování vyžaduje osvojení si dovedností popsat studovanou realitu způsobem, který odráží její nejdůležitější charakteristiky, ale není příliš složitý. Simulace nabízí mnoho možných řešení a umožňuje iteraci dříve vytvořeného modelu [56]. To může pomoci optimalizovat všechny logistické procesy.

Logistické systémy a procesy jsou vystaveny řadě rizik, která mohou vyplývat z různých negativních scénářů. Charakteristickým rysem těchto rizik je, že často mají současně dopad jak na zboží, tak na životní prostředí. Klíčovým parametrem při posuzování spolehlivosti je výběr vhodných metod, technik a modelů s ohledem na specifické vlastnosti a charakteristiky posuzovaného logistického systému a dostupné informace a zdroje.

Modelování rizik je dynamický proces, který zahrnuje širokou škálu činností a dovedností, včetně analýzy systému nebo procesu, vývoje, testování, simulace a aplikace metod a modelů a pravidelných vylepšení a oprav. Logistické procesy se často vyznačují značnou nejistotou spojenou s jejich složitostí, spolehlivostí dostupných informací o aktuálních rizicích a dostupností různých statistických parametrů z předchozího období [53].

Distribuční logistika je posledním článkem online nakupování, jehož význam roste s rostoucí poptávkou ze strany společnosti. To, zda může být zboží dodáno spotřebitelům včas, přímo ovlivňuje spokojenost spotřebitelů s tímto nákupem [91].

Mnoho moderních nástrojů pro simulaci logistických procesů využívá simulaci diskrétních událostí. Odkazy na aplikace simulace diskrétních událostí v logistice lze nalézt v těchto publikacích [92, 93, 94 a 95]. Tento druh simulace je velmi užitečný a často jediný nástroj podporující analýzu složitých logistických systémů, včetně jejich dynamiky.

Logistický průmysl se také transformoval do fáze rychlého rozvoje. Odhaduje se, že náklady na distribuci tvoří více než 50 % celkových provozních nákladů. Tento problém je třeba urychleně řešit. Kromě toho distribuční logistika jako jeden ze tří hlavních obsahů logistiky (distribuce, skladování a řízení) zahrnuje řízení plánování, distribuční nástroje, distribuční trasy, dodací lhůty, přírodní prostředí, lidské zdroje atd. Důležitější je distribuční logistika. Proto se dnes věnuje velká pozornost optimalizaci a analýze distribuční logistiky, zkracování dodacích lhůt, zvyšování efektivity distribuce a snižování nákladů na distribuci [96]. Distribuční nástroje jsou nezbytné v celém procesu, který při nejistotě požadavků vyžaduje značné zdroje. Pro výrazné snížení logistických nákladů je toto snížení významné díky optimalizaci [91, 96]. Zahraniční vědci často diskutovali a studovali faktory ovlivňující klíčové kompetence logistických firem z různých úhlů pohledu a metody zlepšování klíčových kompetencí logistických firem v oblasti logistických procesů [97, 98, 99 a 100].

5.2.1 Metody

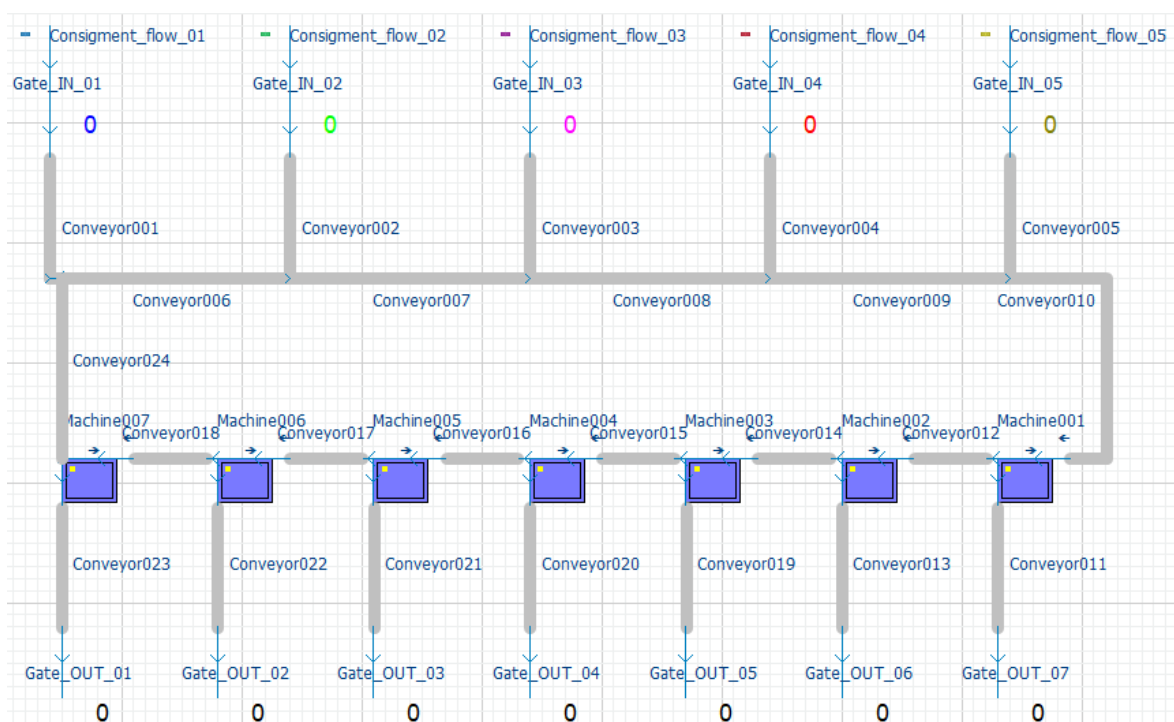
Je použita metoda dynamické simulace pomocí simulačního softwaru Witness Horizon. Dynamická simulace umožňuje virtuálně zefektivnit procesy před jejich zavedením. Důležité je, aby bylo možné procesy simulovat bez zbytečných rizik a zbytečného plýtvání penězi.

Je vytvořen layout (uspořádání) logistického centra, který je zaměřen na logistický proces třídění zásilek. Na obrázku 31 je znázorněno uspořádání logistického procesu třídění zásilek. Cílem je zlepšit logistický proces třídění zásilek pomocí modelování a dynamické

simulace. Logistické centrum využívá vysokou míru automatizace (především technologii automatické identifikace – čárové kódy a QR kódy a systém pásových dopravníků).

Simulační model se skládá z následujících základních prvků:

- zásilky,
- vstupní brány,
- systém pásových dopravníků,
- stroje (snímače čárových kódů),
- výstupní brány.



