



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Návrh inventarizačního systému založeného na RFID

Diplomová práce

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 1802T007 – Informační technologie

Autor práce: **Bc. Filip Kratochvíl**

Vedoucí práce: Ing. Jana Kolaja Ehlerová, Ph.D.





Zadání diplomové práce

Návrh inventarizačního systému založeného na RFID

<i>Jméno a příjmení:</i>	Bc. Filip Kratochvíl
<i>Osobní číslo:</i>	M18000146
<i>Studijní program:</i>	N2612 Elektrotechnika a informatika
<i>Studijní obor:</i>	Informační technologie
<i>Zadávající katedra:</i>	Ústav nových technologií a aplikované informatiky
<i>Akademický rok:</i>	2019/2020

Zásady pro vypracování:

1. Student provede rešerši UHF RFID systémů pro automotive logistiku.
2. Otestuje komunikaci s UHF RFID čtečkami různých výrobců, vybere jeden výrobek podle parametrů své úlohy.
3. Navrhne a implementuje inventurní systém pro jeden regál, který otestuje v laboratorním provozu.
4. Student vypracuje návrh pro ostrý provoz včetně zapojení do stávajícího inventurního systému.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
40-50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] KHATTAB, Ahmed, Esmaeil AMINI, Magdy BAYOUMI a Zahra JEDDI. *RFID Security*. Springer, 2017. Analog Circuits and Signal Processing. ISBN 978-3-319-47544-8.
- [2] SCHERHÄUFL, Martin. *Phase-of-arrival-based localization with passive UHF RFID transponders*. Linz: Trauner Verlag Universität, [2017]. Advances in mechatronics, 39. ISBN 978-3-99062-072-4.
- [3] PERIS LOPEZ, Pedro. *Security and trends in wireless identification and sensing platform tags: Advances in RFID*. Hershey: IGI Global, 2013. Premier reference source. ISBN 978-1-4666-1990-6.

Vedoucí práce:

Ing. Jana Kolaja Ehlerová, Ph.D.
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání práce:

9. října 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

18. května 2020

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Josef Novák, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 17. října 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

29. 5. 2020

Bc. Filip Kratochvíl

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval Ing. Janě Kolaje Ehlerové, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání diplomové práce. Děkuji také Ing. Andree Martinkové za konzultaci při implementaci a testování realizované aplikace.

Návrh inventarizačního systému založeného na RFID

Abstrakt

Technologie RFID není novinkou posledních let, nicméně stává se stále více dostupnou a to zejména zásluhou rostoucí poptávky. Je využívána napříč mnoha obory ať se jedná o bankovníctví, cestovní ruch, maloobchod, nebo například o logistické procesy a skladování, na které je zaměřena tato práce.

Diplomová práce shrnuje základní informace o RFID, dostupném hardwaru a možnostech využití v souvislosti s logistikou v automobilovém průmyslu. Zmíněny jsou i již realizované implementace ve vybraných podnicích.

Výsledkem diplomové práce je funkční implementace popsaných a následně zvolených technologií, v podobě webové aplikace propojené s RFID čtečkou a možností napojení na WMS nebo ERP systém.

Klíčová slova: RFID, inventarizace, automotive, webové aplikace, UHF, RFID štítek

Design of Inventory System Based on RFID

Abstract

RFID Technology is not innovation of last years, but it is becoming more accessible, especially due to higher demand. The technology is used across many fields and industries, for example banking, tourism, retail or in logistics and warehousing on which is aimed this Thesis.

The Diploma Thesis summarises basic information about RFID, available hardware and possibilities of usage in context to logistics in automotive. Realized implementations in selected businesses are mentioned and summarized as well.

The outcome of the Thesis is functional implementation of described and subsequently selected resources, into the web application, which is connected to RFID reader, finally the application could be possibly connected to systems, such as WMS or ERP.

Keywords: RFID, Inventory, Automotive, Web Applications, UHF, RFID Tag

Obsah

1	Úvod	12
2	Technologie RFID	13
2.1	Typy RFID	13
2.1.1	Nízká frekvence	15
2.1.2	Vysoká frekvence	15
2.1.3	Ultra vysoká frekvence	15
2.1.4	Mikrovlnná frekvence	16
2.2	Tagy	16
2.2.1	Pasivní tagy	17
2.2.2	Polopasivní tagy	17
2.2.3	Aktivní tagy	18
2.2.4	Read-only	19
2.2.5	Read-write	19
2.2.6	Write-once Read-many	19
2.3	Čtečky	19
2.3.1	Antény	21
2.3.2	Middleware	22
2.4	RFID Tiskárny	22
2.5	Limity a omezení	23
2.5.1	Rušení	23
2.5.2	Bezpečnost	23
2.6	Standardizace	24
2.6.1	EPC	24
2.6.2	ISO	25
2.7	Alternativy RFID	25
2.7.1	1D kódy	25
2.7.2	2D kódy	26
3	Aplikace RFID	27
3.1	BMW AG	27
3.2	Škoda Auto, a. s.	28
3.3	Ford Motor Company a TNT Logistics	28
4	Inventarizace v automotive	29

5	Návrh inventarizačního systému	30
5.1	Výběr hardwarových komponent	30
5.1.1	Tagy	30
5.1.2	Čtecí zařízení	31
5.2	Návrh aplikace	36
5.2.1	Popis využitých technologií	36
5.2.2	Napojení na inventární systém	46
5.3	Testování aplikace	46
5.3.1	Nastavení aplikace	47
5.3.2	Umístění štítku	48
5.3.3	Umístění antén	48
5.3.4	Problémy při testování	49
5.3.5	Řešení problémů z testování	50
6	Závěr	52
A	Ukázka obrazovky Dashboard, s načtenými daty	58
B	Ukázka obrazovky Transakce a exporty	59
C	Fotodokumentace z testování aplikace	60
D	Obsah přiloženého CD	61

Seznam obrázků

2.1	UHF Read-write RFID štítky [35]	16
2.2	Schéma napájení pasivního tagu, upraveno z [21]	17
2.3	Schéma napájení pasivního tagu, upraveno z [21]	18
2.4	Schéma napájení aktivního tagu, upraveno z [21]	18
2.5	Mobilní RFID čtečka Zebra RFD8500 [26]	20
2.6	Fixní RFID čtečka Zebra FX9500 [24]	20
2.7	Standardní štítek využívaný v automobilovém průmyslu k označení zboží [32]	22
2.8	Struktura EPC, ve srovnání s EAN-13, převzato z [11]	24
2.9	Kód 3/9 se zapsanými daty „Technická univerzita v Liberci“	25
2.10	QR kód se zapsanými daty „Technická univerzita v Liberci“	26
5.1	Testovaná čtečka Alien ALR-8800	31
5.2	Přihlášení do čtečky Alien ALR-8800, prostřednictvím nástroje Telnet	32
5.3	Nastavení sekvence čtení z připojených antén v Alien ALR-8800	32
5.4	Nastavení formátu výpisu načtených štítků v Alien ALR-8800	32
5.5	Nastavení času smazání štítků z paměti čtečky Alien ALR-8800	33
5.6	Výpis načtených štítků čtečkou Alien ALR-8800	33
5.7	Testovaná čtečka CaenRFID Quattro R4321P	34
5.8	Konfigurace parametrů čtečky CaenRFID Quattro R4321P	35
5.9	Výpis načtených štítků v aplikaci CaenRFID Easy Controller	35
5.10	Schéma komponent navrhované inventární aplikace	36
5.11	Rozdělení jednotlivých částí JSON Web Tokenu, převzato z [33]	37
5.12	Schéma komunikace mezi klientem a serverem prostřednictvím REST API, převzato a upraveno z [15]	39
5.13	Oblast s grafem aktuálního rozložení skladových zásob ve sledované pozici	40
5.14	Návrh struktury databáze	42
5.15	Obrazovka pro přihlášení uživatele, prostřednictvím React klienta	43
5.16	Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat balení, prostřednictvím React klienta	44
5.17	Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat pozice, prostřednictvím React klienta	44
5.18	Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat antény, prostřednictvím React klienta	45

5.19	Oblast pro export záznamů historie a skladových zásob	46
5.20	Umístění balení a antény v testovací pozici horizontálního skladu . .	47
5.21	Umístění RFID štítku na RL-KLT 4147, během testování	48
5.22	Nákres rozmístění antén v horizontálním skladu – vrchní pohled . . .	49

1 Úvod

Automatizace procesů a snižování nákladů na jejich fungování jsou trendem poslední doby, ať se jedná o výrobní či nevýrobní procesy. Důvodem pro tento postup firem je zejména nízká nezaměstnanost a ekonomický růst v posledních letech. Každá společnost se snaží udržet na vrcholu svého oboru a nebojí se tak investovat značné prostředky do moderních technologií. [17] Jednou z těchto technologií, která není novinkou posledních let, nicméně stává se stále více dostupnou, právě se zvyšující se poptávkou, je Radio Frequency Identification, v české literatuře také zmiňovaná pod názvem – identifikace na rádiové frekvenci, dále jen RFID. Tato technologie, jak uvádí [8], je využívána napříč mnoha obory, ať se jedná o bankovníctví, cestovní ruch, maloobchod, nebo například o logistické procesy a skladování, do kontextu kterých bude směřována tato práce.

V diplomové práci budou rozebrány základní typy a principy fungování RFID, dále budou popsány jednotlivé komponenty systému, potřebné pro jeho fungování. Každá technologie má své alternativy a omezení, i tyto oblasti budou v teoretické části probrány, stejně jako již existující a využívané aplikace systému, zejména v oblasti výrobních podniků typu BMW AG nebo Škoda Auto.

Praktická část práce se, v souvislosti s popsanými typy, principy a omezeními RFID, podívá na produkty jednotlivých výrobců systémů RFID a na základě zjištěných výhod, nevýhod a uživatelské přívětivosti bude zvolena technologie pro realizaci modelového inventarizačního systému, pro potřeby místního výrobního podniku.

Cílem práce bude s vybranou, resp. dostupnou technologií vytvořit aplikaci, která bude schopna provádět základní inventarizaci výrobků, uložených v horizontální skladové pozici, mezi jednotlivými výrobními linkami s využitím technologie RFID. U vytvořené aplikace dojde ke zhodnocení výhod, nevýhod a rizik využití konkrétních postupů.

V závěru budou shrnuty poznatky z vývoje aplikace, bude provedeno porovnání s alternativními systémy a postupy využívanými podniky v současné době a návrh dalších vylepšení realizované aplikace.

2 Technologie RFID

Radio Frequency Identification (dále jen RFID) je bezdrátová komunikační technologie umožňující identifikaci označených věcí a osob. Tato technologie v posledních letech zažívá velký rozvoj a rozšíření do všech oblastí lidského působení, zejména pak v průmyslu a oblastech dodavatelského řetězce. Pro porovnání, jak velký rozmach technologie zažívá, je možné uvést, že v letech 1954–2004 bylo celkově dodáno jeden a půl miliardy RFID tagů, z čehož jedna miliarda byla dodána pouze za rok 2004, jak uvádí [6], za rok 2017 číslo prodaných tagů přesáhlo již 16 miliard. [3].

Rozmach RFID byl způsoben zejména nasazením řetězcem Wal-Mart, který požaduje po svých dodavatelích označování dodávaného zboží těmito tagy a Ministerstvem obrany Spojených států amerických, kterým se podařilo využitím RFID zvýšit svoji efektivitu a snížit náklady na provoz logistických procesů, již v roce 2003. V souvislosti s vysokou poptávkou došlo v roce 2007 ke snížení ceny tagů až na 0,5 USD, čímž došlo k dalšímu růstu poptávky a zájmu firem o implementaci technologie. [6]

Systém RFID je zpravidla složen ze tří základních komponent, které můžeme rozdělit do dvou vrstev, fyzické a aplikační. Fyzickou vrstvou je zamýšlen tag (v literatuře občas označovaný jako transpondér), což je polovodičový obvod (čip a paměť) s anténou, v některých případech obsahuje také baterii. Další komponentou systému je čtecí zařízení (reader), to je složeno z elektroniky pro rádiovou frekvenci (RF), antény a elektronických kontrolerů. Součástí aplikační vrstvy je PC nebo server, na kterém je systém obsluhován ze softwarového hlediska (tzv. middleware), na který zpravidla navazuje nějaký podnikový software, který se získanými daty dále pracuje. [8]

RFID funguje na principu elektromagnetických vln na rádiové frekvenci, nevyžaduje tak přímou viditelnost štítků a umožňuje identifikaci více objektů najednou. V závislosti na zvoleném typu technologie může RFID fungovat i na větší vzdálenosti.

2.1 Typy RFID

Nejdůležitějším parametrem, nebo kritériem pro rozdělení RFID systémů je v současné době frekvence čtečky, resp. radiových vln, které vysílá, spolu se způsobem (metodou) spojení a z toho vyplývajícím komunikačním dosahem (vzdáleností, na kterou jsou štítky se čtečkou schopny komunikovat).

Principiálně se jedná o část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 mm do 1000 km (rádiové vlny), viz tab. 2.1. [21]

Mezinárodní zkratka	Frekvence	Vlnová délka	Český název	Anglický název
ELF	3 mHz – 3 kHz	1000 km – 100 km	extrémně dlouhé vlny	Extremely Low Frequency
VLF	3 kHz – 30 kHz	100 km – 10 km	velmi dlouhé vlny	Very Low Frequency
LF	30 kHz – 300 kHz	10 km – 1 km	dlouhé vlny	Low Frequency
MF	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m	střední vlny	Medium Frequency
HF	3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m	krátké vlny	High Frequency
VHF	30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m	velmi krátké vlny	Very High Frequency
UHF	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm	ultra krátké vlny	Ultra High Frequency
SHF	3 GHz – 30 GHz	10 cm – 1 cm	mikrovlny	Super High Frequency
EHF	30 GHz – 300 GHz	1 cm – 1 mm	mikrovlny	Extremely High Frequency

Tabulka 2.1: Rozdělení rádiového frekvenčního spektra, převzato z [21]

RFID v praktickém využití pracuje na frekvencích od 124 kHz do 2,45 GHz, viz tab. 2.2. Volbu frekvence pro reálné využití ovlivňuje zejména požadovaný komunikační dosah, prostorové možnosti pro uložení štítku (velikost antény a využití baterie), prostředí v jakém bude systém využíván (voda, kovové předměty) a oblast světa, kde bude systém nasazen.

Nejvyužívanějším pásmem byla dlouhou dobu frekvence HF (13,56 MHz), která je mimo jiné, schválena pro RFID po celém světě. Nicméně s nástupem Industry 4.0 a častějším využitím RFID v průmyslu ji vystřídalo pásmo UHF (868 MHz), které se používá zejména z důvodu možnosti větší komunikační vzdálenosti. [20]

Mezinárodní zkratka	Frekvence (EU)	Komunikační dosah
LF	124 kHz, 135 kHz	do 0,5 m
HF	13,56 MHz	do 1 m
UHF	868 MHz	do 20 m
SHF	2,45 GHz a 5,8 GHz	do 100 m

Tabulka 2.2: Alokované frekvence pro RFID systémy v EU, převzato z [20]

2.1.1 Nízká frekvence

Nízkofrekvenční RFID systémy našly své využití již na začátku 80. let 20. století, od té doby začaly být využívány při označování zvířat, díky svým vlastnostem jsou použitelné právě i v prostředí s vysokým obsahem vody, nebo například při uchycení na vodivých podložkách. V dnešní době jsou kromě čipování zvířat hojně využívány například v imobilizérech vozidel, kdy před samotným nastartováním dochází k ověření identifikátoru klíče řídicí jednotkou a až na základě shody k samotnému nastartování.

Jednou z hlavních nevýhod RFID na nízkých frekvencích je možnost využití pouze na krátké vzdálenosti (jednotky až desítky centimetrů), což znamená nutnost přiblížení čtečky téměř na dotykovou vzdálenost, podobně jako u čárových kódů. Zpravidla jsou LF RFID tagy vybaveny pouze malou pamětí a omezenou antikolizní schopností, v porovnání s ostatními typy RFID tak nejsou nízkofrekvenční systémy využitelné pro hromadné čtení více štítků. [21]

2.1.2 Vysoká frekvence

HF RFID systémy jsou principiálně velmi podobné s LF systémy, avšak mají větší čtecí vzdálenosti, jsou schopny zajistit rychlejší přenos dat a tím pádem bývají HF štítky vybaveny větší pamětí. Čtecí vzdálenost se zpravidla pohybuje od 0,5 do 1 m, vysokofrekvenční systémy mají možnost implementace antikolizní schopnosti, nicméně vzhledem k relativně malé čtecí vzdálenosti výrobci tuto schopnost neimplementují a dávají tak přednost jednoduchosti a větší cenové dostupnosti zařízení a štítků.

Antény HF štítků jsou tvořeny několika ohyby vodivých materiálů, například ve tvaru ploché spirály mědi, hliníku nebo stříbra, tento typ antény umožňuje realizaci štítků tenkých jako list papíru, díky čemuž můžeme štítky jednoduše umístit téměř na jakékoliv objekty.

Všechny výše vyjmenované faktory vedly k rozmachu HF RFID a tato frekvence našla využití například v kreditních kartách, knihovnách pro označení knih nebo na letištích při označování zavazadel, což umožnila i celosvětová jednota v přidělené frekvenci. [21]

2.1.3 Ultra vysoká frekvence

Polopasivní a pasivní štítky na ultra vysoké frekvenci, narozdíl od LF a HF štítků komunikují s čtečkou pomocí zpětné vazby, aktivní štítky naopak využívají vlastní vysílač, viz podkapitola 2.2.3. Díky způsobu komunikace mají UHF systémy zároveň vyšší čtecí vzdálenost, v případě polopasivních a pasivních štítků se jedná přibližně o 6 m, u aktivních štítků se můžeme setkat až s 15–20 m. [21]

UHF systémy se vyznačují vysokou antikolizní schopností (implementace antikolizních protokolů), je tedy možné načítat více štítků simultánně. Štítky jsou stejně jako v případě HF štítků víceméně dvourozměrné, ale narozdíl od nich nepracují

dobře v prostředí s vodivými materiály (zejména voda ultra vysoké frekvence absorbuje). [6]

Jednou z nevýhod je také nejednotné pásmo pro UHF systémy ve světě, i přesto se tato pásma stala nejvyžívanější v oblasti RFID.

2.1.4 Mikrovlnná frekvence

RFID systémy pracující na mikrovlnných frekvencích (v Evropě se jedná konkrétně o pásmo 2,45 GHz), stejně jako UHF systémy mají zpravidla dobrou antikolizní schopnost a pracují se štítky pasivními (čtecí vzdálenost cca 5 m), polopasivními (čtecí vzdálenost do 30 m) a aktivními (až 100 m čtecí vzdálenost).

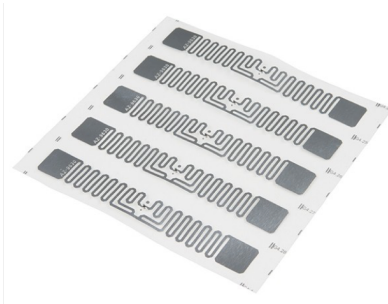
Štítky pracující se systémy na mikrovlnných frekvencích jsou jedny z nejmenších a jsou schopny pracovat, právě v závislosti na vlnové délce, i v prostředí s vodivými materiály. [6]

Úskalím se však SHF systémům stává rušení ostatními mikrovlnnými zařízeními (bezdrátové sítě – WLAN, bezdrátové telefony, aj.), které zejména v interiérech budov mohou být pro mikrovlnné systémy z hlediska funkčnosti fatální.

Využití našlo SHF RFID zejména v dopravě při elektronickém výběru mýtného nebo v případě RTLS (lokalizaci v reálném čase), tedy při sledování objektů, které neustále mění svoji polohu. [8]

2.2 Tagy

V literatuře taktéž označované jako štítky, nebo transpondéry, jsou umístovány na prvky, v případě automotive například jednotlivé díly nebo celá balení dílů, která umožňují monitorovat například skladové zásoby, dodržení principu FI-FO, nebo jsou využity pro lokalizaci daného zboží. Základní a také jedinou funkcí štítku je tedy uložení a přenos dat. [21]



Obrázek 2.1: UHF Read-write RFID štítky [35]

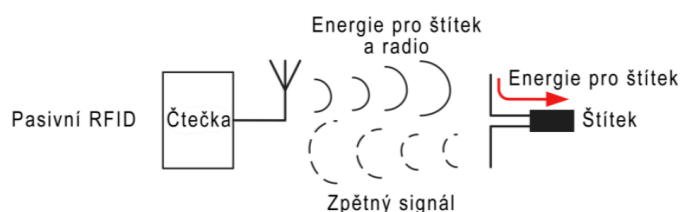
Z hlediska komponent je tag složen z integrovaného obvodu, který je dále možné rozdělit na napájecí obvod, do kterého je energie dodána baterií a nebo vyzářenou energií ze čtečky. Dále je štítek vybaven přijímačem resp. vysílačem, ty jsou zodpovědné zejména za demodulaci resp. modulaci vysílaného signálu a implementaci

komunikačního protokolu. V neposlední řadě obsahují paměť, do které jsou uloženy unikátní identifikátory a jiná data v závislosti na implementaci do systému. Důležitou součástí je samotná anténa, která je přímo napojena na integrovaný obvod, zajišťuje komunikaci se čtečkou a v případě pasivních štítků dodává obvodu energii. [21]

Podle způsobu napájení štítku pro přenos dat, jak bylo dříve zmíněno, je možné štítky rozdělovat na pasivní, polopasivní a aktivní, tedy zjednodušeně můžeme rozdělit tyto štítky podle toho zda obsahují či neobsahují zdroj energie, jak uvádí [6].

2.2.1 Pasivní tagy

Pasivní tagy, jak název napovídá, neobsahují přímo zakomponovaný zdroj energie, energie je získána ze čtečky pomocí vln, které čtečka periodicky vysílá a následně čeká na odpověď. Ve štítku se nabije kondenzátor a na určité úrovni energie (nabití) je anténou vyslána odpověď zpět do čtečky. Mód tohoto typu čtení, resp. dotazu a odpovědi, lze v některých zdrojích nalézt také pod pojmem RTF (reader talks first). [23]



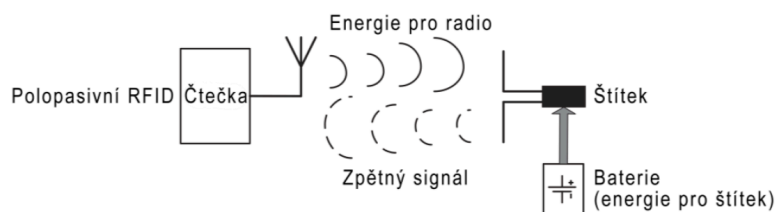
Obrázek 2.2: Schéma napájení pasivního tagu, upraveno z [21]

Z hlediska způsobu nabíjení pasivních štítků vyplývá, že jsou oproti aktivním štítkům použitelné na menší vzdálenosti (desítky centimetrů až jednotky metrů). Na stranu druhou jsou tyto štítky velmi odolné vůči různým vlivům vnějšího prostředí a mají prakticky neomezenou provozní životnost, i přesto jsou používány spíše jako spotřební materiál. Pasivní štítky jsou menší a také značně finančně dostupnější oproti ostatním typům, právě zásluhou absence baterie. [6]

2.2.2 Polopasivní tagy

V některých zdrojích taktéž uváděné jako semi-pasivní štítky. Tento typ štítků obsahuje baterii, nikoliv však plně pro potřeby přenosu dat mezi čtečkou a štítkem, baterie je ve štítku využívána pro potřeby napájení různých senzorů. Příklad může být automobilový průmysl, kde jsou využívány různé chemikálie, které však ztrácí své klíčové vlastnosti po překročení nebo naopak poklesu pod určité teploty. Pro tyto účely může být ve štítku obsažen jednoduchý teplotní senzor, který při poklesu resp. překročení teploty, změni datovou hodnotu uloženou v paměti, což po přečtení

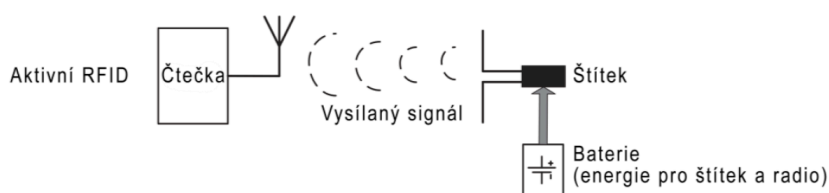
štítku zamezí použití vadného výrobku. [6] Tím že baterie napájí i samotný integrovaný obvod, není potřeba v kondenzátoru kumulovat tolik energie pro odpověď do čtečky, tyto štítky tedy fungují i na vzdálenosti desítek metrů.



Obrázek 2.3: Schéma napájení pasivního tagu, upraveno z [21]

2.2.3 Aktivní tagy

Stejně jako polopasivní tagy, obsahují vlastní zdroj energie v podobě baterie, n rozdíl od nich tento zdroj však obsluhuje kompletně celý obvod, tedy včetně komunikace s čtecím zařízením. V důsledku využití vlastního zdroje jsou aktivní tagy schopny komunikovat na větší vzdálenosti (desítky až nižší stovky metrů), mají větší paměť, na druhou stranu jsou značně dražší, větší a jejich provozní životnost je v porovnání s pasivními tagy nízká – v závislosti na baterii (standardně 5–7 let). [23]



Obrázek 2.4: Schéma napájení aktivního tagu, upraveno z [21]

Programováním aktivních štítků jsme schopni dosáhnout funkcionality, která u jiných štítků není možná a je tak jednou z největších výhod aktivních štítků, jedná se o tzv. beacon, v české literatuře nazývané jako majáky. Funkce majáku spočívá v tom, že za standardních okolností dochází k probuzení štítku signálem ze čtečky, po přeprogramování lze nastavit, že se štítek samovolně probudí po určitém časovém intervalu a odešle informaci, poté opět přejde do režimu spánku, čímž jsme schopni monitorovat např. pozici sledovaných štítků v reálném čase. [21] Tento mód komunikace, v porovnání s dříve popisovaným způsobem komunikace, se v literatuře objevuje také pod pojmem TTF (tag talks first).

Podle typu obsažené paměti jsou štítky též rozděleny a to na read-only, read-write a write-once. [10]

2.2.4 Read-only

Štítky umožňující pouze čtení (není jej již v budoucnu možné upravit či přepsat), mají ve své paměti nahraný pouze unikátní identifikátor, zpravidla již z výroby. Z tohoto důvodu je paměť velikostně většinou omezena právě na velikost sériového čísla a štítek žádnou další informaci neudrží.

Tento typ štítků je využíván zejména v oblasti maloobchodního prodeje, při identifikaci jednotlivých kusů zboží, kdy má jednorázové použití.

Některé read-only štítky zároveň umožňují znehodnocení (např. pokusem o přepis), což může být využito například po zaplacení takového zboží zákazníkem v obchodě, kdy již není předpoklad dalšího využití štítku. [23]

2.2.5 Read-write

Identifikátor štítků umožňujících čtení i zápis může být kdykoliv upraven či změněn, zároveň paměť nemusí udržovat pouze číslo štítku, ale může zde být uložen i například log čtení štítku. Štítky typu read-write jsou zpravidla vybaveny EEPROM pamětí o velikosti 256 bitů až 32 kB, což zapříčiňuje jejich vyšší cenu. Bývá zde implementována funkce tzv. uzamčení, což zabrání nechtěnému přepsání štítku. [4]

Štítky je možné vzhledem k možnému přepisu dat v určitém procesu využít několikrát. Read-write štítky jsou používány při výrobních procesech nebo ve skladech, kdy je štítek umístěn na paletu, následně po expedování zboží a návratu palety zpět je štítek přepsán a přiřazen opět k novým výrobkům. [23]

2.2.6 Write-once Read-many

Štítky typu write-once read-many jsou na pomezí dříve zmíněných typů, uživatel má možnost do štítku jednou zapsat, následně je hodnota ve štítku uzamčena a již ji není nikdy možné změnit. Stejně jako v případě Read-only lze dalším pokusem o přepis štítky znehodnotit. [23]

Pro reálné využití jsou tyto štítky flexibilnější, než Read-only štítky (zapsanou informaci je možné přizpůsobovat softwarové implementaci), nicméně jsou většinou taktéž využívány jednorázově, například pro označení zboží v obchodech.

2.3 Čtečky

RFID čtečky slouží v systému ke koordinaci datových toků, funkcionalit mezi anténami a dekodování přijatých zpráv z antén. Čtečky mohou být různých typů a jsou děleny, kromě již zmíněných frekvenčních pásem, na základě způsobu napájení a způsobu připojení k počítači, který provádí další zpracování dat získaných čtečkou.

Jednou z možností napájení je baterie, která je umístěna přímo na čtečce. Tato zařízení jsou zpravidla relativně kompaktních rozměrů, lehká (82–700 g) a tím pádem přenosná. Jedná zejména o ruční (mobilní) čtečky, které jsou podobné například čtečkám určeným k načítání čárových kódů, ty jsou mj. jednou z alternativ využívaných i v oblasti automotive, často jsou technologie v zařízení zkombinovány. Anténa

je přímo součástí daného zařízení, je tedy taktéž kompaktních rozměrů a z tohoto plynou i jisté nevýhody zejména z hlediska nižší čtecí vzdálenosti, a rychlosti datových toků při načítání. Kvůli absenci konektorů ruční čtečky zpravidla neumožňují připojení dalších externích antén. [8]



Obrázek 2.5: Mobilní RFID čtečka Zebra RFD8500 [26]

Další možností napájení čtečky je přímé připojení do elektrické sítě, jedná se o tzv. statické (fixní) RFID čtečky. Tato zařízení jsou většinou poměrně těžká, nepřenosná, ale zároveň odolná vůči vnějším vlivům. Umožňují maximální možné využití potenciálu obsažené technologie, které není omezené napájením. Statické čtečky umožňují připojení více antén najednou, čímž je dosaženo lepší přesnosti čtení, případně využití jedné antény pro vysílání a další k příjmu apod. Tento typ čteček je v kombinaci s vhodně zvolenými anténami základním prvkem pro stavbu RFID bran a kontrolních míst na výrobních linkách. Antény jsou připojeny, jak uvádí [2], většinou prostřednictvím SMA, nebo N konektorů. Vzdálenost mezi jednotlivými anténami je v takovém případě omezena pouze délkou kabeláže a s ní souvisejícími ztrátami při přenosu.



Obrázek 2.6: Fixní RFID čtečka Zebra FX9500 [24]

Další variantou rozdělení čteček, je podle způsobu přenosu dat z čtečky do systému pro jejich další zpracování. Čtečky jsou rozlišeny na tzv. síťové a sériové.

Síťové čtečky komunikují, jak název napovídá, prostřednictvím standardních síťových protokolů Ethernet, TCP/IP, HTTP, LAN případně WLAN.

V případě sériových čteček je komunikace realizována fyzickou linkou RS-232, RS-485 nebo USB. Sériové čtečky přináší nevýhodu v podobě rostoucí potřeby fyzických portů hostitelských počítačů v závislosti na rostoucím počtu využitých čteček.

2.3.1 Antény

Antény jsou v RFID systémech součástí jak čteček, tak i štítků, což bylo nastíněno již v kapitole 2.2. Tato kapitola bude soustředěna zejména na antény, které jsou využitelné pro stacionární čtečky a jež nejsou součástí samotného těla čtečky, některé obecné informace jsou však platné i pro antény přítomné v mobilních čtečkách.

Externí antény jsou zpravidla ke stacionárním čtečkám připojeny prostřednictvím koaxiálních kabelů, na jejichž koncích jsou již zmíněné SMA nebo N konektory (Male – čtečka, Female – koaxiální kabel).

V případě vysílání anténa vysílá energii z vedení do prostoru, resp. v případě příjmu anténa sbírá energii z prostředí a dále ji prostřednictvím vedení předává do čtečky, viz obr. 2.2, 2.3 a 2.4. Jak uvádí [2], můžeme tedy anténu chápat jako transformátor elektromagnetické vlny z nebo do čtečky. V praxi je možné antény dělit podle různých typů, způsobů návrhu nebo využití.