Obr. 31 Uspořádání logistického centra (simulační model) [89]

Sekunda [s] je základní časovou jednotkou modelu a rychlost dopravníku [m/s] je základním proměnným parametrem modelu. V tabulce 10 jsou uvedeny parametry simulačního modelu.

Tab. 10 – Parametry simulačního modelu

Parametry simulace	
Počet vstupních bran	5
Počet zásilek na bránu	5 000
Počet výstupních bran	7
Čas vychystání zásilky na vstupní bránu [s]	Trojúhelníkové rozdělení (8, 12, 17)
Počet najednou vychystávaných zásilek na každou bránu	1
První zásilka vychystána v čase [s]	0
Rychlost [m/s] dopravníků 001 – 005	s_1
Rychlost [m/s] dopravníků 006 – 009	s_2
Rychlost [m/s] dopravníku 10	s_3
Rychlost [m/s] dopravníků 012; 014; 015; 016; 017; 018	s_4
Rychlost [m/s] dopravníků 011; 013; 019; 020; 021; 022; 023	s_5
Rychlost [m/s] dopravníku 024	s_6
Rychlost skenování 1 zásilky čtečkou [s]	2
Četnost poruch u čteček	Rovnoměrné rozdělení (175, 360)
Doba opravy poruchy u čtečky [s]	10
Celková doba simulace [s]	28 800

Zdroj: [89]

Celková doba simulace byla 28 800 s, což je 8 hodin (jedna směna). Cílem dynamické simulace bylo najít optimální rychlost dopravníků v jednotlivých skupinách (proměnné $s_1 - s_6$), aby se během celkové doby simulace vytrídil maximální počet zásilek. Bylo provedeno několik simulací a na základě vyhodnocení statistik jednotlivých prvků modelu byly upraveny proměnné $s_1 - s_6$.

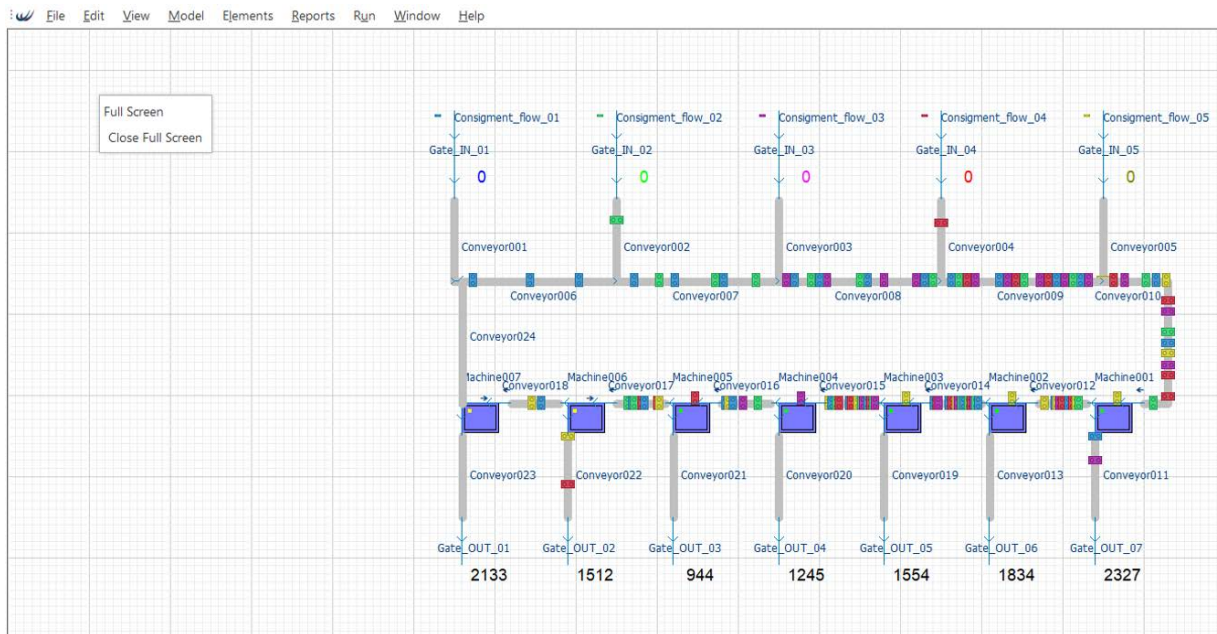
V tabulce 11 jsou uvedeny parametry vybraných jednotlivých simulací.

Tab. 11 – Parametry vybraných jednotlivých simulací

Parametry simulace	Simulace 1	Simulace 2	Simulace 3
Počet vstupních bran	5		
Počet zásilek na bránu	5 000		
Počet výstupních bran	7		
Čas vychystání zásilky na vstupní bránu [s]	Trojúhelníkové rozdělení (8, 12, 17)		
Počet najednou vychystávaných zásilek na každou bránu	1		
První zásilka vychystána v čase [s]	0		
Rychlost [m/s] dopravníků 001 – 005 s ₁	5.6	4.7	2.8
Rychlost [m/s] dopravníků 006 – 009 s ₂	2.8	2.8	3.0
Rychlost [m/s] dopravníku 10 s ₃	2.2	2.8	2.1
Rychlost [m/s] dopravníků 012; 014; 015; 016; 017; 018 s ₄	3.0	2.6	2.8
Rychlost [m/s] dopravníků 011; 013; 019; 020; 021; 022; 023 s ₅	6.9	4.2	3.0
Rychlost [m/s] dopravníku 024 s ₆	3.0	2.8	2.8
Rychlost skenování 1 zásilky čtečkou [s]	2		
Četnost poruch u čteček	Rovnoměrné rozdělení (175, 360)		
Doba opravy poruchy u čtečky [s]	10		
Celková doba simulace [s]	28 800		
Celkem vytríděno zásilek [ks]	10 859	11 660	9 432

Zdroj: [89]

Software Witness Horizon umožňuje 2D vizualizaci dynamické simulace modelu (viz obrázek 32), a tak je možné identifikovat úzká místa a následně zlepšit logistický proces třídění zásilek.



Obr. 32 Ukázka simulace v softwarovém rozhraní Witness Horizon [89]

5.2.2 Výsledky a diskuse

Jednotlivé simulace byly vyhodnoceny podle statistik dopravníků (viz obrázek 33).

Činnost dopravníků během celkové doby simulace lze rozdělit do tří částí:

- % Prázdný (Empty) - dopravník se pohybuje bez zásilek,
- % Pohyb (Move) - dopravník se pohybuje se zásilkami,
- % Blokováno (Blocked) - dopravník je dočasně zablokován.

Dále byly výsledky simulace hodnoceny podle maximálního počtu vyříděných zásilek během celkové doby simulace.