Parametry antén

Vzájemné porovnání antén je možné na základě parametrů, které jsou zpravidla uvedeny v tabulce přiloženého datasheetu ke konkrétní anténě. Prostudováním těchto parametrů je následně možné posoudit i předpoklad chování antény a vhodnost nasazení dané antény pro konkrétní prostředí. [18]

K anténám se uvádí následující parametry:

- Rezonanční kmitočet a šířka pásma antény
- Zisk antény
- Vstupní impedance antény
- Poměr stojatých vln
- Vyzařovací úhel antény
- Polarizace antény
- Mechanické vlastnosti a odolnost vůči klimatickým podmínkám

Pro volbu správných antén k implementaci aplikace bude nejdůležitějším parametrem polarizace antén, v následující části bude tedy dále rozebrána.

Parametr polarizace antény vychází z polarizace elektromagnetických vln, které anténa produkuje, nebo je schopna přijímat. Elektromagnetické vlny, jak uvádí [2], jsou tvořeny dvěma složkami – elektrickým a magnetickým polem, které jsou k sobě vzájemně kolmé. Polarizací je tedy myšlena orientace vektoru elektrického pole

Nejčastěji jsou v RFID systémech využívány antény s kruhovou polarizací [2], v takovém případě nezáleží na natočení štítku vůči anténě a anténa je schopná jej přečíst. V případě lineárních antén je velkou nevýhodou, že nejsou schopny přečíst štítek, který je otočen o 90° , vzhledem k jejich polarizaci. Využití lineárních antén je tedy omezeno pouze na aplikace, kde je jistota, že štítky budou vždy orientovány požadovaným směrem, případně jsou antény vzájemně kombinovány tak, aby simulovaly anténu s kruhovou polarizací. [18]

Nezbytnou součástí čtečky je softwarové vybavení, middleware slouží pro zajištění dekódování, uložení a monitorování načtených dat, správu hardwarových komponent čtečky a napojení na podnikový či jakýkoliv další software. Daty, která plynou z čtečky jsou zpravidla ID štítku, ID čtečky a čas události načtení. Jak bylo již dříve zmíněno v kapitole 2.2, např. aktivní štítky jsou schopny uchovávat i další provozní informace, jako jsou data z obsaženého senzoru (např. teplota prostředí), svoji pozici, nebo stav baterie štítku, sofistikovanější middleware je tedy schopen i tyto informace zpracovávat a předávat uživateli či do dalších softwarových komponent systému.

S oblastí automobilového průmyslu úzce souvisí i označování jednotlivých dílů, resp. šarží dílů, jednorázovými štítky (obr. 2.7), tak aby bylo možné každý jednotlivý díl z finálního produktu vystopovat a zjistit průběh procesu výroby.

Obrázek 2.7: Standardní štítek využívaný v automobilovém průmyslu k označení zboží [32]

22

Tiskárny jsou vybaveny buď speciální hlavou, nebo jinak implementovaným vysílačem, při tisku samotného labelu s čárovým kódem, číslem šarže, číslem dílu, datem příjmu a dalšími potřebnými údaji tato data zároveň vloží do RFID čipu obsaženého ve štítku. Tiskárna dále ověří i správný zápis dat do vytištěného štítku. Využívané tagy jsou většinou typu Write-once Read-many, tak aby nedocházelo k záměně šarží nebo zneužití jiným způsobem, zároveň se předpokládá likvidace štítků po splnění svého účelu, tj. vzniká tlak na nízkou cenu a není potřeba využívat cenově náročnějších štítků.

2.5 Limity a omezení

V předcházejících kapitolách byly nastíněny určité nevýhody při využití konkrétních typů RFID, v této kapitole jsou tedy shrnuty problémy, se kterými se firmy vyvíjející aplikace využívající RFID, či přímo uživatelé RFID setkávají a dalším vývojem se je snaží odstranit. [21]

Nejproblematičtějšími oblastmi jsou především rušení přenosu různými vlivy, bezpečnost a cena technologie.

2.5.1 Rušení

Častým zdrojem problémů při zavádění RFID, jak uvádí [21], jsou materiály, resp. prostředí ve kterém je systém využíván. Problematickými jsou zejména kovové materiály a kapaliny. Při využití RFID v prostředí, kde se nachází hodně kovových předmětů, kterými elektromagnetické vlnění neprochází, dochází k odrazu vln kovovým předmětem a vznikají tzv. slepé zóny. Ve slepé zóně nedochází k přečtení štítků (pasivních i aktivních). Problematickým může být i umístění štítku přímo na povrch kovového předmětu, z důvodu jeho vodivosti. Toto se však výrobcům částečně již podařilo vyřešit změnou nosiče obvodu štítku, který je v takovém případě tvořen termoplastem, nebo zapouzdřen do polypropylenu, čímž dochází k oddělení obvodu od podložky, na které je štítek umístěn. V případě kapalin dochází naopak k absorpci elektromagnetických vln a zabraňuje to průstupu signálu a energie ke štítku. Problém s kapalinami je možné částečně řešit volbou RFID systému pracujícího na nízkých frekvencích (LF) a zvýšením počtu čtecích prvků (antén).

Dalším zdrojem rušení mohou být ostatní zařízení pracující na bázi frekvenčních pásem, která se vzájemně ruší. Problémům s frekvenčním rušením výrobci a dodavatelé systémů čelí správným nastavením ostatních zařízení na správné RF kanály, které jsou rozdílné od implementovaného systému a směřováním čtecích zón k požadovanému místu.

2.5.2 Bezpečnost

Systémy RFID jsou z hlediska bezpečnosti napadnutelné ve všech svých částech. Jedná se již o samotné štítky, kdy útočníkovi stačí příslušné čtecí zařízení, proto se doporučuje na štítky ukládat pouze data, která jsou bez propojení s databází

prakticky bezcenná. Dalším bodem možného napadení je komunikace mezi čtečkou a štítkem, kterému lze zabránit šifrováním dat uložených na štítku. Poslední součástí, kterou může útočník využít k získání dat, je příslušná databáze a aplikace, které s ní pracují. Tomuto lze zabránit zabezpečením sítě, po které čtečka komunikuje se softwarem a dostatečným zabezpečením samotného softwaru a případně šifrováním databáze.

2.6 Standardizace

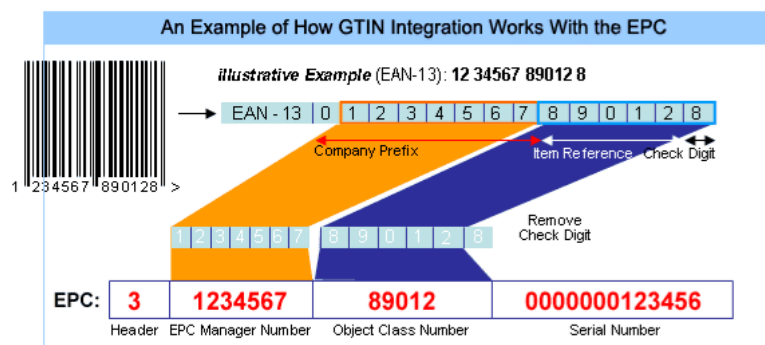
Cílem vytvářených standardů na poli technologie RFID je ze strany firem a autorit zajištění kompatibility mezi produkty různých výrobců. Standardy zaváděli např. mezinárodní standardizační organizace ISO, IEC, ITU nebo pro USA organizace ANSI a pro Japonsko JISC, zároveň byly vyvinuty průmyslové standardy od EPC Global a AIAG.

UHF RFID bylo globálně standardizováno pod nejpropracovanějším protokolem EPC Global Gen 2, který odpovídá i standardu ISO 18000-6C.

Zároveň standardy musí odpovídat místním regulacím spadajícím pod národní či nadnárodní autority, kterou je pro Evropu ERO, konkrétně pro Českou republiku pak ČTÚ. [6]

2.6.1 EPC

Elektronický kód produktu, neboli EPC je globálním standardem a určuje datový obsah štítku, tak aby bylo možné jednoduše a efektivně identifikovat označené objekty. Udržovaný kód EPC štítku lze rozdělit na čtyři části – hlavička, EPC manažer, objektový manažer a sériové číslo, viz obr. 2.8.



Obrázek 2.8: Struktura EPC, ve srovnání s EAN-13, převzato z [11]

Výhodou oproti standardně využívanému IAN (mezinárodní číslo artiklu) je přítomnost sériového čísla a tedy možnost rozlišení jednoho konkrétního produktu. [21] [6]

2.6.2 ISO

Normy spravované pod ISO jsou zaměřeny do několika oblastí – vzdušné rozhraní a protokoly, datový obsah a formátování (do této sekce spadá dříve zmíněné EPC) a nakonec aplikace a menší standardizované celky. Příkladem standardu ISO odpovídajícím obsahu této práce je ISO/IEC 18000-6:2013, jejímž předmětem je standardizace parametrů komunikace mezi 860 MHz a 960 MHz. [21]

2.7 Alternativy RFID

Alternativním řešením pro identifikaci zboží nejen v automobilovém průmyslu, ale napříč všemi odvětvími lidského působení jsou čárové kódy. Jedná se ve své podstatě o data zakódovaná do obrazu. Na základě vysokých kontrastů mezi bílými a černými poli mohou být data z obrazu dekodována. [22]

Rozeznáváme dva základní typy čárových kódů, tzv. lineární 1D kódy a dvourozměrné 2D kódy, které dále můžeme ještě rozdělit na maticové a skládané. Výhodou čárových kódů oproti využití RFID je zejména univerzálnost řešení, protože čárové kódy je v dnešní době možné číst prakticky jakýmkoliv zařízením disponujícím fotoaparátem. Další výhodou a důvodem stále velkého využití čárových kódů je nízká finanční náročnost implementace takového řešení, jelikož čárový kód můžeme vytvořit s příslušným softwarem prakticky okamžitě a následně jej stačí vytisknout na standardní tiskárně. [21]

Naopak nevýhodami čárových kódů jsou možnost čtení pouze ze vzdálenosti, která umožňuje přímé snímání daného kódu, problematika automatizace ve spolupráci s čárovými kódy (čárové kódy musí být umístěny ideálně vždy na stejném místě, kde je stroj očekává) a dále jejich omezená datová kapacita. [23]

2.7.1 1D kódy

Lineární kódy jsou tvořeny sekvencí čar a mezer s definovanou šířkou, na základě které je následně možné jejich dekodování.



Obrázek 2.9: Kód 3/9 se zapsanými daty „Technická univerzita v Liberci“

Z hlediska využití v automobilovém průmyslu je vhodné věnovat pozornost zejména lineárnímu kódu 3/9, v literatuře zmiňovaném pod označením Code 39.

Kód 3/9 umožňuje kódování 43 ASCII znaků – číslice (0–9), velká písmena (A–Z), mezeru a speciální znaky (* – \$ % . / +). Kódování znaku probíhá pomocí devíti prvků (mezer a svislých čar), z nichž jsou vždy 3 široké a 6 úzkých. Kódované slovo je vždy ohraničeno na začátku a na konci speciálním znakem „*“, samotné znaky jsou odděleny úzkou mezerou. Kód neobsahuje žádné kontrolní znaky, samotné kódování probíhá prostřednictvím kódovací tabulky, která je obecně známá, což umožňuje instalaci kódování v podobě fontu téměř do jakéhokoliv zařízení.

Nevýhodou kódu 3/9 je jeho poměrně malá hustota, viz obr. 2.9, což v případě kódování dlouhého slova s sebou přináší i poměrně dlouhý čárový kód. [29]

2.7.2 2D kódy

Dvourozměrné kódy jsou narozdíl od lineárních tvořeny již kontrastními poli s definovanou velikostí.



Obrázek 2.10: QR kód se zapsanými daty „Technická univerzita v Liberci“

Příkladem dvourozměrného kódu je QR kód, kterému dal vzniknout automobilový průmysl na začátku 90. let 20. století. V dnešní době se těší velké oblibě napříč všemi odvětvími, za jeho vznikem stála firma Denso Wave. Důvodem, proč tento kód vznikl byla nízká kapacita lineárních čárových kódů.

Základem kódu je geometrická vrstva, v níž je definována tichá zóna (většinou bílá barva) a k ní kontrastní barva (např. černá barva). Rozměry jednotlivých datových buněk, před samotným čtením, jsou určeny na základě tzv. finders, které vyplňují tři rohy QR kódu a zároveň určují i pozici dat. Další důležitou vrstvou je tzv. informační vrstva, která je reprezentována bytovou zprávou s kontrolními byty.

Velkou výhodou QR kódů je možnost uložení až 3000 bytů a zároveň možnost kódování čínských a japonských znaků, což čárové kódy většinou neumožňují. Pro čtení QR kódů je nutné využití specializovaných aplikací, ty jsou však dnes dostupné téměř pro všechna zařízení. [31]

3 Aplikace RFID

Reálné implementace a aplikace RFID jsou využívány společnostmi napříč všemi segmenty podnikání, některé společnosti na RFID postavili celou automatizaci z pohledu příjmu resp. vyskladnění a interní manipulace se zbožím. [6]

V následujících podkapitolách jsou krátce shrnuty a popsány způsoby využití RFID některými společnostmi z automobilového průmyslu, z hlediska dodavatelského řetězce a interní logistiky.

3.1 BMW AG

Společnost BMW využívá RFID systémy v rámci celého logistického a částečně i výrobního procesu. Jak uvádí [37], s technologií RFID se díly vstupující do závody setkají ihned po průjezdu branou do závodu, řidič obdrží tzv. pager a s ním i RFID štítek. V systému pro řízení nakládek a vykládek závodu je tento štítek přiřazen k danému vozidlu, následně jakmile je volné vykládkové místo, je řidič vyzván pagerem k nájezdu vozidlem na dané místo. Systém sleduje odjezd vozidla a uvolnění vykládkového místa, s pomocí přítomnosti přiděleného RFID štítku.

Díly dále postupují k příjmu zboží, který je prováděn za pomoci RFID bran a veškeré zboží označené jednotlivými štítky je automaticky zapřijmováno, za pomoci odpovídajících identifikátorů, které byly umístěny již u dodavatele.

V pobočkách BMW jsou samozřejmostí automatické zakladače, které jsou řízeny pomocí RFID a mapování v paměti daného zakladače a ověřování přítomnosti jednotlivých palet pomocí RFID, což uvádí [19].

Poměrně unikátní implementací do samotné výroby vozů je potom spárování RFID štítku s konkrétní konfigurací vozu koncového zákazníka, na základě VIN vozidla a následné umístění štítku na budoucí karoserii vozu na začátku výrobní linky, takový systém je využíván v německém Regensburgu. [27] Celá implementace spočívá ve využití tzv. RTLS (Real Time Location System) spolupracujícího s TAS (Tool Assistance System), RTLS je schopno sledovat pozici daného vozu ve výrobní lince s přesností na 15 cm. Na základě pozice vozu a již využitých nástrojů jsou řízeny různé transportéry, na kterých je karoserie zavěšena. V souvislosti s posunem vyráběného vozidla TAS provádí instruktáž operátorů, tak aby došlo k montáži všech konfigurovaných komponent správnými postupy. Tímto procesem a podpůrnými prostředky je zajištěna i očekávaná kvalita výroby. [25]

Po dokončení výrobního procesu je RFID štítek z vozidla odstraněn a může být znovu využit při další výrobě.

3.2 Škoda Auto, a. s.

Stejně jako BMW v předcházející podkapitole, používá i Škoda Auto ve svých závodech technologii RFID a v rámci modernizace svých závodů ji dále integruje, zejména do logistických procesů. [28]

V této podkapitole bude popsána technologie zavedená, během roku 2018, ve výrobním závodě automobilky v Kvasinách. Skladovací kapacita závodu je cca 45000 přepravních obalů typu KLT. Zásobování výrobních linek ze skladovacích prostor je prováděno způsobem JIS (just-in-sequence), tj. díly jsou dodány na linku právě v tom pořadí, jak jsou uspořádána vyráběná vozidla, v předem určených konfiguracích.

Automobilka pro interní logistiku využívá autonomních přepravníků doplněných o automatickou vyskladňovací techniku a dva pracovníky, kteří proces vyskladnění kontrolují. Po vyskladnění a předání zboží na přepravník dochází k načtení RFID štítků umístěných na dílech, čímž dochází k párování dílů k probíhající výrobě. Na základě údajů ze štítků a údajů z výroby, autonomní přepravníky korigují svůj pohyb, cestu a rychlost pohybu tak, aby díly na místo určení dorazily právě ve správnou chvíli, ke správnému rozpracovanému vozidlu.