Witness

Conveyor Statistics Report by On Shift Time

Name	% Empty	% Move	% Blocked
Conveyor024	85.58	13.99	0.43
Conveyor001	54.34	38.85	6.81
Conveyor002	52.07	38.94	8.99
Conveyor003	48.18	38.89	12.92
Conveyor004	43.03	38.65	18.32
Conveyor005	45.34	38.59	16.07
Conveyor006	0.02	93.01	6.97
Conveyor007	0.02	87.42	12.57
Conveyor008	0.02	81.13	18.85
Conveyor009	0.02	76.64	23.34
Conveyor010	0.02	79.58	20.40
Conveyor011	42.01	57.99	0.00
Conveyor012	0.13	96.67	3.19
Conveyor013	50.90	49.10	0.00
Conveyor014	0.28	97.70	2.02
Conveyor015	0.42	98.20	1.38
Conveyor016	0.63	98.60	0.76
Conveyor017	1.26	98.15	0.59
Conveyor018	5.08	94.68	0.24
Conveyor019	56.73	43.27	0.00
Conveyor020	63.82	36.18	0.00
Conveyor021	71.26	28.74	0.00
Conveyor022	58.02	41.98	0.00
Conveyor023	46.12	53.88	0.00

Obr. 33 Statistiky dopravníků – simulace 2 [89]

Nejlepších výsledků bylo dosaženo při simulaci 2 (viz tabulka 11). Za celkovou dobu simulace (8 hodin) bylo vytříděno 11 660 zásilek. Tato simulace také vykázala nejlepší výsledky z hlediska statistik dopravníků (žádná hodnota % zablokovaných nebyla extrémně vysoká).

5.2.3 Shrnutí

Simulace logistického procesu třídění zásilek je vynikajícím nástrojem pro analýzu dat, kterou mohou využít logistické společnosti. Prostřednictvím dynamické simulace je možné sledovat všechny oblasti ve společnosti, která třídí zásilky a následně je distribuuje. Cílem bylo zlepšit logistický proces třídění zásilek pomocí modelování a dynamické simulace. Bylo provedeno několik simulací, které byly vyhodnoceny a vzájemně porovnány. Pomocí modelování a dynamické simulace byly nalezeny optimální rychlosti dopravníků v jednotlivých skupinách (proměnné $s_1 - s_6$), jak zobrazuje tabulka 11.

6 PŘÍNOSY HABILITAČNÍ PRÁCE

Habilitační práce se zabývá problematikou uplatnění technologie RFID v logistických procesech a jejich dynamickou simulací.

Hlavní přínosy habilitační práce jsou:

- zpracování analýzy současného stavu v oblasti AIDC,
- realizování experimentálních měření v souvislosti s technologií RFID (ale i 1D a 2D kódů) a následné jejich vyhodnocení,
- provedení sad měření a experimentů v laboratoři automatické identifikace, kterými bylo zjištěno a ověřeno správné nastavení parametrů RFID soustavy pro efektivní detekování sledovaných objektů (poštovní přepravní klece, poštovní přepravní jednotky a zásilek) v rámci logistických procesů,
- pomocí využití metody dynamické simulace vybraných logistických procesů, bylo docíleno zrychlení procesu distribuce zásilek pomocí technologie RFID a dále zvýšena třídící kapacita zásilek v logistickém centru. Experimentálně byly ověřeny a upraveny parametry (rychlosti dopravníků v jednotlivých skupinách) tak, že byla dosažena maximální třídící kapacita zásilek,
- získaná přesná, aktuální a kompletní data právě pomocí AIDC (zvolením správného typu technologie AIDC a správným nastavením všech zařízení) umožní poskytovatelům logistických služeb efektivnější a přesnější řízení logistických procesů napříč celým logistickým řetězcem, což má i pozitivní dopad na snižování logistických nákladů,
- využití v pedagogickém procesu na Dopravní fakultě Jana Pernera, Univerzity Pardubice.

ZÁVĚR

Habilitační práce se věnuje problematice automatické identifikace zejména pomocí technologie RFID, ale i 1D a 2D kódů a dynamické simulaci vybraných logistických procesů (distribuce a třídění zásilek). V současné době stále nabývá většího významu, aby poskytovatelé logistických služeb disponovali přesnými, aktuálními a kompletními daty o logistických procesech. Získaná data právě pomocí AIDC jim umožní efektivnější a přesnější řízení procesů napříč celým logistickým řetězcem, což má i pozitivní dopad na snižování logistických nákladů. Pro zpracovávání a vyhodnocování velkého množství dat se otvírá prostor pro aplikaci umělé inteligence (AI) v logistice. V kontextu využití technologie RFID v rámci lokalizačních systémů v reálném čase (RTLS), což už má úzkou spojitost s Internetem věcí (IoT), lze sbírat data o aktuální poloze manipulační techniky, o teplotě a vlhkosti monitorovaných prostorů, apod. To vše nám pomáhá zajišťovat tzv. „visibility supply chain“, přeloženo jako přehlednost dodavatelského řetězce.

Práce se v části 4 zabývá implementací technologie RFID v logistických procesech s cílem zajistit efektivní detekci poštovních přepravek případně poštovní klece a zásilek v závislosti na vhodně použitém RFID tagu a jeho poloze. Dalším důležitým aspektem je správné nastavení stacionární RFID měřicí soustavy, kterou tvoří RFID antény a RFID čtečka.

Technické parametry jednotlivých RFID zařízení se neustále zlepšují (např. mobilní RFID čtečky dosahují delší čtecí vzdálenosti) a dalším důležitým faktorem jsou postupně klesající ceny zařízení, které se stávají dostupnější pro firmy pro jejich implementaci. Snahou je nalézt vhodnou kombinaci RFID zařízení s minimální pořizovacími a provozními náklady.

Právě metoda dynamické simulace vybraných logistických procesů (je obsahem části 5 této práce) je významný nástroj pro podporu rozhodování v logistice, jelikož umožňuje vyhodnotit přínos technologie RFID před samotnou její implementací. Za pomoci dynamické simulace a experimentálního testování se podařilo zlepšit proces distribuce a třídění zásilek v logistickém centru.

Získané poznatky z uvedené problematiky v habilitační práci autor implementuje i v rámci svojí pedagogické činnosti, a to při výuce předmětů Logistika I, Logistika II a Logistics (určen pro Erasmus studenty) a také při vedení závěrečných (bakalářských, diplomových a disertačních) prací. Nedílnou součástí je i popularizace vědy a šíření znalostí při příležitostech, které se konají na Dopravní fakultě Jana Pernera (Kurzy pro učitele středních škol, Průjezd Dopravkou, Den otevřených dveří, Noc vědců, apod.).

Autor se bude v budoucnu zabývat technologií RFID ve vazbě na IoT. Na základě získaných dat z aplikování IoT (např. RFID tagy vybavené sensory) bude moci vytvářet digitální dvojče logistických procesů a následně je tak i zefektivňovat.

SEZNAM LITERATURY

- [1] TVRDOŇ, L. Co je logistický řetězec. *Doprava Logistika* [online]. [cit 2023-10-22]. Dostupné z: <https://www.dlprofi.cz/33/co-je-logisticky-retezec-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EoSf6RcLfOnlUqXAGeHTW4k/?query=logistick%FD%20%F8et%ECzec&serp=1>
- [2] HRUŠKA, R. Logistické trendy v dodavatelských řetězcích. *Perner's Contacts*, 2018, roč. 13, č. 1, s. 39-44.
- [3] HARDGRAVE, B.C.; ALOYSIUS, J.; GOYAL, S. Does RFID improve inventory accuracy? A preliminary analysis. *Int. J. RF Technol. Res. Appl.* 2009, 1, 44–56.
- [4] MADLEŇÁK et al. (2013) 'Global postal network - a trade facilitator for the small and medium enterprises for entering the global market', *International Journal of Arts and Commerce*, 2 (5) [online], https://www.ijac.org.uk/images/frontImages/gallery/Vol._2_No._5/12.pdf.
- [5] HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L., JURÁNKOVÁ, P. Challenges for automatic identification systems in the supply chain. *International Journal of Learning and Change*, 2019, roč. 11, č. 3, s. 252-267.
- [6] JEŽEK, V. *Systémy automatické identifikace*. Grada publishing, Praha. 1996. ISBN: 80-7169-282-4
- [7] CHOCHOLÁČ, J., JURÁNKOVÁ, P., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L. Simulace reálného poštovního provozu s využitím RFID technologie. *Perner's Contacts*, 2015, roč. 40, č. 3, s. 32-43.
- [8] LUKŠŮ, V. *Logistika 1*. Vysoká škola ekonomická, Fakulta managementu, Praha. 2001. ISBN 80-245-0166-X.
- [9] KOLAROVSKI, P., VACULÍK, J. 2014. INTELLIGENT STORAGE SYSTEMBASED ON AUTOMATIC IDENTIFICATION. *Transport and Telecommunication*, volume 15, no. 3, 185–195. DOI 10.2478/tj-2014-0016
- [10] BENADIKOVÁ, A. et al. (1994) Čárové kódy - automatická identifikace. Grada publishing, Praha.
- [11] MADLEŇÁKOVÁ, L. a MADLEŇÁK, R. (2012) 'Analýza účelnosti a efektívnosti implementácie vybraných technológií automatickej identifikácie tovarov', in DoNT 2012: Proceedings of Day of New Technologies, Žilina, Slovakia, pp. 82-94.
- [12] TechTarget, Biometrics. [online]. [cit 2024-03-04] Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/biometrics>
- [13] TVRDOŇ, L. Systémy automatické identifikace. *Doprava Logistika* [online]. [cit 2024-02-14]. Dostupné z: https://www.dlprofi.cz/33/systemy-automaticke-identifikace-sai-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EkKpRnC__SJU-EzS1yVCetw/
- [14] ESP, Jak fungují RFID čtečky. [online]. [cit 2024-02-15] Dostupné z: <https://esp.cz/cs/blog/funguji-rfid-ctecky>
- [15] GS1 Czech Republic, *RFID a globální standard EPC*. [online]. [cit 2024-02-15] Dostupné z: https://www.gs1cz.org/wp-content/uploads/2024/02/publikace_EPC_RFID.pdf

- [16] PODDUTURI, P.R.; MACO, T.; AHMADI, P.; ISLAM, K. RFID Implementation in Supply Chain Management. *Int. J. Interdiscip. Telecommun. Netw. (IJITN)* **2020**, *2*, 34–45.
- [17] MENANNO M, SAVINO M.M, ACCORSI R. Digitalization of Fresh Chestnut Fruit Supply Chain through RFID: Evidence, Benefits and Managerial Implications. *Applied Sciences*. 2023; 13(8):5086. <https://doi.org/10.3390/app13085086>
- [18] HARRISON, A. and HOEK R. *Logistics management and strategy*. 2nd ed., Pearson Education, Harlow. 2005. ISBN 0-273-68542-2.
- [19] BOWERSOX, D. et al. *Supply chain logistics management: international edition*. 4th ed., McGraw-Hill, New York. 2013. ISBN 978-0-07-132621-6.
- [20] WATERS, D. (Ed.). *Global logistics: new directions in supply chain management*. 6th ed., Kogan Page, London. 2010. ISBN 978-0-7494-5703-7.
- [21] MANGAN, J. and LALWANI, Ch. *Global logistics and supply chain management*. Third edition, Wiley, Chichester. 2016. ISBN 978-1-119-11782-7.
- [22] COYLE, J. et al. *Transportation: a global supply chain perspective*. Eighth edition, Cengage Learning, Boston. 2016. ISBN 978-1-133-59296-9.
- [23] EPRIN, Systém pro lokalizaci v reálném čase. [online]. [cit 2024-02-15] Dostupné z: <https://www.eprin.cz/rtls.html>
- [24] ESP, RTLS koncept Digital Twin. [online]. [cit 2024-02-15] Dostupné z: <https://esp.cz/cs/reseni/vyroba/rtls-digital-twin>
- [25] HRUŠKA, R. Detekování poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou. *Perner's Contacts*, 2016, roč. 11, č. 3, s. 60-66.D
- [26] CHOCHOLÁČ, J., HRUŠKA, R., KUČERA, T., MACHALÍK, S., HYRŠLOVÁ, J. Automatic identification technologies within distribution logistics from the perspective of efficiency of the identification process. *International Days of Statistics and Economics : conference proceedings*. Slaný : Melandrium, 2019, s. 524-533. ISBN 978-80-87990-18-6.
- [27] ONSTEIN, A., TAVASSZY, L. A., & van DAMME, D. A. (2019). Factors Determining Distribution Structure Decisions in Logistics: A Literature Review and Research Agenda. *Transport Reviews*, 39(2), 243-260. doi: 10.1080/01441647.2018.1459929
- [28] WANG, J. X. (2019). Research on the Optimization of Path Information in the Process of Logistics Distribution by Improved Ant Colony Algorithm. *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 41, 343-352.
- [29] GS1. (2019). *EAN-13* [online]. [accessed 2019-03-22]. Available from: <https://www.gs1.cz.org/standardy-gs1/sber-dat/linearni-carove-kody/ean-13>
- [30] GABEN. (2019). *Čárové kódy* [online]. [accessed 2019-03-28]. Available from: <http://www.gaben.cz/cz/faq/carove-kody-teorie#pdf417>
- [31] SUNDBERG, P., HERMANSSON, S., TULLIN, C., & OHMAN, M. (2018). Traceability of Bulk Biomass: Application of Radio Frequency Identification Technology on a Bulk Pellet Flow. *Biomass & Bioenergy*, 118, 149-153. doi: 10.1016/j.biombioe.2018.08.018
- [32] KONG, S., ZHAO., J., SHI, G., WU, Ch., ZHAO, W., & LIU, T. (2015). The Design and Implementation of the Attendance Management System based on Radio Frequency

Identification Technology. *Proceedings of the 2015 International Conference on Electronic Science and Automation Control*, 20, 189-192.