Ve výrobním závodě ve Vrchlabí, kde se Škoda Auto specializuje na výrobu převodovek do osobních vozidel a není zde taková míra konfigurovatelných dílů vstupujících do výrobního procesu, je naopak využito tzv. RFID bran. Ty umožňují načítání dílů v celých paletách a jejich dodání přepravníky ve velkých počtech najednou. [7]

3.3 Ford Motor Company a TNT Logistics

Automobilová společnost Ford, která byla jednou z nejpokrokovějších již ve 20. století, zavedla RFID do svého výrobního a logistického procesu v roce 2005. Řešení bylo implementováno ve spolupráci se společností TNT Logistics, která výrobci zajišťuje logistické a skladovací centrum (MSC), spolu se sekvencovanými dodávkami z tohoto centra. [1]

Skladovací centrum je vybaveno RFID čtečkami, anténami a dalšími senzory, prostřednictvím kterých je do výrobního závodu předána informace o konkrétní pozici a skladové dostupnosti jednotlivých komponent.

Veškeré odchozí odvolané komponenty z logistického střediska je také možné sledovat prostřednictvím RFID, do výrobního závodu tedy plynou i informace o materiálu, který je na cestě a bude po následujícím dodání dílů k dispozici. Na automatické procesy RFID systémů tak bylo možné dále navázat i automatický příjem a distribuci materiálu ve výrobním závodě.

Automatizací manipulace s materiálem, jejich vyskladněním, zapřímováním a dalších přesunů materiálu byly značně sníženy náklady na lidskou pracovní sílu a další logistické procesy s tímto spojené. Jak konstatuje, v návaznosti na dříve popsané automatizace [1], byl snížen i počet ztrát a náklady na dohledávání balení v rámci skladovacích prostor.

4 Inventarizace v automotive

Inventarizace, jak ji popisuje [13], je procesem pro zjištění skutečného stavu majetku a závazků v porovnání s účetním stavem. Inventarizace je prováděna vždy ke konkrétnímu datu, ke konci účetního období, zpravidla pak k 31. prosinci.

Inventarizace bude pro účely této práce vnímána a popisována více z pohledu podpůrného prostředku pro efektivní řízení skladových zásob, plánování výroby a případné korekci dat udržovaných ve WMS, ERP nebo jiném informačním systému využívaném podnikem. Svým způsobem popsáný proces odpovídá tzv. cyklické (průběžné) inventuře.

Průběžné inventury jsou prováděny během jakéhokoliv výrobního dne v rámci celého roku, zpravidla u vybraného zboží (dílů) a nepodléhají nutně auditování, jako je tomu u dříve zmíněné inventarizace. Výběr inventarizovaných dílů provádí buď systém, nebo je díl vyhodnocen jako rizikový a mohl by při nedostatku například narušit plynulost výrobního procesu. [12]

Cyklické inventury jsou prováděny fyzickým počítáním, případně u materiálu, jehož počítání by bylo časově nevhodné a neefektivní, například při jejich vysokém počtu v balení, je inventura provedena náhradními metodami (vážení, technický výpočet).

Na základě fyzicky zjištěných počtů jednotlivých dílů je provedena kontrola analytikem logistického oddělení, případně kontrolorem finančního oddělení a v případě opakujících se rozdílů u konkrétního dílu je upraven skutečný počet dílů ve skladové zásobě.

V souvislosti se zjištěnou chybou dispozic materiálů následuje pokus o dohledání chybějícího počtu dílů v jiných skladových pozicích, nebo je dodavateli reklamováno manko v dodaných dílech, či vrácen přebývajících počet dodaných dílů.

5 Návrh inventarizačního systému

Před začátkem celého návrhu inventarizačního systému je potřeba zvolit nejvhodnější technologii. Ta bude vybrána v kontextu s informacemi získanými rešerší tématu RFID a jeho využití v automotive, i s ohledem na finanční možnosti.

Inventarizační systém by měl umožnit sledovat počet aktuálně vložených dílů v horizontálním skladu, tzv. supermarketu na konkrétní pozici. Daná pozice může vždy obsahovat pouze konkrétní typ dílů, označený příslušným číslem dílu. Pokud bude do dané skladovací pozice vložen nesprávný typ dílu, nebude do skladové zásoby díl započítán, případně v závislosti na implementaci, může systém upozornit na přítomnost nesprávného dílu.

Systém tedy při doplnění dílů ze strany, určené pro doplňování dílů, přičte příslušný počet dílů, naopak při vyskladňování, ze strany pro odběr dílů, dojde k odečtení daného počtu dílů, čímž dojde k udržení aktuální skladové zásoby dílů na dané skladové pozici, dodržení směru doplňování zboží bude pro funkčnost řešení klíčové.

5.1 Výběr hardwarových komponent

V následujících podkapitolách bude zvoleno hardwarové vybavení, které bude využito pro realizaci navrhované aplikace. Na základě vybraných prostředků bude zvoleno vhodné softwarové řešení tak, aby bylo možné dosáhnout požadovaného výsledku.

5.1.1 Tagy

Pro návrh a testování zadané aplikace byly, po zvážení všech dříve zmíněných parametrů a rozdílů mezi jednotlivými typy štítků, zvoleny nejobyčejnější a zároveň nej dostupnější, tj. pasivní UHF Read-write štítky na papírovém podkladu.

Rozhodujícím faktorem pro volbu tohoto typu štítků je zejména jejich cena, která se pohybuje od 0,08 do 0,25 USD. Dále pro testování nebude využito napojení na tiskárnu labelů, tj. pro tyto účely bude Read-write verze standardních štítků dostačovat.

Štítek bude umístěn na plastovém podkladu, na samotném inventarizovaném balení, tj. mezi čtečkou a samotným štítkem. Není očekáváno žádné rušení, což je důvodem, že není třeba volit speciální štítky určené pro kovové podklady.

5.1.2 Čtecí zařízení

V následujících podkapitolách budou shrnuty poznatky o dvou různých RFID čtečkách, dvou různých výrobců, které jsou k dispozici pro návrh a realizaci inventarizační aplikace.

Alien ALR-8800

Prvním testovaným zařízením je reader společnosti Alien Technology. Jedná se o zařízení se čtyřmi SMA konektory a zároveň portem RJ-45 pro komunikaci po síti. Zařízení je na poměry informačních technologií relativně staré, v době psaní této práce přibližně 10 let, nicméně výrobce s tímto konkrétním modelem dosáhl skvělých výsledků u tureckého výrobce oblečení, kde byl schopen přečíst až 500 štítků současně a evidovat expedované kusy zboží. [5]



Obrázek 5.1: Testovaná čtečka Alien ALR-8800

Pro testovací účely došlo k zapojení zařízení se dvěma anténami Alien ALR-8810-AC, které jsou připojeny pomocí koaxiálního kabelu přímo do čtecího zařízení. Dále byl připojen síťový router, pomocí kterého je možné se zařízením komunikovat a provádět potřebná nastavení.

Komunikace se zařízením probíhá pomocí nástroje Telnet, prostřednictvím kterého je následně možné upravovat nastavení v konfiguračním souboru uloženém na čtečce.

Přihlášení ke čtečce provedeme prostřednictvím příkazu *telnet* v příkazové řádce v kombinaci s přidělenou IP adresou a portem 23, na kterém zařízení odpovídá, viz obr. 5.2.

Dalším krokem bylo nastavení anténní sekvence, tj. sekvence, ve které periodicky čtecí zařízení přepíná mezi jednotlivými anténami a čte odpovídající štítky. V zá-

```

Filips-MacBook-Pro:~ FilipKrat$ telnet 192.168.1.103 23
Trying 192.168.1.103...
Connected to 192.168.1.103.
Escape character is '^J'.
*****
*
* Alien Technology : RFID Reader
*
*****

Username>alien
alien

Password>password
*****

```

Obrázek 5.2: Přihlášení do čtečky Alien ALR-8800, prostřednictvím nástroje Telnet

kladním nastavení je sekvence nastavena na všechny čtyři anténní porty, pro účely testování byly využity pouze dvě antény, sekvence byla tedy přenastavena na 0, 1, viz obr. 5.3.

```

Alien>get antennasequence
get antennasequence
AntennaSequence = 0 1 2 3

Alien>set antennasequence = 0, 1
set antennasequence = 0, 1
AntennaSequence = 0 1

```

Obrázek 5.3: Nastavení sekvence čtení z připojených antén v Alien ALR-8800

V neposlední řadě byl nastaven formát výpisu načtených štítků, v testovacím zařízení byl již nastaven formát *Text*. Ten je pro testování a čtení člověkem nejvhodnější, zejména z důvodu čtení časových dat, která jsou ve standardním formátu, nikoliv ve formátu *Timestamp*.

```

Alien>get iolistformat
get iolistformat
IOListFormat = Text

```

Obrázek 5.4: Nastavení formátu výpisu načtených štítků v Alien ALR-8800

Komplikací, která se vyskytuje při manuálním čtení čtecího zařízení je krátký čas, po který zůstávají data uložena v paměti, v tzv. Taglistu. V základním nastavení je čas určen na 5 sekund, po uplynutí tohoto času je zaznamenaný výskyt štítku smazán. Pro testovací účely došlo k vypnutí této funkcionality, nastavením hodnoty -1, viz obr. 5.5, což umožní čtení štítků po neomezenou dobu, smazání je provedeno po výpisu načtených štítků. V obr. 5.5 je zároveň možné sledovat, jak se čtecí zařízení chová v případě zadání neznámého či chybného příkazu.

```

Alien>get persisttime
get persisttime
PersistTime = 5

Alien>set persisttime -1
set persisttime -1
Error 1: Command not understood.

Alien>set persisttime = -1
set persisttime = -1
PersistTime = -1

```

Obrázek 5.5: Nastavení času smazání štítků z paměti čtečky Alien ALR-8800

Posledním krokem při testování zařízení je výpis načtených štítků, viz obr. 5.6. Zde je možné vypočítat u jednotlivých štítků jejich ID, čas prvního načtení, čas posledního načtení, před výpisem a počet načtení, dále je zaznamenána i IP adresa čtečky, které hodnotu zaznamenalo. Zmiňovaný *Taglist* funguje na základě fronty, tj. po výpisu ve chronologickém pořadí, dochází ke smazání dat z paměti. Zároveň je nutné zmínit, že počty načtení a časy prvního a posledního načtení jsou uvedeny pouze z doby mezi jednotlivými výpisy, nikoliv po celou historii.

```

Alien>get taglist
get taglist
start_tag=ABBA123457186000000000148_time=09:15:10.262_ant=0_last=09:19:00.516_count=924_ip=192.168.1.103_stop
start_tag=ABBA123457186000000000149_time=09:15:10.268_ant=0_last=09:19:00.529_count=975_ip=192.168.1.103_stop

```

Obrázek 5.6: Výpis načtených štítků čtečkou Alien ALR-8800

Hlavní nevýhodou zařízení je jeho stáří a z toho vyplývající nutnost připojení minimálně dvou antén. Dvě antény je nutné připojit z důvodu střídání funkcí antén při čtení štítků, kdy dochází, například při čtení anténou č. 1 k vysílání elektromagnetických vln anténou č. 2 a první anténa čeká pouze na odpověď štítku, při čtení anténou č. 2 je situace přesně opačná.

CaenRFID Quattro R4321P

Dalším testovaným RFID readerem je zařízení od společnosti CaenRFID. Jedná se, stejně jako v prvním případě, o zařízení se čtyřmi anténními porty a portem RJ-45 pro síťovou komunikaci.

Reader Quattro je naprostou novinkou a společnost jej poprvé představila v květnu roku 2019. Z toho je tedy možné usuzovat poměrně malou komunitní aktivitu okolo zařízení a zároveň i celé společnosti, jelikož první certifikace na poli RFID získala až v roce 2012. [30]



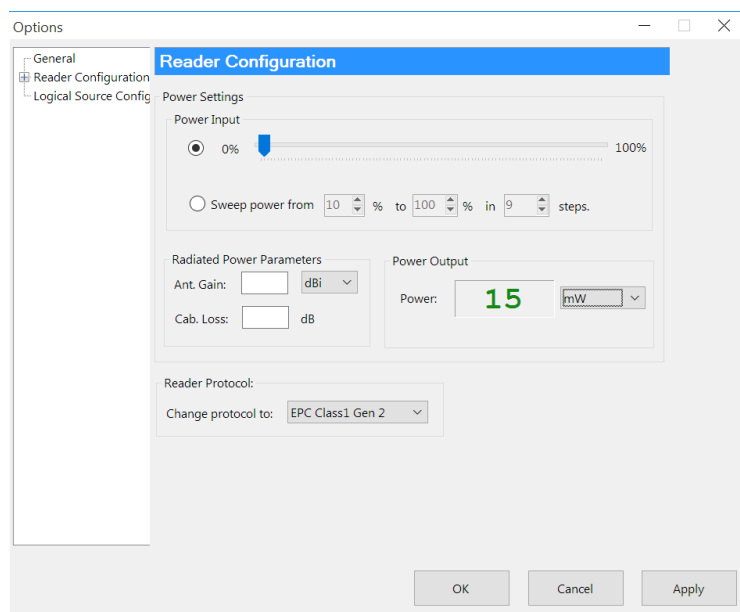
Obrázek 5.7: Testovaná čtečka CaenRFID Quattro R4321P

Při prvotním testování zařízení je znát rozdíl několika let vývoje této technologie, oproti čtečce výrobce Alien Technology. Zařízení bylo připojeno, stejně jako v prvním případě, do sítě prostřednictvím routeru v režimu AP. Základní nastavení funkcionalit zařízení je možné prostřednictvím jednoduché webové aplikace, kterou poskytne zařízení ihned po svém zapnutí, na přidělené IP adrese. Podrobnější nastavení lze provádět například prostřednictvím desktopové aplikace CaenRFID Easy Controller, která je k dispozici na webových stránkách výrobce nebo přímo přes ssh z příkazové řádky, díky přítomnosti instalace Linuxu v zařízení.

Při testování došlo k nastavení a otestování vhodné čtecí vzdálenosti. V aplikaci výrobce pomocí posuvníku *Power Input* byl nastaven výkon 15 mW, což je nejnižší možné nastavení v aplikaci a pro tuto hodnotu je čtecí vzdálenost přibližně 50–75 cm, pro předpokládaný způsob implementace je toto téměř ideální vzdálenost.

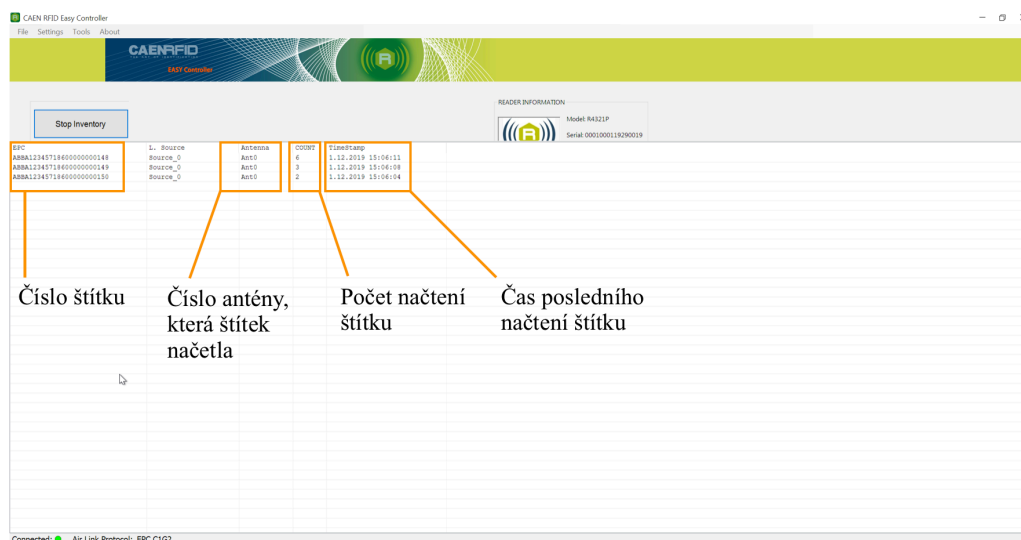
Zásadním rozdílem vůči readeru společnosti Alien Technology je možnost připojení i jedné jediné antény, která zabezpečí vysílání elektromagnetických vln a čtení odpovídajících štítků zároveň.