- [33] HUANG, Ch., & LV, Y. (2018). An Internet of Things System Based on Device-to-Device Communication Technology and Radio-Frequency Identification. *International Journal of Online Engineering*, 14(10), 210-218. doi: 10.3991/ijoe.v14i10.9302
- [34] YONG, W., QING, L., LEI, W., & HAO, S. (2017). Research on Anti-collision Algorithm in Radio Frequency Identification Technology. *9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 239-244. doi: 10.1109/IHMISC.2017.167
- [35] HARDGRAVE, W., ALOYSIUS, J., & GOYAL, S. (2013). RFID-enabled Visibility and Retail Inventory Record Inaccuracy: Experiments in the Field. *Production and Operations Management*, 22(4), 843-856. doi: 10.1111/poms.12010
- [36] WANG, T., HU, B., CHANG, S., & DING, L. (2018). Inventory Inaccuracies and Radio Frequency Identification Technology: Risk Analysis and Coordination. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 9-22. doi: 10.1016/j.cie.2018.08.003
- [37] WILLIAMS, L., FOX, D. R., BISHOP-HURLEY, G., & SWAIN, D. L. (2019). Intertidal Boulder Transport: A Proposed Methodology Adopting Radio Frequency Identification (RFID) Technology to Quantify Storm Induced Boulder Mobility. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 193-202. doi: 10.1016/j.compag.2018.11.025
- [38] LIÉBAULT, F., BELLOT, H., CHAPUIS, M., KLOTZ, S., & DESCHÂTRES, M. (2012). Bedload Tracing in a High Sediment Load Mountain Stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(4), 385-399. doi: 10.1002/esp.2245
- [39] BRADLEY, D. N., & TUCKER, G. E. (2012). Measuring Gravel Transport and Dispersion in a Mountain River Using Passive Radio Tracers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(10), 1034-1045. doi: 10.1002/esp.3223
- [40] ALIEN Technology. (2019). *Alien Technology Higgs ALN-9654-G* [online]. [accessed 2019-03-24]. Available from: <http://www.alientechnology.com/wp-content/uploads/Alien-Technology-Higgs-3-ALN-9654-G.pdf>
- [41] CHOCHOLÁČ, J., HRUŠKA, R., SOMMERAUEROVÁ, D. Effectiveness of automatic identification technologies in shipment consolidation. CLC 2022 - Carpathian Logistics Congress : Conference Proceedings. Ostrava : TANGER, spol. s r.o., 2022, s. 53-58. ISBN 978-80-88365-08-2. ISSN 2694-9318.
- [42] KUČERA, T., SUK, A. The application of ABC analysis in the logistic warehousing processes. In: *Transport Means: proceedings of the international scientific conference*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2019, pp. 548-554.
- [43] GROS, I. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016.
- [44] YANG, B., TONG, Y. Evolution dynamics modeling and simulation of logistics enterprise's core competence based on service innovation. In: *5th International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation (CDMMS)*. Busan: Amer Inst Physics, 2017.
- [45] ZHANG, X., ZHANG, Y., WANG, Y. Study on logistics distribution simulation based on system dynamics. In: *2nd International Conference on E-Business and Information System Security (EBISS)*. Wuhan: IEEE, 2010.

- [46] GS1. *EAN-13*. [online]. 2019. [cit. 2022-05-02]. Available from: <https://www.gs1cz.org/standardy-gs1/sber-dat/linearni-carove-kody/ean-13>
- [47] KUČERA, T. Calculation of personnel logistics costs of warehousing. In: *Transport Means: proceedings of the international scientific conference*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2020, pp. 44-48.
- [48] MOSCA, R., BRUZZONE, A., ORSONI, A. Integrated resource scheduling and simulation for dynamic logistic management. In: *17th European Simulation Multiconference*. Nottingham: SCS Europe, 2003, pp. 491-495.
- [49] LIAO, H., QIN, R., WU, D., YAZDANI, M., ZAVADSKAS, E. K. Pythagorean Fuzzy Combined Compromise Solution Method Integrating the Cumulative Prospect Theory and Combined Weights for Cold Chain Logistics Distribution Center Selection. *International Journal of Intelligent Systems*. 2020, vol. 35, pp. 2009-2031.
- [50] CEMPÍREK, V., NACHTIGALL, P., ŠIROKÝ, J. Security in Logistics. *Open Engineering*. 2016, vol. 6, pp. 637-641.
- [51] SUN, H.J., GAO, Z.Y. Competitive Location Model of Logistics Distribution Center. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2002, vol. 2, pp. 54-57.
- [52] ADAMCZAK, M., DOMANSKI, R., CYPLIK, P., SZYMANSKA, O. Delivering skills of simulation of logistic processes. *Acta Technica Napocensis Series – Applied Mathematics Mechanics and Engineering*. 2018, vol. 61, pp. 415-422.
- [53] GAJOVIC, V., KERKEZ, M., KOCOVIĆ, J. Modeling and simulation of logistic processes: risk assessment with a fuzzy logic technique. *Simulation-Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*. 2018, vol. 94, pp. 507-518.
- [54] KARKULA, M., BUKOWSKI, L. Computational methods-joint use in discrete event model of logistics processes. In: *Winter Simulation Conference Proceedings*. Berlin: IEEE, 2012.
- [55] KORNER, H.J., SCHWARZE-BENNING, K., DEERBERG, G. Simulation-based system for integration of logistic and process engineering decision processes. *Chemie Ingenieur Technik*. 2004, vol. 76, pp. 1476-1480.
- [56] BANAS, J. Modeling and simulation of processes in logistics. Knowledge, practical skills and expectations in teaching of students. In: *INTED 2017: 11th international technology, education and development conference*. Valencia: IATED-INT, 2017, pp. 6753-6762.
- [57] REGGELIN, T., TOLUJEW, J. A mesoscopic approach to modeling and simulation of logistics processes. In: *Proceedings of the 2011 winter simulation conference*. Phoenix: IEEE, 2011, pp. 1508-1518.
- [58] OLSSON, B., BODON, P., GLASSOCK, C., ELIAS, M. Use of dynamic simulation as an optimisation and risk management tool in process and logistics operations. In: *Mining risk management conference*. Sydney: Australasian Inst Mining & Metallurgy, 2003, pp. 277-282.
- [59] GS1. *GS1-128*. [online]. 2020. [viewed: 2022-05-17]. Available from: <https://www.gs1cz.org/standardy-gs1/sber-dat/linearni-carove-kody/gs1-128>
- [60] GS1. *GS1 QR Code*. [online]. 2020. [viewed: 2022-05-18]. Available from: <https://www.gs1cz.org/standardy-gs1/sber-dat/2d-kody/gs1-qr-code>

- [61] TVRDOŇ, L., FEDORKO, G. Usage of dynamic simulation in pressing shop production system design. *International Journal of Simulation Modelling*. 2020, vol. 19, pp. 185-196.
- [62] ZAHRAEE, S.M., ROHANI, J.M., FIROUZI, A., SHAHPANAH, A. Efficiency improvement of blood supply chain system using taguchi method and dynamic simulation. *Procedia Manufacturing*. 2015, vol. 2, pp. 1-5.
- [63] SCHINDLEROVÁ, V., ŠAJDLEROVÁ, I. Use of the Dynamic Simulation to Reduce Handling Complexity in the Manufacturing Process. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2020, vol. 14, pp. 81-88.
- [64] HRUŠKA, R., CHOCHOLÁČ, J., KUČERA, T. Use of RFID Technology in the Logistic Process of Distribution with the Support of a Dynamic Simulation Software Tool. *Transport Means : proceedings of the international scientific conference*. Kaunas : Kaunas University of Technology, 2021, s. 449-454. ISSN 1822-296X.
- [65] NANDY, A.; BASAK, S. 2017. Viral Epidemics and Vaccine Preparedness, *Journal of Molecular Pathological Epidemiology* 2(1): 1-5.
- [66] BREITBARTH, E.; GROSS, W.; ZIENAU, A. 2021. Protecting Vulnerable People during Pandemics through Home Delivery of Essential Supplies: A Distribution Logistics Model, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 1-21.
- [67] EKICI, A.; KESKINOCAK, P.; SWANN, J. L. 2013. Modeling Influenza Pandemic and Planning Food Distribution, *Manufacturing and Service Operations Management* 16(1): 11-27.
- [68] HAUG, A.; BRAND-MILLER, J.; CHRISTOPHERSEN, O.; MCARTHUR, J.; FAYET-MOORE, F.; TRUSWELL, A. 2007. A Food Lifeboat: Food and Nutrition Considerations in the Event of a Pandemic or Other Catastrophe, *The Medical Journal of Australia* 187: 674-6.
- [69] DALTON, C. B. 2006. Business Continuity Management and Pandemic Influenza, *New South Wales Public Health Bulletin* 17(10): 138-141.
- [70] BALCIK, B.; BEAMON, B.; SMILOWITZ, K. 2008. Last Mile Distribution in Humanitarian Relief, *Journal of Intelligent Transportation Systems* 12(2): 51-63.
- [71] MAGHFIROH, M. F. N.; HANAOKA, S. 2018. Dynamic Truck and Trailer Routing Problem for Last Mile Distribution in Disaster Response, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 8(2): 252-278.
- [72] KONSTANTAKOPOULOS, G. D.; GAYIALIS, S. P.; KECHAGIAS, E. P. 2020. Vehicle Routing Problem and Related Algorithms for Logistics Distribution: A Literature Review and Classification, *Operational Research*
- [73] CHEN, Y. F. 2012. To Build a Customer to Participate in the Bridge to Drive the Logistics Service Innovation, *Logistics Technology* 34(8)
- [74] DU, J. 2012. Analysis on the Driving Force of Logistics Service Innovation and its Influencing Factors, *Economic Research Guide* 30(20).
- [75] YANG, B.; TONG, Y. 2017. Evolution Dynamics Modeling and Simulation of Logistics Enterprise's Core Competence Based on Service Innovation, *5th International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation* 1834: 1-11

- [76] HE, L.; DING, H. P. 2009. Research on the Formation and Evolution Mechanism of Enterprise Capability based on Value Creation: A Case Study of Express Logistics Enterprises, *Business Management* 24(5).
- [77] WANG, W.; YIN, H.; TANG, Y.; XU. 1993. A Methodology for Validation of System and Sub-system Level Models, Department of System Engineering and Mathematics, National University of Defence Technology.
- [78] HOPFE, C.J.; AUGENBROE, G.L.M.; HENSEN, J.L.M. 2013. Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment, *Building and Environment* 69: 81-90.
- [79] STRUCK, C.; HENSEN, J.L.M. 2013. Scenario analysis for the robustness assessment of building design alternatives – a dutch case study, *Cleantech for smart cities & buildings from nana to urban scale*: 939-944
- [80] KIM, S.H. 2013. An evaluation of robust controls for passive building thermal mass and mechanical thermal energy storage under uncertainty, *Applied Energy* 111: 602-623
- [81] POLASKY, S.; CARPENTER, S.R.; FOLKE, C.; KEELER, B. 2011. Decision-making under great un-certainty: Environmental management in an era of global change, *Trends in Ecology & Evolution* 26: 398-404.
- [82] SCHINDLEROVA, V.; SAJDLEROVA, I. 2020. Use of the Dynamic Simulation to Reduce Handling Complexity in the Manufacturing Process, *Advances in Science and Technology Research Journal*: 14(1), 81-88
- [83] ASHAYERI, J.; LEMMES, L. 2006. Economic value added of supply chain demand planning: A system dynamics simulation, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 22(5-6): 550-556.
- [84] HATAMI, M.; ZAHRAEE, S.M.; KHADEMI, A.; SHAHPANAH, A.; ROHANI, J.M. 2014. Evaluating the effect of main factors in manufacturing production line based on simulation experiment, *Applied Mechanics and Materials* 606: 199-203.
- [85] FIRDAUSIYAH, N.; TANIGUCHI, E.; QURESHI, A.G. 2019. Modeling city logistics using adaptive dynamic programming based multi-agent simulation, *Transportation Research Part E* 125: 74-96.
- [86] TVRDOŇ, L.; FEDORKO, G. 2020. Usage of dynamic simulation in pressing shop production system design, *International Journal of Simulation Modelling* 19(2): 185-196.
- [87] GOLROUDBARY, S.R.; ZAHRAEE, S.M. 2015. System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain, *Simulation modelling practice and theory* 53: 88-102.
- [88] TISCHER, E.; NACHTIGALL, P.; SIROKY, J. 2020. The use of simulation modelling for determining the capacity of railway lines in the Czech conditions, *Open Engineering* 10(1): 224-231.
- [89] HRUŠKA, R., KUČERA, T., CHOCHOLÁČ, J. Modelling of Selected Logistic Process in Logistic Centre Using Dynamic Simulation. *Transport Means 2020 : proceedings of the 24th International Scientific Conference*. Kaunas : Kaunas University of Technology, 2020, s. 85-90. ISSN 1822-296X.