K zapnutí čtení štítků dochází po stisku tlačítka *Start Inventory* přímo v aplikaci, kdy následně dochází nejprve k mazání dřívějších načtení štítků a následně k zobrazení aktuálního stavu čtečky a propisování jednotlivých načtených štítků v reálném čase, spolu s počtem načtení daného štítku a číslem antény, která štítek načetla. Ukončení čtení je možné opět přímo z aplikace tlačítkem *Stop Inventory*, viz obr. 5.9. Již z tohoto krátkého otestování je zřejmé, že využití novější čtečky je uživatelsky mnohem přívětivější a z hlediska práce čtečky s anténami vhodnější.



Obrázek 5.8: Konfigurace parametrů čtečky CaenRFID Quattro R4321P

Nespornou výhodou popisovaného zařízení je také možnost nahrání kódu v programovacím jazyce Java, který je nutné přeložit v dodávaném virtuálním stroji. Vložení zkompilevaného programu do zařízení, které kód začne provádět po zapnutí, je možné prostřednictvím webového rozhraní. Po nastavení čtečky do režimu *Custom* a vložení souboru s programem lze nastavit vstupní parametry programu. Tento přístup by mohl umožnit odesílání načtených dat například na server aplikace, která by s nimi dále mohla pracovat.



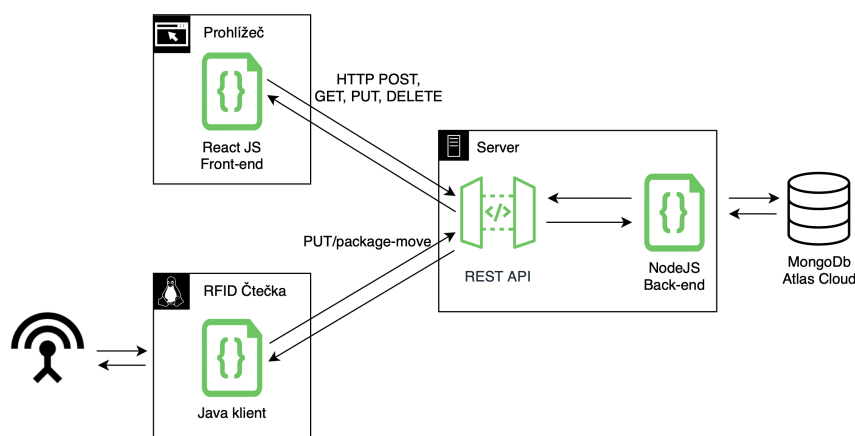
Obrázek 5.9: Výpis načtených štítků v aplikaci CaenRFID Easy Controller

Po zvážení výhod a nevýhod, které jednotlivé čtečky přináší, bude pro využití v navrhované inventární aplikaci využita čtečka výrobce CaenRFID, s modelovým označením Quattro R4321P.

5.2 Návrh aplikace

5.2.1 Popis využitých technologií

V této podkapitole budou popsány jednotlivé technologie a principy, které jsou využity v navrhované inventární aplikaci.



Obrázek 5.10: Schéma komponent navrhované inventární aplikace

REST API

REST API v navrhované aplikaci umožňuje práci s daty udržovanými v databázi, nad kterou pracuje, prostřednictvím externího přístupu, tj. z vytvořených klientů nebo jakéhokoli později vytvořeného spolupracujícího softwaru (např. napojení inventárního systému).

Prostřednictvím API je přístup autorizován přihlášením a přístupovými údaji (`/login`), následně je klientu předán autorizační token, viz podkapitola 5.2.1. Po autorizaci jsou umožněny veškeré CRUD operace (create – vytvoření, retrieve – čtení, update – aktualizace, delete – mazání) nad objekty typu balení (`/packages`), antény (`/antennas`) a pozice (`/positions`), operace jsou volány prostřednictvím HTTP požadavků POST (vytvoření nového záznamu – create), GET (získání specifikovaných záznamů – retrieve), PUT (úpravy existujících záznamů – update), DELETE (odstranění specifikovaných záznamů – delete).

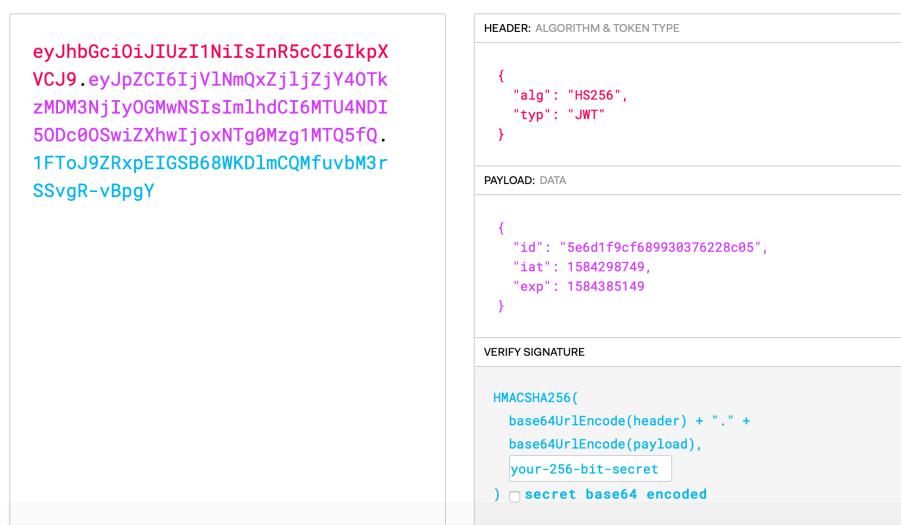
Specifikem v API navrhované aplikace jsou záznamy historie (`/history-logs`), viz podkapitola 5.2.1, s těmito záznamy není možná jakákoliv další manipulace, k jejich vytvoření dochází při změně stavu balení (`/move-package`) a je tedy implementován pouze požadavek GET, jež vrátí záznamy z historie za posledních 24 hodin,

tak aby bylo možné napojení např. dalších analytických nástrojů či provedení prosté kontroly pohybů balení.

JSON Web Token

Aplikace pro autentizaci využívá zabezpečení proti nechtěnému zápisu a čtení prostřednictvím tzv. JSON Web Token, dále jen JWT.

Jak již název napovídá, je využíváno řetězce (tokenu) generovaného aplikací běžící na serveru, který si klient ideálně po přihlášení, uloží. Celý proces autentizace probíhá tak, že uživatel vyplní své údaje, např. uživatelské jméno a heslo, po ověření je v odpovědi na přihlašovací požadavek vrácen právě token.



Obrázek 5.11: Rozdělení jednotlivých částí JSON Web Tokenu, převzato z [33]

Token sestává ze tří částí oddělených tečkou, viz obr. 5.11, na kterém jsou jednotlivé části barevně vyznačeny. V první části je definován kódovací algoritmus a typ tokenu, v další části je zakódované ID uživatele či jakákoliv jiná informace určená k ověření, timestamp vytvoření tokenu a doba platnosti tokenu. V poslední, třetí, části je uložený tajný klíč pro kódování resp. dekódování.

Klientem uložený token je následně při jakékoliv výměně dat se serverovou aplikací využíván k ověření identity uživatele a případně jeho oprávnění pro zápis a čtení či platnosti tokenu. JWT je distribuován v rámci hlavičky JSON souboru přenášeného při komunikaci, v případě realizované aplikace je v hlavičce definovaný klíčovou hodnotou `x-access-token`.

Java Klient

Čtečka, která byla zvolena pro inventarizaci je vybavena systémem Linux, což mj. umožňuje spuštění dalších programů přímo na čtečce. Firma CaenRFID vyrábějící čtečku Quattro zároveň ke svým zařízením poskytuje i knihovnu umožňující práci s HW čtečky.

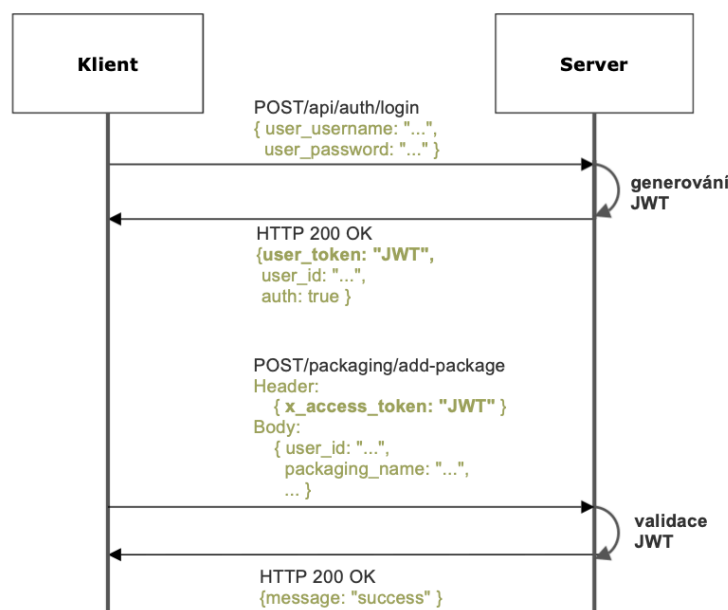
Pro účely aplikace je vytvořen Java program, který po spuštění provede základní nastavení čtečky, tj. výkonu, počtu připojených antén a načte informace o čtečce, na které je spuštěn.

Samotné čtení probíhá v nekonečné smyčce, kdy čekáme na nově přichozí štítky, po načtení dochází k převodu identifikátoru na standardizované EPC, uložení identifikátoru zdrojové antény a dále vyhodnocení, zda je načtení platné. Platnost načtení je určena na základě aktuálního EPC a jeho výskytu v tabulce konkrétního stavu, resp. předcházejícího stavu. V případě výskytu v tabulce předcházejícího stavu, je z této tabulky kód vyňat a je vložen do tabulky stavu aktuální zdrojové antény, to je vyhodnoceno jako platné. V jakémkoliv jiném případě, např. výskytu v následujícím či aktuálním stavu je vyhodnoceno načtení, jako neplatné. V případě, že se kód štítku nenachází v žádném ze stavů, může být načten pouze první anténou, tj. do stavu „Unconfirmed“ a následně je považován za platný.

V případě platnosti načtení dochází k vytvoření PUT požadavku, v jehož těle, ve formátu JSON, jsou uloženy parametry – název antény a číslo štítku. Krok vytvoření a odeslání požadavku byl po provedeném testování paralelizován, pro každý jednotlivý požadavek je vytvořeno nové vlákno a po úspěšném odeslání vlákno zaniká.

React Klient

React je open-source javascriptová knihovna, určena pro tvorbu UI, je výhodná pro využití zejména v případě vizualizace dat, která se často mění. Základem v knihovně jsou tzv. komponenty (**Components**), ze kterých je složeno celé uživatelské prostředí aplikace.



Obrázek 5.12: Schéma komunikace mezi klientem a serverem prostřednictvím REST API, převzato a upraveno z [15]

Klient navrhované aplikace poběží v prohlížeči uživatele a komunikuje se serverovou částí prostřednictvím REST API, tj. každá komponenta je zodpovědná za odesílání příslušných požadavků na rozhraní a data následně zobrazuje uživateli.

Aktualizace dat, tak aby odrážela realitu i přímo ve vizualizaci, je řešena prostřednictvím tzv. intervalu, který spouští metody, jejichž reference je předána konstruktoru objektu `Interval`, spolu s délkou intervalu mezi jednotlivými voláními. Na základě změny dat po uplynutí intervalu je aktualizována i vizualizace v prohlížeči uživatele.

Klient musí splňovat a umožňovat následující funkční požadavky tak, aby bylo naplněno zadání této práce:

1. Vizualizace počtu dílů na jednotlivých pozicích
2. Přidávání nových antén, balení a pozic
3. Prohlížení antén, balení a pozic
4. Odebrání antén a balení
5. Export aktuálních skladových zásob jednotlivých dílů ve skladu

Zmiňované funkcionality budou realizovány prostřednictvím jednotlivých komponent, které jsou popsány v podkapitole 5.2.1.

Hlavní komponenty

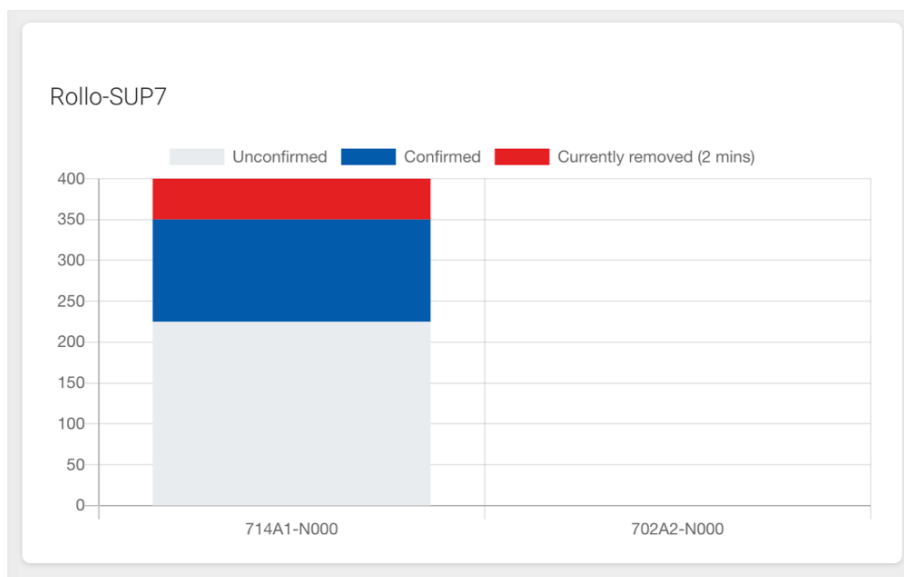
Aplikace se skládá celkově z osmi klíčových komponent, nicméně některé jsou standardní napříč všemi webovými aplikacemi, jiné slouží pouze pro vstup a jsou tak popsány v definici objektů. Specifické tři komponenty pro navrhovanou aplikaci budou popsány dále v této kapitole.

Mezi hlavní komponenty, patří dashboard (**Dashboard**), transakce a exporty (**TransactionsTableList**), nastavení (**SettingsTableList**) a stránky přihlášení (**LoginPage**), registrace (**RegisterPage**), uživatelský profil (**UserProfile**), editace pozice (**Position**), editace balení (**Package**) a editace antény (**Antenna**).

Dashboard

První z popisovaných komponent je tzv. Dashboard, který je koncipován pro zobrazení aktuálních zásob dílů na sledovaných skladových pozicích a základních údajů, jako je počet vyrobených (doplněných) kusů dílu do skladových pozic, za posledních 24 hodin, počet odebraných kusů z pozic, taktéž v časovém horizontu 24 hodin a aktuální průměrná naplněnost všech sledovaných pozic, viz příloha A. Tyto údaje jsou aktualizovány každé dvě minuty, jak bylo již zmíněno v předcházející kapitole.

Pro vizualizaci plnosti skladových pozic je využito knihovny Chart.js, distribuované pod MIT licencí, ze které byl vybrán skládaný sloupcový graf. Jednotlivé bloky v jednotlivých sloupcích grafu reprezentují konkrétní stavy, ve kterých se balení dílů nachází. Šedý blok reprezentuje počet dílů v balení, která byla registrována první anténou na pozici, ale neprošla potvrzující anténou. Blokem modré barvy jsou reprezentovány potvrzené počty dílů, tj. již byly potvrzeny druhou anténou na konkrétní pozici. Červenou barvou jsou zbarveny bloky reprezentující počet dílů v balení, které bylo odebráno za poslední dvě minuty, tj. prošlo přes poslední anténu na dané pozici.



Obrázek 5.13: Oblast s grafem aktuálního rozložení skladových zásob ve sledované pozici

Celý graf je zároveň plně interaktivní, tj. po najetí kurzoru na konkrétní blok se zobrazují počty dílů v konkrétním stavu, je umožněno skrývání jednotlivých stavů tak, aby měl koncový uživatel možnost částečné personalizace přehledu nad daty.