- [90] INGRAHAM, L. R.; SOLOMON, C.; LOWE, B. 2005. Analysis and improvement of enterprise logistics processes using simulation-based methodologies. *AUTOTESTCON 2005 Conference*, 690-697. New York, USA: IEEE.
- [91] XU, X.; LI, Y.; TANG, R. 2019. Simulation optimization of discrete logistics processes: a case study on logistics of an e-commerce enterprise in Shanghai. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- [92] CHUNG, C. A. 2004. *Simulation modeling handbook. A practical approach*. New York, USA: CRC Press LCC.
- [93] ROBINSON, S. 2004. *Simulation: The practice of model development and use*. New York: John Wiley & Sons.
- [94] SEMINI, M.; FAUSKE, H.; STRANDHAGEN, J. O. 2006. Applications of discrete-event simulation to support manufacturing logistics decision-making: a survey. In *Proceedings of the 38th conference on winter simulation WSC '06*. Monterey, California.
- [95] BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. 2010. *Discrete-event system simulation* (5th international edition). New Jersey, USA: Prentice-Hall.
- [96] ZHEN, L. 2015. Tactical berth allocation under uncertainty. *European Journal of Operational Research* 247(3): 928-944D.
- [97] CHAPMAN, R. L.; SOOSAY, C.; KANDAMPULLY, J. 2003. Innovation in logistic services and the new business model. *Inter. j. of phys. dis. & log. man.* 33: 630-650.
- [98] JAVIDAN, M. 1998. Core competence: What does it mean in practice? *L. ran. plan.* 8: 21-32.
- [99] DU, H.; TANG, C. 2011. Research on logistics enterprise innovation based on core competitiveness. *J. of tech. econ. & man.* 7: 49-52.
- [100] YANG, B.; XIE, L. 2019. Dynamics model and simulation of core competence of maritime logistics enterprises for service innovation. *J. of coas. res.* 94: 891-896
- [101] DECATHLON, Decathlon RFID. [online]. [cit 2024-01-02] Dostupné z: <https://www.decathlon-united.media/media/decathlon-united-rfid-en>
- [102] SOUZA et al. 2024. Radiofrequency identification tracking system (RFID) significantly improves blood bank inventory management and decreases staff work effort. *Transfusion.* 64 (4). 578-584.
- [103] SONG, C.; WU, Z. 2024. Artificial Intelligence-Assisted RFID Tag-Integrated Multi-Sensor for Quality Assessment and Sensing. *Sensors.* 24, 1813. <https://doi.org/10.3390/s24061813>
- [104] XIE et al. 2022. A Portable RFID Localization Approach for Mobile Robots. *IEEE Internet of Things Journal.* 2022. 9 (23). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3202136>

SEZNAM TABULEK

strana

Tab. 1 – Přehled vědeckých článků týkajících se výzkumu na základě RFID klasifikované podle výzkumného cíle.....	22
Tab. 2 – Komparace parametrů tagů využitých pro potřeby měření.....	29
Tab. 3 – Počet načtení tagů dle jejich typu a varianty měření.....	33
Tab. 4 – Podíl počtu načtení tagů dle antén a varianty měření [%].....	35
Tab. 5 – Nejvíce načítané tagy dle jejich typu a varianty měření.....	36
Tab. 6 – Nejméně načítané tagy dle jejich typu a varianty měření.....	36
Tab. 7 – Nejméně načítané tagy dle jejich typu a varianty měření.....	55
Tab. 8 – Doba trvání procesu konsolidace podle technologie a počtu zásilek.....	56
Tab. 9 – Doba trvání dílčích procesů v rámci simulovaného distribučního procesu.....	62
Tab. 10 – Parametry simulačního modelu.....	68
Tab. 11 – Parametry vybraných jednotlivých simulací.....	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

strana

Obr. 1 Zjednodušený dodavatelský řetězec	15
Obr. 2 Obecné schéma prvků technologie AIDC	17
Obr. 3 Typy technologie AIDC	18
Obr. 4 Jak fungují RFID čtečky	20
Obr. 5 Frekvenční pásma RFID.....	21
Obr. 6 Předpoklady pro dosažení synergického efektu	23
Obr. 7 Úrovně integrace technologie AIDC v dodavatelském řetězci	23
Obr. 8 systém RTLS	24
Obr. 9 Grafické zobrazení RTLS	25
Obr. 10 Digitální dvojče	25
Obr. 11 RFID měřící soustava	28
Obr. 12 Rozmístění poštovních přepravků v poštovní kleci	30
Obr. 13 Celk. počet načtení jednotlivých druhů použitých tagů dle varianty měření	33
Obr. 14 Použité RFID vybavení	39
Obr. 15 RFID Tag MET96	39
Obr. 16 RFID Tag HA-VISFT 89	40
Obr. 17 Umístění RFID tagu na dveřích klece	41
Obr. 18 Umístění RFID tagu na vrch klece	42
Obr. 19 Průměrný počet načtení tagů u druhé varianty měření	43
Obr. 20 Použitý kód EAN-13, QR kód a RFID UHF tag ALN-9654 "G" Inlay při experimentálních měřeních	46
Obr. 21 Software SessionOne (experimentální měření č. 52)	48
Obr. 22 Průměrná doba načtení zásilky pro vybrané technologie automatické identifikace [s]	49
Obr. 23 Manipulační jednotka - paleta se zásilkami	53
Obr. 24 P Mobilní čtečka (1D a 2D kódů) CIPHERLAB CP30 (vlevo) a mobilní čtečka RFID ZEBRA MC3390R (vpravo)	54
Obr. 25 Kód GS1-128 (vlevo), kód GS1 QR (uprostřed), vybrané tagy UHF RFID (vpravo)	54
Obr. 26 Dílčí procesy v rámci dvou různých typů experimentálních měření (technologie čárového kódu a QR kódu - horní proces, technologie RFID - dolní proces).....	55
Obr. 27 Vizualizace procesu konsolidace v softwaru Witness Horizon (verze 22.5b)	56
Obr. 28 Vizualizace experimentálního testování technologie RFID	61
Obr. 29 Vytvořené modely pro oba scénáře	62
Obr. 30 Srovnání celkové doby trvání procesu distribuce parcel (scénář A a B)	63
Obr. 31 Uspořádání logistického centra (simulační model)	67
Obr. 32 Ukázka simulace v softwarovém rozhraní Witness Horizon	70
Obr. 33 Statistiky dopravníků – simulace 2	71