Načtením komponenty uživatelem dojde k jejímu zobrazení bez dat, tj. údaje o doplnění, odebrání dílů a průměrné zaplněnosti pozic jsou nulové, stejně jako graf. Následně dochází k načítání dat prostřednictvím API, popsaného v podkapitole 5.2.1 a dotazování funkcí – `/position`, `/history`, `/package` a `/history/recent`, dojde tedy k načtení veškerých údajů o pozicích a baleních, které jsou rozděleny mezi jednotlivé stavy a stavy jsou poté vizualizovány v grafu, spolu s aktuální historií odebraných kusů, v posledních dvou minutách. Dotazem na funkci s historií je po získání dat proveden výpočet základních údajů o doplňování a odebírání balení. Na závěr je proveden výpočet přes všechny pozice o jejich zaplněnosti.

Transakce a exporty

Komponenta pro zobrazení transakcí a umožnění exportů byla sestavena z tabulky zahrnující výpis všech transakcí za posledních 24 hodin, tj. všech procesů nad daty provedených RFID čtečkami, prostřednictvím rozhraní. Dále jsou obsaženy dva bloky s tlačítky pro export souborů ve formátech JSON, .xlsx a .csv. Uživateli je umožněno exportovat aktuální skladové stavy na sledované pozici, v kombinaci s číslem uskladněného dílu, využití tohoto exportu je popsáno v podkapitole 5.2.2. Dalším možným exportem jsou všechny transakce provedené za 24 hodin, tj. stejná data jako jsou uživateli zobrazena v tabulce komponenty, viz příloha C. Nad těmito daty je možné provádět další analýzy, např. v závislosti na časových údajích, nebo vytvářet další vizuální reporty, například prostřednictvím vizualizačního a analytického nástroje Microsoft Power BI, který je taková provozní data schopen zpracovávat.

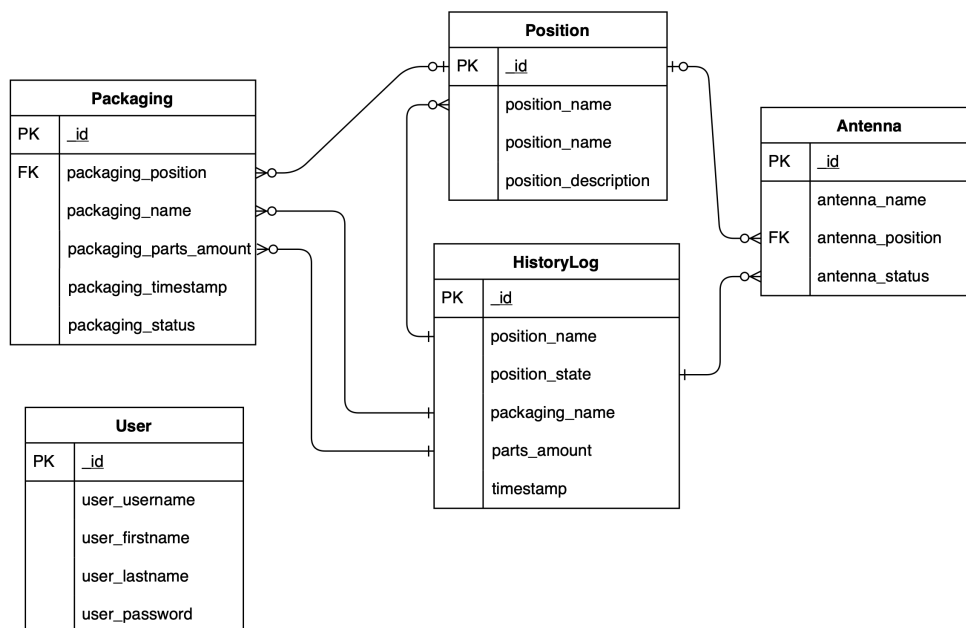
Nastavení

Poslední z popisovaných komponent je Nastavení (`SettingsTableList`), tato komponenta slouží k editaci a prohlížení spravovaných dat o využívaném hardwaru. Zejména se jedná o umožnění editace antén, balení a pozic. Každý jednotlivý prvek je reprezentován jedním řádkem v příslušné tabulce, kde je zároveň tlačítko pro editaci a vymazání záznamu. Ve spodní části, každé ze tří tabulek, je zároveň i tlačítko pro založení nového záznamu.

Po načtení komponenty uživatelem dochází nejprve k zobrazení komponenty bez dat a po úspěšném načtení dat dojde k její aktualizaci. Komponenta volá ve vytvořeném rozhraní funkce – `/position`, `/package` a `/antenna`, dle specifikace API tedy načítá všechny existující záznamy daných objektů.

Node.js Backend

Backend, resp. serverová část navrhované aplikace je realizována v Node.js, s využitím frameworku Express, který usnadňuje implementaci některých základních funkcionalit. Již názvy využitých prostředků naznačují, že základem, na kterém jsou vybudovány, je programovací jazyk JavaScript.



Obrázek 5.14: Návrh struktury databáze

Pro uložení spravovaných dat je realizováno napojení na NoSQL databázi MongoDB, prostřednictvím knihovny Mongoose. Z hlediska samotné aplikace je dále nutné specifikovat datovou strukturu objektů, které budou databází spravovány. Ke každému takto popsanému objektu následně náleží i tzv. controller, který umožňuje volání jednotlivých operací nad databází, validaci dat a zároveň vyvedení funkcí do API, které je dotazováno samotnými klienty.

Seznam objektů

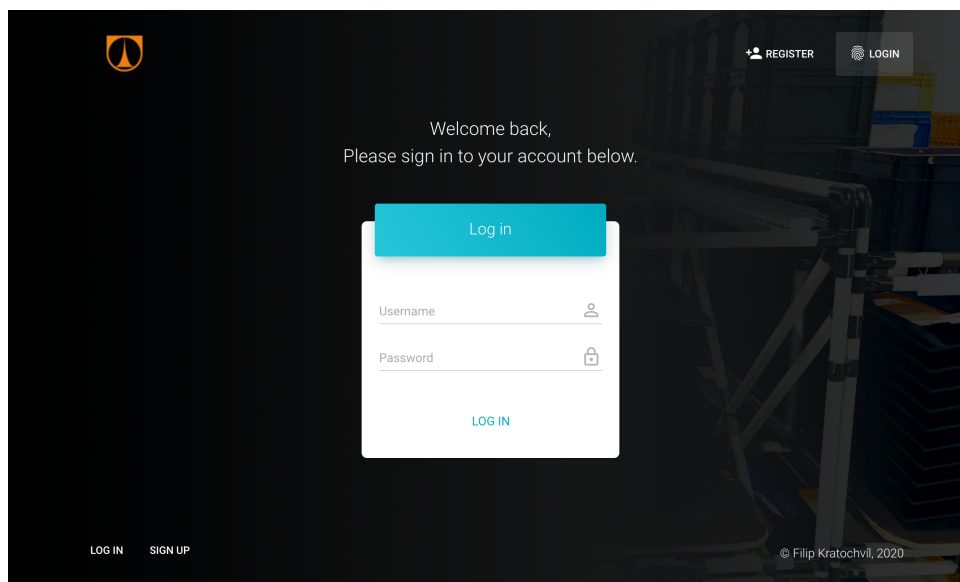
- Uživatel – je umožněno, vytvořit nového uživatele, prohlížet, editovat spravovaná data a autentizovat uživatele
- Balení – je umožněno provádět veškeré CRUD operace
- Pozice – je umožněno provádět veškeré CRUD operace
- Anténa – je umožněno provádět veškeré CRUD operace
- Záznam historie – je umožněno pouze čtení záznamů, vytváření je automatické

Popis objektů aplikace

V této podkapitole budou detailně popsány jednotlivé komponenty, včetně udržovaných parametrů.

Uživatel

Objekt uživatele umožňuje přihlášení do aplikace, jeho autentizaci a následná práva k zápisu do databáze, resp. odesílání požadavků na REST API. Autentizace uživatele je řešena prostřednictvím JWT, viz podkapitola 5.2.1.



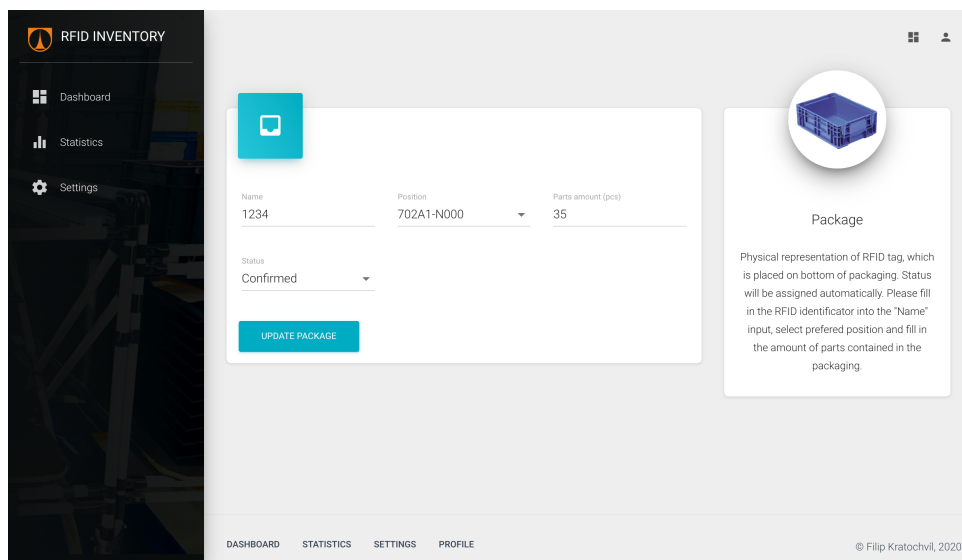
Obrázek 5.15: Obrazovka pro přihlášení uživatele, prostřednictvím React klienta

K uživateli jsou spravována následující data – jméno (`user_firstname`), příjmení (`user_lastname`), uživatelské jméno (`user_username`) a heslo (`user_password`), dále je každému uživateli po registraci přiřazeno ID, na základě kterého s ním dále pracuje celá aplikace.

Balení

Objekt balení je reprezentací přiřazeného reálného RFID štítku, tj. štítek je fyzicky umístěn na balení obsahujícím určitý počet dílů, které chceme inventarizovat. Zároveň je dané pozorované balení přiřazeno ke konkrétní pozici na horizontálním skladu tak, aby nedocházelo k chybné inventarizaci např. v případě, že jsou dvě pozice vedle sebe vybaveny technologií RFID a štítek registrují obě antény umístěné v těsné blízkosti.

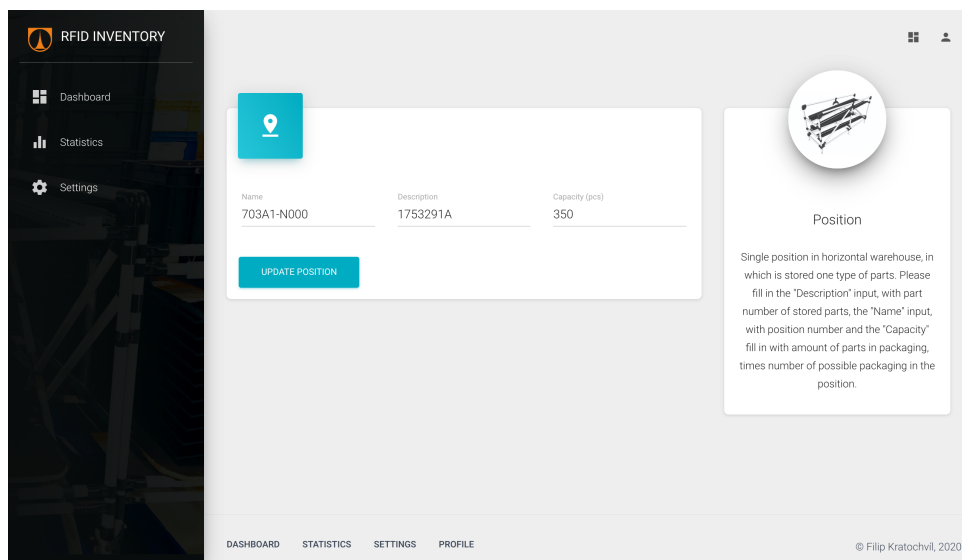
O balení jsou spravovány následující informace – jméno (`packaging_name`), toto je identifikátor uložený v RFID štítku, který je možné RFID čtečkou snímat, dále pozice (`packaging_position`), jedná se o ID přiřazené pozice, počet dílů (`packaging_parts_amount`), počet dílů uložených v balení, čas poslední změny (`packaging_timestamp`) a status (`packaging_status`), což je stav ve kterém se balení nachází. Jsou definovány 3 resp. 4 možné stavy, které jsou přiřazovány na základě přečtení konkrétní anténou. Možné stavy, ve kterých se může balení nacházet jsou nepotvrzené (`Unconfirmed`), potvrzené (`Confirmed`), odebrané (`Removed`), a nedostupné (`N/A`). Po vytvoření balení v aplikaci je přiřazeno ID, pomocí kterého se dále v aplikaci s daným objektem pracuje.



Obrázek 5.16: Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat balení, prostřednictvím React klienta

Pozice

Objekt pozice je určen pro aplikační přiřazení antén a balení na konkrétní místo v horizontálním skladu, stejně jako ve standardním, již používaném, označení. V případě nutnosti je možné požadované díly dohledat a zároveň nedochází při inventarizaci k nežádoucím chybám, např. přiřazování dílů do nesprávných pozic apod.



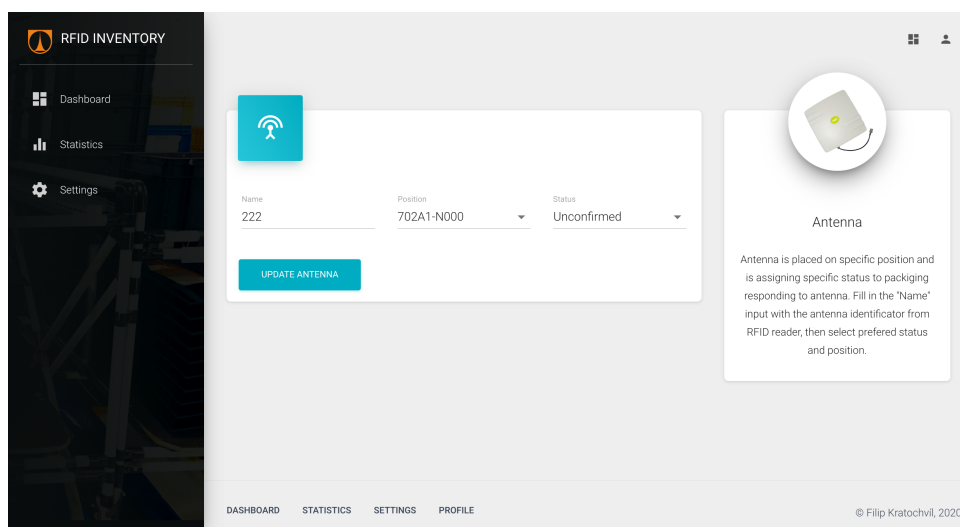
Obrázek 5.17: Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat pozice, prostřednictvím React klienta

V objektu jsou udržovány následující informace – jméno (**position_name**), jedná se o ustálené kódové označení v rámci horizontální skladu, popis

(`position_description`), do popisu je přiřazeno označení dílu, který je v dané pozici skladován, aby bylo umožněno napojení na další systémy výrobního závodu. Kapacita (`position_capacity`) určuje počet dílů, resp. balení, která je možné na pozici umístit. Po vytvoření pozice je stejně jako u ostatních objektů přiřazeno ID, se kterým dále aplikace pracuje.

Anténa

Objekt antény slouží zejména ke správnému zařazení balení do pozice, resp. jeho ověření, že je vkládáno do správné pozice a přiřazení příslušného stavu, podle umístění v dané pozici, viz podkapitola 5.2.1.



Obrázek 5.18: Obrazovka umožňující vytvoření a editaci dat antény, prostřednictvím React klienta

Spravované parametry antény jsou následující – jméno (`antenna_name`), které je v podobě číselné reprezentace antény ze čtečky v kombinaci se sériovým číslem čtečky, pozice (`antenna_position`) v podobě ID pozice, na které se anténa nachází a status (`antenna_status`), který má anténa, načtením, k balení přiřazovat.