SEZNAM VLASTNÍCH PUBLIKACÍ K TÉMATU

HABILITAČNÍ PRÁCE

- 1) HRUŠKA, R. Informační technologie a logistika. *4th International Scientific Conference Challenges in Transport and Communication*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2006, s. 37-39. ISBN 80-7194-880-2.
- 2) PRŮŠA, Petr; HRUŠKA, Roman. RFID technology. *Railway transport and logistics*, 2007, volume III., s. 44-47. ISSN 1336-7943.
- 3) PRŮŠA, Petr; HRUŠKA, Roman; SAVAGE, Christopher. Podnikový informační systém. In Sborník příspěvků mezinárodní virtuální konference "*Aktuální problémy v dopravě 2007*", Pardubice, 2007, s. 103-107. ISBN 80-86530-38-8.
- 4) HRUŠKA, Roman. Materiálový a informační tok v logistice. In Sborník příspěvků mezinárodní virtuální konference "*Aktuální problémy v dopravě 2007*", Pardubice, 2007, s. 36-39. ISBN 80-86530-38-8.
- 5) HRUŠKA, R. Logistic Centre - 21st Century. *Sborník příspěvků konference Logistická centra*. Brno : Tribun EU, 2008, s. 209-213. ISBN 978-80-7399-603-1.
- 6) HRUŠKA, R., PRŮŠA, P. Moderní informační technologie využívané ve veřejných logistických centrech. *Sborník příspěvků konference Logistická centra*. Brno : Tribun EU, 2008, s. 38-42. ISBN 978-80-7399-603-1.
- 7) PRŮŠA, P., HRUŠKA, R., FRANSSILA, T. Logistic Centre and Information Technology. *Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty*, 2008, roč. 13, č. 13, s. 69-78.
- 8) HRUŠKA, R. Globalizace a podnikatelské prostředí. *LOGI 2013 - Conference Proceeding*. České Budějovice : Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2013, s. 188-193. ISBN 978-80-7468-059-5.
- 9) HRUŠKA, R. Systémy pro vychystávání materiálu. *LOGI 2014 – Conference Proceeding*. Brno : Tribun EU, 2014, s. 68-72. ISBN 978-80-263-0860-7.
- 10) JURÁNKOVÁ, P., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L. Měření přesnosti čtení UHF pasivních tagů (ALN-9640). *Perner's Contacts*, 2015, roč. 38, č. 1, s. 75-85.
- 11) CHOCHOLÁČ, J., JURÁNKOVÁ, P., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L. Simulace reálného poštovního provozu s využitím RFID technologie. *Perner's Contacts*, 2015, roč. 40, č. 3, s. 32-43.
- 12) HRUŠKA, R. Detekování poštovní přepravní klece při průchodu RFID bránou. *Perner's Contacts*, 2016, roč. 11, č. 3, s. 60-66.
- 13) ŠEBA, J., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L. Analysis of automatic identification and data capture systems use in logistics. *LOGI Scientific Journal on Transport and Logistics*, 2016, roč. 7, č. 1, s. 124-135.

- 14) ŠEBA, J., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L. Načítání UHF pasivních tagů H86a1w. *IPoCC 2016 - Sborník příspěvků mezinárodní konference*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2016, s. 229-241. ISBN 978-80-7560-003-5.
- 15) ŠEBA, J., HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L., DOBRODOLAC, M. Analysis of radio field requirement for RFID systems use in warehouses. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 2017, roč. 8, č. 2, s. 90-98.
- 16) HRUŠKA, R. Logistické trendy v dodavatelských řetězcích. *Perner's Contacts*, 2018, roč. 13, č. 1, s. 39-44.
- 17) HRUŠKA, R., ŠVADLENKA, L., JURÁNKOVÁ, P. Challenges for automatic identification systems in the supply chain. *International Journal of Learning and Change*, 2019, roč. 11, č. 3, s. 252-267.
- 18) CHOCHOLÁČ, J., HRUŠKA, R., KUČERA, T., MACHALÍK, S., HYRŠLOVÁ, J. Automatic identification technologies within distribution logistics from the perspective of efficiency of the identification process. *International Days of Statistics and Economics : conference proceedings*. Slaný : Melandrium, 2019, s. 524-533. ISBN 978-80-87990-18-6.
- 19) HRUŠKA, R., KUČERA, T., CHOCHOLÁČ, J. Modelling of Selected Logistic Process in Logistic Centre Using Dynamic Simulation. *Transport Means 2020 : proceedings of the 24th International Scientific Conference*. Kaunas : Kaunas University of Technology, 2020, s. 85-90. ISSN 1822-296X.
- 20) ŠOHAJEK, P., CSERNYANSZKÁ, P., HRUŠKA, R. RFID technology deployment in the production logistics of buses. *International Days of Statistics and Economics : conference proceedings*. 2020.
- 21) HRUŠKA, R., CHOCHOLÁČ, J., KUČERA, T. Use of RFID Technology in the Logistic Process of Distribution with the Support of a Dynamic Simulation Software Tool. *Transport Means : proceedings of the international scientific conference*. Kaunas : Kaunas University of Technology, 2021, s. 449-454. ISSN 1822-296X.
- 22) CHOCHOLÁČ, J., HRUŠKA, R., SOMMERAUEROVÁ, D. Effectiveness of automatic identification technologies in shipment consolidation. *CLC 2022 - Carpathian Logistics Congress : Conference Proceedings*. Ostrava : TANGER, spol. s r.o., 2022, s. 53-58. ISBN 978-80-88365-08-2. ISSN 2694-9318.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A RFID v Decathlonu

RFID AT DECATHLON: 10 YEARS OF PROGRESS

The first trials conducted by this company began in France in 2008. Around thirty engineers went on to make this technology viable on a practical basis within the company. In 2014, RFID was rolled out on an en masse as part of all Decathlon processes. This meant that 100% of Decathlon products were bearing an RFID tag by January 2019.

The biggest challenge was to incorporate the RFID tag on certain types of products, as labels don't tend to work particularly well on contact with water or metal. Considerable imagination was called for in order to find solutions, so tags could be attached to suitable surfaces. In some cases, teams had to adapt the packaging and sometimes even review the design of the product itself.

This was a project that required input from many partners, as well as all Decathlon departments, so as to be in a position to deliver all products with RFID tags.

Currently, all company structures worldwide (factories, warehouses, stores, etc.) are equipped with tools designed to read RFID chips. There are almost 50,000 readers, most of which are designed and produced by the company, and which cover the entire chain, from manufacturing through to store checkout.