Záznam historie

Objekty záznamů historie slouží v aplikaci k ukládání veškerých proběhlých přesunů materiálů, resp. balení. Nad těmito záznamy následně probíhá vyhodnocování statistik za posledních 24 hodin, viz podkapitola 5.2.1. Záznam historie vzniká po zavolání funkce `package/move-package`. Data jsou následně uložena do databáze v plain textu, bez jakýchkoliv vazeb na ostatní data, tak aby bylo možné sledovat přesuny jednotlivých čísel dílu např. i po změně parametrů dané pozice, balení apod.

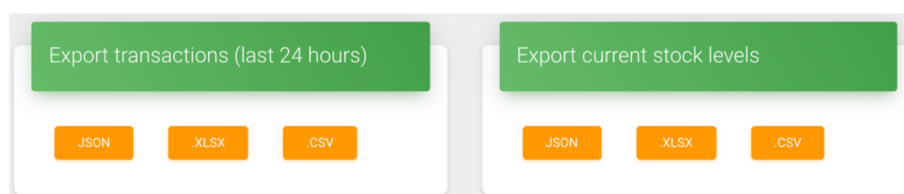
Spravovanými parametry aplikací je název pozice (`position_name`), číslo dílů v balení (`package_name`), stav do kterého bylo balení přesunuto (`position_state`), počet dílů (`parts_amount`) a čas vytvoření záznamu (`timestamp`).

5.2.2 Napojení na inventární systém

Inventárními systémy, jak je nastíněno již v kapitole 4, jsou myšleny WMS nebo ERP, v závislosti na konkrétním podniku. V podniku, který je pro tuto práci relevantní a v němž proběhlo testování inventární aplikace, je pro účely udržování skladových zásob využíván ERP systém SAP. Realizace napojení i ze strany ERP je problematická z hlediska interních bezpečnostních restrikcí podniků, napojení bylo tedy možné přizpůsobit pouze ze strany navrhované aplikace.

Pro účely napojení jsou navrženy dva možné způsoby – manuální napojení a vytvoření nové transakce v ERP.

Manuálním napojením je myšleno, že z inventární aplikace je možné exportovat aktuální skladové zásoby konkrétních dílů ve třech možných formátech (JSON, .xlsx, .csv), konkrétní formát zvolí přímo uživatel na základě možností systému v podniku, viz obr. 5.19. Exportovaný soubor je následně možné nahrát do systému, který na základě dat v souboru upraví udržované stavy zásob konkrétních dílů, jež jsou k hodnotám v souboru párovány prostřednictvím čísel dílů v systému. Tento proces je přímo v systému SAP nazýván jako tzv. mass change (hromadná úprava) a akceptuje např. formát .xlsx.



Obrázek 5.19: Oblast pro export záznamů historie a skladových zásob

Vytvořením samostatné nové transakce v ERP určené pouze k tomuto účelu, je myšleno připojení přímo na REST API navržené aplikace požadavkem GET na balení (/packages). Dotaz vrátí veškerá balení udržovaná v aplikaci, systém tedy musí následně vytrždit veškerá balení ve stavu potvrzeno a na základě čísel dílů v těchto balení nasčítá požadované stavy skladových zásob. Takto nasčítané stavy je možné následně upravit i přímo v databázi ERP nebo WMS systému. Je však nutné zmínit, že řešení napojením přímo na API aplikace je konkrétně pro systém SAP poměrně nákladnou záležitostí a s jakoukoliv úpravou rozhraní aplikace bude nutná i úprava této transakce.

5.3 Testování aplikace

Testování navržené aplikace proběhlo v libereckém podniku vyrábějícím panoramatická střešní okna pro automobilový průmysl, pro účely testování byla zvolena volná pozice na horizontálním skladu jedné z výrobních linek.



Obrázek 5.20: Umístění balení a antény v testovací pozici horizontálního skladu

Pozice se nachází 30 cm nad zemí s 5 procentním sklonem směrem k výrobní lince, tímto směrem probíhá i zásobování ze standardního vertikálního skladu nebo z linek, v případě skladování mezivýrobních podsestav.

Horizontální sklad je realizován z komponent firmy Lean Technology CZ, s.r.o., která zároveň umožňuje poměrně intuitivní návrh regálů v návrhové aplikaci SketchUp, pomocí které byly i nákresy přiložené v následujících podkapitolách vytvořeny.

5.3.1 Nastavení aplikace

Pro spuštění webové aplikace je využita platforma Heroku, která umožňuje nahrání kódu aplikace, stejně jako například do verzovacího repozitáře Git. Pro testování byl tedy založen nový repozitář, následně byly nahrány potřebné skripty a platforma se postarala o sestavení a spuštění aplikace.

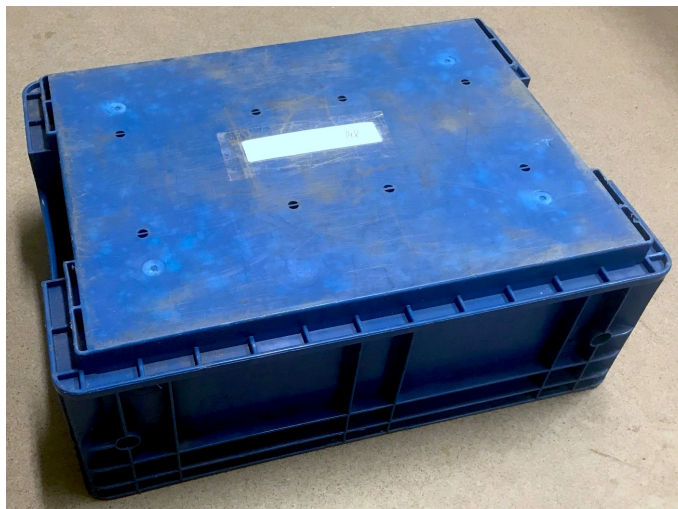
Pro účely testování musela být do databáze nahrána data související s využívanými zdroji na fyzické úrovni. Nejprve bylo nutné založení sledované pozice, které bylo přiřazeno číslo, dle skutečnosti, „714A1-N000“ a na něj navázáno smyšlené číslo dílu „1752345A“.

Na nově vytvořenou pozici byly dále navázány jednotlivé antény, tj. „ant0“, „ant1“ a „ant2“, jejichž jména byla ještě doplněna o sériové číslo odpovídající RFID čtečky a došlo k přiřazení příslušných stavů „Unconfirmed“, „Confirmed“ a „Removed“.

V poslední fázi nastavování došlo k vytvoření sledovaných balení, tj. k balení byl přiřazen počet dílů v balení, odpovídající číslo RFID štítku a pozice, do které se očekává vstup daného balení. Následně byl do čtečky nahrán zkompilevaný kód Java klientu, popsany v kapitole 5.2.1, prostřednictvím webového rozhraní dodávaného výrobcem a zároveň je automaticky nastaveno jeho spuštění po startu systému ve čtečce.

5.3.2 Umístění štítku

Pro potřeby testování bylo zvoleno balení typu RL-KLT 4147 s rozměry $40 \times 30 \times 14,7$ cm, vyrobeného z termoplastu (polypropylen) [34], což zajistilo, že nedojde k rušení signálu materiálem, na kterém je štítek umístěn.

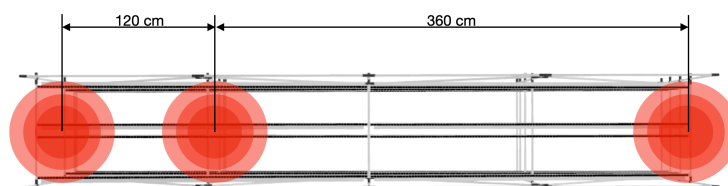


Obrázek 5.21: Umístění RFID štítku na RL-KLT 4147, během testování

Štítek byl umístěn na střed dna balení z vnější strany a dále přelepen transparentní lepící páskou, viz obr. 5.21. Vhodné umístění štítku zajistilo přímý prostup signálu ke štítku skrz konstrukci regálu. Pro zlepšení spolehlivosti a úspěšnosti doručení odpovědí štítku, na daném balení, by bylo ještě vhodné stejně zakódované štítky umístit například na strany dna, případně na samotné boky balení. Umístěním více štítků by docházelo k vícenásobnému načtení daného balení, toto je ošetřeno přímo v middlewaru nahraném ve čtečce a správná funkcionalita by zůstala zachována.

5.3.3 Umístění antén

Horizontální skladová pozice je tvořena celkem čtyřmi částmi po 120 cm, tj. pozice je 480 cm dlouhá a 60 cm široká. Jednotlivé antény byly umístěny a zafixovány prostřednictvím dělicích tyčí daného regálu.



Obrázek 5.22: Náskres rozmístění antén v horizontálním skladu – vrchní pohled

První anténa s přiděleným stavem „Unconfirmed“ je umístěna za první tyčí regálu, tak aby bylo možné ihned snímat vstupující balení. Potvrzení balení nacházejícího se ve sledované pozici probíhalo anténou s přiděleným stavem „Confirmed“ za druhou dělicí tyčí, ve vzdálenosti 120 cm od začátku pozice. Vzdálenost byla zvolena tak, aby se nepřekrývaly oblasti pokryté jednotlivými anténami. V případě překryvu by došlo k načtení oběma anténami najednou a jednotlivě přidělené stavy anténám by postrádaly smysl. Poslední anténa umožňující vyskladnění balení měla přidělený stav „Removed“ a byla umístěna před poslední dělicí tyčí pozice, tj. ve vzdálenosti cca 460 cm od počátku.

Umístění jednotlivých antén je demonstrováno v obr. 5.22.

5.3.4 Problémy při testování

Při testování byla zjištěna nedostatečná rychlost načítání štítků a odesílání požadavků na aplikační server. V původním návrhu klienta čtečky bylo odesílání požadavků a načítání štítků zavedeno do hlavního aplikačního vlákna, což způsobilo zmíněné zpoždění, nebo následující štítek nebyl vůbec zaznamenán.

V tab. 5.1 jsou uvedeny časy mezi načtením a odesláním požadavku a zároveň, případně zda byl daný box nacházející se na sledované pozici v daném stavu načten. Z tabulky vyplývá, že se nezdařilo zaznamenávat až pětinu načítaných štítků.

Pořadí pokusu	Načteno A / N	Číslo štítku	Stav	Čas do dalšího možného čtení [ms]
1.	A	ca20170902000000000000 3006	Unconfirmed	11913
2.	N	ca20170902000000000000 3006	Confirmed	-
3.	A	ca20170902000000000000 3004	Unconfirmed	867
4.	A	ca20170902000000000000 3004	Confirmed	915
5.	A	ca20170902000000000000 3006	Removed	117
6.	A	ca20170902000000000000 3004	Removed	888
7.	A	ca20170902000000000000 3008	Unconfirmed	843
8.	A	ca20170902000000000000 3008	Confirmed	870
9.	A	ca20170902000000000000 3007	Unconfirmed	823
10.	N	ca20170902000000000000 3008	Removed	-
11.	A	ca20170902000000000000 3005	Unconfirmed	833
12.	A	ca20170902000000000000 3007	Confirmed	828
13.	A	ca20170902000000000000 3005	Confirmed	844
14.	N	ca20170902000000000000 3007	Removed	-
15.	A	ca20170902000000000000 3005	Removed	824

Tabulka 5.1: Úspěšnost a naměřené časy mezi načtením a odesláním požadavku s daty štítku, před optimalizací

5.3.5 Řešení problémů z testování

Jak bylo již nastíněno v předcházející kapitole, zpoždění v odesílání a načítání štítků bylo způsobeno odesíláním požadavků z hlavního aplikačního vlákna a čekáním na odpověď ze serveru, na který byl požadavek odeslán.

Úloha odesílání požadavku byla po identifikaci zpoždění paralelizována pomocí nově vzniklého vlákna, tj. po přijetí údajů čtečky o nově načteném štítku dochází k interní změně stavu štítku a vytvoření nového vlákna, ze kterého dojde k odeslání požadavku na server a následnému čekání na odpověď. Mezitím hlavní vlákno může číst další štítky a měnit jejich stavy v závislosti na reálném pohybu materiálu.

Pořadí pokusu	Načteno A / N	Číslo štítku	Stav	Čas do dalšího možného čtení [ms]
1.	A	ca20170902000000000000 3006	Unconfirmed	121
2.	A	ca20170902000000000000 3006	Confirmed	117
3.	A	ca20170902000000000000 3004	Unconfirmed	163
4.	A	ca20170902000000000000 3004	Confirmed	120
5.	A	ca20170902000000000000 3006	Removed	122
6.	A	ca20170902000000000000 3004	Removed	114
7.	A	ca20170902000000000000 3008	Unconfirmed	247
8.	A	ca20170902000000000000 3008	Confirmed	112
9.	A	ca20170902000000000000 3007	Unconfirmed	111
10.	A	ca20170902000000000000 3008	Removed	115
11.	A	ca20170902000000000000 3005	Unconfirmed	125
12.	A	ca20170902000000000000 3007	Confirmed	115
13.	A	ca20170902000000000000 3005	Confirmed	118
14.	A	ca20170902000000000000 3007	Removed	115
15.	A	ca20170902000000000000 3005	Removed	120

Tabulka 5.2: Úspěšnost a naměřené časy mezi načtením a odesláním požadavku s daty štítku, po optimalizaci

Nové časy načítání a odeslání dat na server jsou uvedeny v tab. 5.2, ze které je patrné, že došlo k načtení 100 % štítků oproti předcházejícím 80 % štítků, při sekvenčním odesílání. Zároveň je další čtení štítků možné již, v průměru, po 129 ms, naproti tomuto byl v prvním testování průměrný čas do dalšího možného čtení 1713 ms.

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo shrnutí informací o technologii RFID v souvislosti s logistikou v automobilovém průmyslu, zjištění výhod a nevýhod technologie a na základě získaných informací, v teoretické části práce, navrhnout aplikaci pro inventarizaci na vybrané pozici horizontálního skladu.

Před samotným návrhem aplikace, tedy softwarové části, došlo k výběru vhodných hardwarových prostředků. Byla vybrána RFID čtečka doplněná o instalaci systému Linux, což následně umožnilo jednodušší napojení na implementovanou aplikaci. Dále byly zhodnoceny výhody a nevýhody jednotlivých typů RFID štítků a byla zvolena nejdostupnější varianta read-write štítků, která k účelu aplikace plně dostačuje.

Samotná inventarizace a ukládání dat bylo realizováno formou webové aplikace, doplněnou o REST API, které zjednodušilo přístup všech komponent. Na REST API je navázán Java klient, který odesílá data ze čtečky a pro vizualizaci dat byl vytvořen klient v React JS. Rozhraní zároveň umožňuje napojení dalších spolupracujících aplikací.

Testováním aplikace v reálném provozu libereckého podniku bylo zjištěno, že je řešení s mírnými úpravami využitelné i v reálném provozu. Zároveň po testování došlo k optimalizaci při odesílání dat na server, paralelizací procesu. Vylepšení přineslo snížení doby nutné pro manipulaci s daty a s tím související zlepšení v počtu načtených štítků, až o 20 %.

Využitím navržené aplikace by mohlo v podniku dojít ke snížení počtu potřebných pracovníků provádějících cyklické inventury, nicméně o úplnou náhradu současného systému by se nejednalo. Z hlediska alternativních přístupů popsanych v diplomové práci by bylo vhodné zvolit kombinaci, tj. kombinovat čárové kódy s RFID tak, aby i při fyzické kontrole dílů bylo možné identifikovat čísla nalezených materiálů.

Aplikaci by bylo dále možné vylepšit o napojení tiskárny RFID štítků, která by umožnila tisk duplicitních štítků a jejich umístění na více míst na konkrétním balení. Toto řešení by umožnilo i využití štítků jednorázově a bylo by možné sledovat tok jednotlivých šarží dílů. Alternativně by mohla být na výrobní linku umístěna RFID čtečka kódující štítky při výstupu balení z linky a současně by mohla modifikovat data na základě výroby v databázi aplikace.

Další možností vylepšení by mohlo být napojení na analytické nástroje, např. MS Power BI, pomocí kterého lze měřit a hodnotit výkonnost a kapacitu výroby či provádět jakékoliv jiné analýzy, které získaná data umožní. Zvýšením výkonu

a zapracováním vyhodnocení parametru RSSI (Received Signal Strength Indication) by bylo možné snímat více pozic najednou a došlo by tak k zefektivnění využití vynaložených prostředků na implementaci řešení.

Literatura

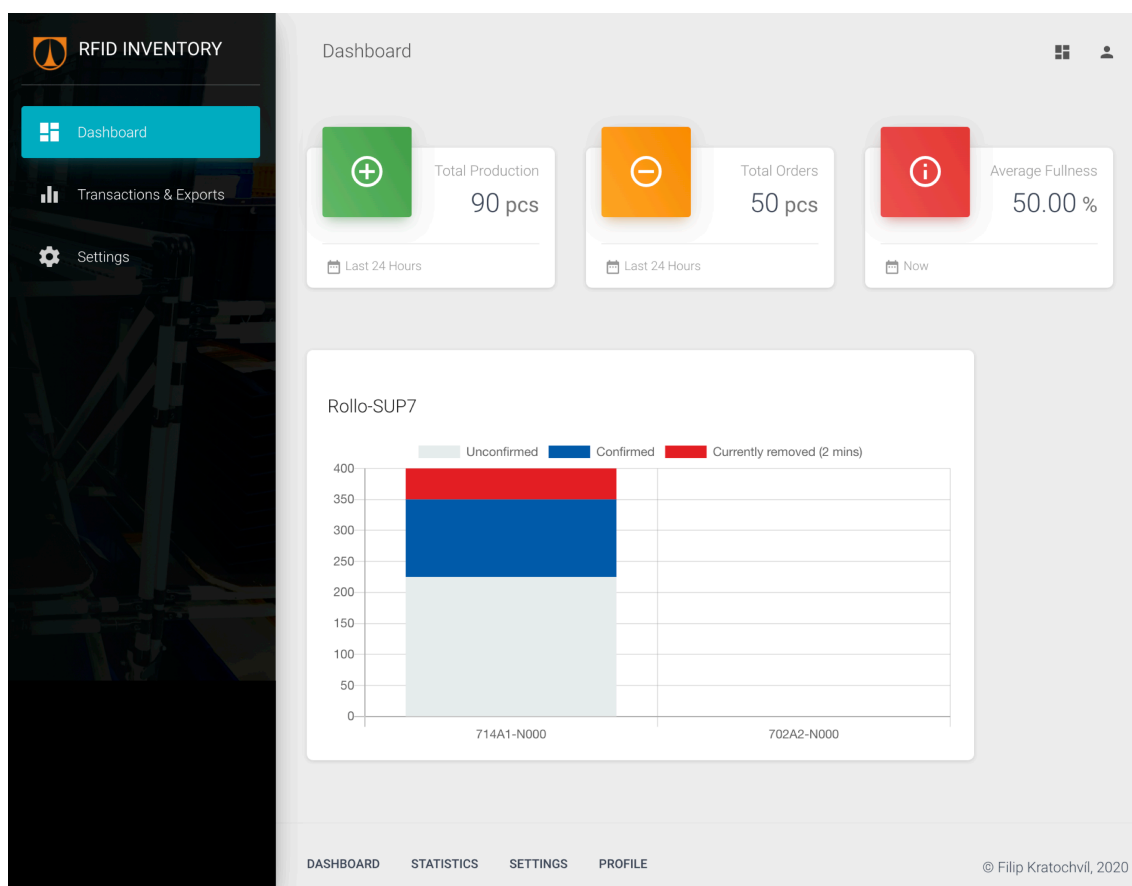
- [1] BANKS, Jerry, Manuel A. PACHANO, Les G. THOMPSON a David HANNY, 2007. *RFID applied*. Hoboken: Wiley. ISBN 978-0-471-79365-6.
- [2] BORTLÍK, Ondřej, 2011. *Přenos dat při čtení RFID tagu*. Ostrava. Bakalářská práce. Vysoká Škola Báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Jan Gottfried.
- [3] DAS, Raghu, 2018. RFID 2018-2028: RAIN and NFC Market Status, Outlook and Innovations. In: *IDTechEx: Market Research, Scouting and Events on Emerging Technologies* [online]. United Kingdom: IDTechEx [cit. 2019-10-21]. Dostupné z: https://rainrfid.org/wp-content/uploads/2018/03/IDTechEx-RFID-March-_Distribute.pdf
- [4] FINKENZELLER, Klaus, 2010. *Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication*. 3rd edition. Hoboken, NJ: Wiley. ISBN 978-0-470-69506-7.
- [5] HILL, Morgan, 2009. Alien Technology® Secures Fifth RFID Retailing Installation in Europe with Lacoste, Calvin Klein and Burberry. *Business Wire* [online]. San Francisco, California: Business Wire [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.businesswire.com/news/home/20090216005164/en/Alien-Technology®-Secures-RFID-Retailing-Installation-Europe>
- [6] HUNT, V. Daniel, Albert PUGLIA a Mike PUGLIA, 2007. *RFID: a guide to radio frequency identification*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-10764-5.
- [7] JEMELKA, Ivan, 2019. Logistika Škody Auto je zelená. *Reportáže z průmyslu* [online]. Zábřeh: Amazing Media [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.reportazezprumyslu.cz/cs/automotive/854-logistika-skody-auto-je-zelena>
- [8] KARMAKAR, Nemaï Chandra, 2010. *Handbook of smart antennas for RFID systems*. Hoboken, N.J.: Wiley. ISBN 978-0-470-38764-1.
- [9] KHATTAB, Ahmed, Zahra JEDDI, Esmaeil AMINI a Magdy A. BAYOUMI, 2017. *RFID Security: A Lightweight Paradigm*. Cham: Springer International Publishing. Analog Circuits and Signal Processing. ISBN 978-3-319-47544-8.

- [10] KORCOVÁ, Olga, 2011. *Řízení toku materiálu pomocí RFID elementů*. Mladá Boleslav. Diplomová práce. ŠKODA AUTO a.s. Vysoká škola. Vedoucí práce Josef Sixta.
- [11] LEICESTER, Phillip a Siddhivinayak KULKARNI, 2012. Challenges of Deploying RFID Technology for Reducing Medical Identity Theft. *International Journal for Infonomics*. **5**(3/4), 597-602. DOI: 10.20533/iji.1742.4712.2012.0068. ISSN 17424712. Dostupné také z: <http://infonomics-society.org/wp-content/uploads/iji/published-papers/volume-5-2012/Challenges-of-Deploying-RFID-Technology-for-Reducing-Medical-Identity-Theft.pdf>
- [12] MÍČOVÁ, Marcela, 2010. *Inventura zásob ve Škoda Auto, a.s.* Mladá Boleslav. Bakalářská práce. Škoda Auto a.s. Vysoká škola. Vedoucí práce Jan Dušek.
- [13] NEZBEDOVÁ, Lenka, 2014. *Analýza uzávěrkových operací vybraného podnikatelského subjektu*. Plzeň. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jana Hinke.
- [14] PERIS LOPEZ, Pedro, Julio C. HERNANDEZ-CASTRO a Tieyan LI, 2013. *Security and trends in wireless identification and sensing platform tags: advancements in RFID*. Hershey, Pa.: Information Science Reference. ISBN 978-1-4666-1990-6.
- [15] RESCA, Samuele, 2016. Developing token authentication using ASP.NET Core. *Medium* [online]. Londýn: Medium, 2016 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://medium.com/@samueleresca/developing-token-authentication-using-asp-net-core-c3fbd7bfd7cb>
- [16] SCHERHÄUFL, Martin, 2017. *Phase-of-Arrival-Based Localization with Passive UHF RFID Transponders*. Linz: Schriftenreihe Advances in Mechatronics. ISBN 978-3-99062-072-4.
- [17] ŠPAK, Josef, 2019. *Využití RFID technologií v logistickém řetězci hotelového provozu*. Pardubice. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Petr Průša.
- [18] TRUBÁK, Jan, 2017. *Anténa pro RFID čtečku*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Tomáš Mikulášek.
- [19] ULLRICH, Günter, 2015. *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications*. 1. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-662-44814-4.
- [20] VOJÁČEK, Antonín, 2014. Výhody a nevýhody použití UHF RFID v průmyslu. *Automatizace.hw.cz: Rady a poslední novinky z oboru* [online]. Praha: HW server, 2018 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/vyhody-a-nevyhody-pouziti-uhf-rfid-v-prumyslu.html>

- [21] VOLF, Jakub, 2019. *Možnosti využití technologie RFID ve stavebním průmyslu*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické. Vedoucí práce Michal Kovářík.
- [22] WENG, Daiyun a Li YANG, 2012. Design and Implementation of Barcode Management Information System. *Information Engineering and Applications*. London: Springer London, 2012, 1200-1207. Lecture Notes in Electrical Engineering. DOI: 10.1007/978-1-4471-2386-6_158. ISBN 978-1-4471-2385-9. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-2386-6_158
- [23] ZNAMENÁČEK, Jan, 2017. *Technologie RFID a její zavedení do podniku*. Praha. Diplomová práce. Vysoká škola ekonomická v Praze. Vedoucí práce Tomáš Sigmund.
- [24] Zebra FX9500 fixní čtečka, 2014. In: *ESP* [online]. Ústí nad Labem: ESP holding [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://esp.cz/cs/produkty/zebra-fx9500-fixni-ctecka>
- [25] RFID Case Study: Tracking and Tracing at BMW, 2020. *Brooks Automation* [online]. Chelmsford, Massachusetts: Brooks Automation [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.brooks.com/applications-by-industry/semiconductor/rfid/rfid-projects/automotive/tracking-and-tracing-at-bmw>
- [26] RFID čtečky mobilní, 2014. In: *ESP* [online]. Ústí nad Labem: ESP holding [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://esp.cz/cs/produkty/rfid-technologie/rfid-ctecky-mobilni>
- [27] BMW Uses RFID in Regensburg Assembly Plant, 2009. *Barcoding* [online]. Baltimore: Barcoding [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.barcoding.com/blog/bmw-uses-rfid-in-regensburg-assembly-plant/>
- [28] Inovativní logistika v závodě Kvasiny zvyšuje efektivitu a zlepšuje bezpečnost práce, 2018. *Automatizace a průmysl 4.0* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz/novinky/novinky-detail/2018-10-18-inovativni-logistika>
- [29] Code 39 Barcode FAQ & Tutorial, 2020. *IDAAutomation.com* [online]. Tampa, Florida: IDAutomation.com [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.barcodefaq.com/1d/code-39/>
- [30] CAEN RFID: supplier of RAIN (UHF) RFID readers and logger tags: Company Profile, 2020. *CAEN RFID* [online]. Janov: CAEN SpA. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.caenrfid.com/en/company-profile/>
- [31] QR Code 2D Barcode Information & Tutorial, 2020. *IDAAutomation.com* [online]. Tampa, Florida: IDAutomation.com [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.barcodefaq.com/2d/qr-code/>

- [32] Automotive Templates, 2020. In: *TechDocs* [online]. Lincolnshire: Zebra Technologies Corporation [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://techdocs.zebra.com/simulscan/1-1/guide/templates/auto/>
- [33] JSON Web Token Introduction, 2020. *JWT* [online]. [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://jwt.io/introduction/>
- [34] Přepravka VDA RL KLT 4147, 2020. *Logistic Packaging* [online]. Bukurešť: Logistic Packaging SRL [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://logisticpackaging.com/cs/produkt/standardni-sortiment/prepravka-vda-rl-klt-4147/>
- [35] UHF RFID TAG (SET OF 5), 2020. *Antratek: Embedded Electronics & Media* [online]. Netherlands: Antratek Electronics [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.antratek.com/uhf-rfid-tag-set-of-5>
- [36] *RFID security*, 2016. New York, NY: Springer Science Business Media. ISBN 978-3-319-47544-8.
- [37] BMW and Rosslyn Plants Supply Chain Management and Logistics, 2018. *UK Essays* [online]. Nottingham: All Answers [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://www.ukessays.com/essays/marketing/rosslyn-plants-supply-chain-management-and-logistics-marketing-essay.php>

A Ukázka obrazovky Dashboard, s načtenými daty



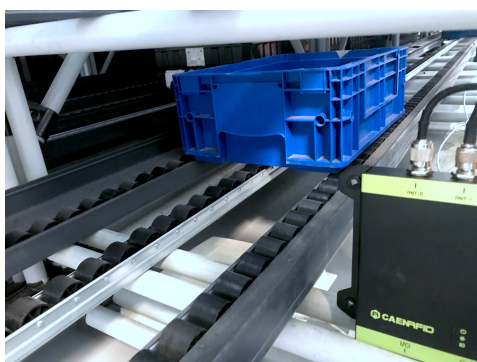
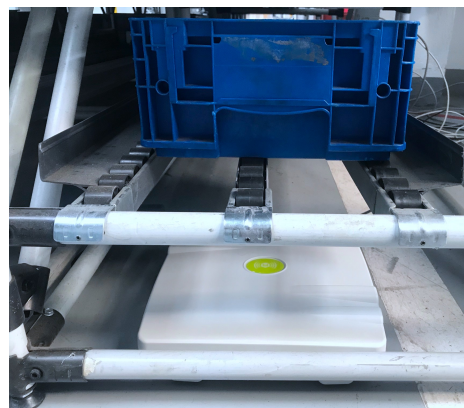
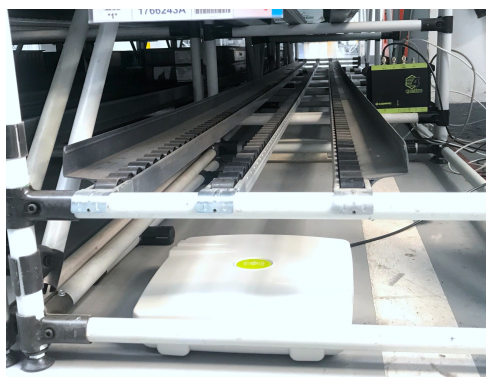
B Ukázka obrazovky Transakce a exporty

The screenshot displays the 'RFID INVENTORY' web application. The sidebar on the left contains navigation links: 'Dashboard', 'Transactions & Exports' (highlighted), and 'Settings'. The main content area is titled 'Transactions & Exports' and features two export buttons: 'Export transactions (last 24 hours)' and 'Export current stock levels'. Each export button has three sub-buttons for 'JSON', 'XLSX', and 'CSV'. Below these is a section titled 'All Transactions' with a subtitle 'List of all transactions, made by RFID readers, in the last 24 hours'. This section contains a table with the following data:

Time	State	Position	Parts Amount (pcs)	Packaging
10. 05. 2020 21:17	Unconfirmed	714A1-N000	45	ca2017090200000000003004
10. 05. 2020 21:19	Unconfirmed	714A1-N000	40	ca2017090200000000003003
10. 05. 2020 21:19	Unconfirmed	714A1-N000	40	ca2017090200000000003006
10. 05. 2020 21:19	Unconfirmed	714A1-N000	50	ca2017090200000000003008
10. 05. 2020 21:20	Confirmed	714A1-N000	40	ca2017090200000000003003
10. 05. 2020 21:20	Confirmed	714A1-N000	50	ca2017090200000000003008
10. 05. 2020 21:20	Removed	714A1-N000	50	ca2017090200000000003008
10. 05. 2020 21:20	Unconfirmed	714A1-N000	50	ca2017090200000000003008
10. 05. 2020 21:20	Unconfirmed	714A1-N000	40	ca2017090200000000003005

The bottom of the page features a footer with navigation links: 'DASHBOARD', 'STATISTICS', 'SETTINGS', and 'PROFILE'. The copyright notice '© Filip Kratochvíl, 2020' is located in the bottom right corner.

C Fotodokumentace z testování aplikace



D Obsah přiloženého CD

Struktura o obsah adresářů je následující:

- Obrázky a screenshoty
 - Obsahuje obrázky a screenshoty obsažené v práci a jednotlivé obrazovky aplikace
- Soubor Readme.md
 - Soubor obsahující odkaz na nasazenou aplikaci na platformě Heroku, odkaz na Git repozitář s kódy aplikace a popisem API
- Text diplomové práce
 - Text diplomové práce ve formátu PDF, zdrojový kód tex a zadání ve formátu PDF
- Zdrojové kódy
 - Zdrojové kódy vyvinuté aplikace a dalších součástí