

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti využití technologie RFID
ve stavebním průmyslu

Bc. Jakub Volf

2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Kovářík

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 6. 1. 2019

.....

Bc. Jakub Volf

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Michalu Kováříkovi za odborné konzultace a rady v průběhu zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Milanu Hamplovi z *IKA DATA, spol. s r.o.* a panu Ing. Tomáši Filipovi z *ČSOB, a.s.* za jejich ochotu a čas, který mi věnovali, a panu Ing. Tomáši Vobořilovi z *VCES a.s.* za poskytnutí příležitosti spolupráce.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Volf Jméno: Jakub Osobní číslo: 423704

Zadávající katedra: K122 - Technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Možnosti využití technologie RFID ve stavebním průmyslu

Název diplomové práce anglicky: Potential of using RFID technology in the construction industry

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je analyzovat potenciál technologie RFID ve stavebnictví. Obsahem teoretické části je historie identifikace na rádiové frekvenci, popis základních charakteristik infrastruktury a výčet příkladů aplikace technologie ve stavebnictví i ostatních výrobních odvětvích ve světě. Součástí rešerše bude průzkum mezi výrobci stavebních dílců a dodavateli v ČR s cílem zjistit stávající stav a případnou potřebu implementace RFID technologie v prostředí stavební výroby.

Na základě provedené rešerše a průzkumu autor určí oblasti vhodné pro implementaci systému RFID. Pro vybranou oblast student vymodeluje RFID infrastrukturu a provede finanční analýzu.

V závěru práce budou vyhodnoceny a interpretovány výsledky modelace.

Seznam doporučené literatury:

BANKS, Jerry. RFID applied. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2007. ISBN 0471793655.

KARMAKAR, Nemai Chandra. Handbook of smart antennas for RFID systems. Hoboken, N.J.: Wiley, c2010. ISBN 9780470387641.

ISO/IEC 18000

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Kovářik

Datum zadání diplomové práce: 4. 10. 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6. 1. 2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou využití identifikace na rádiové frekvenci ve stavebním průmyslu. Práce poskytuje čtenáři podrobný přehled v oblasti radiofrekvenční identifikace, dále popisuje alternativní systém identifikace na bázi čárových kódů a oba systémy porovnává. Další teoretickou částí je výčet stávajících a budoucích aplikací zejména ve stavebním průmyslu. Praktická část se věnuje analýze stávajícího výrobního procesu železobetonových prefabrikovaných prvků, na jejímž základě je určena vhodná oblast implementace systému radiofrekvenční identifikace. Pro tuto oblast je následně namodelováno řešení sestávající z technického návrhu a finančního ohodnocení. V závěru práce jsou vyhodnoceny a interpretovány výsledky praktické části.

Klíčová slova

RFID, identifikace, štítek, čtečka, UHF, EPC, automatizace

Annotation

The diploma thesis deals with the use of radio frequency identification in the construction industry. The thesis provides a detailed overview of radio frequency identification, describes an alternative barcode identification system and compares both systems. The subsidiary theoretical part is the list of existing and future applications, especially in the construction industry. The practical part deals with the analysis of the existing production process of reinforced concrete prefabricated elements, on this basis the appropriate area of implementation of the radio frequency identification system is determined. A solution consisting of technical design and financial evaluation is then modeled for this area. At the end of the thesis, the results of the practical part are evaluated and interpreted.

Keywords

RFID, identification, tag, reader, UHF, EPC, automation

Obsah

| | |
|-------------------------------|----|
| Obsah..... | 2 |
| Slovník pojmů..... | 6 |
| Úvod..... | 8 |
| 1 Historie..... | 10 |
| 2 Technologie RFID..... | 12 |
| 2.1 Štítek..... | 13 |
| 2.1.1 Zdroj energie..... | 15 |
| 2.1.2 Provozní frekvence..... | 17 |
| 2.1.3 Funkcionalita..... | 20 |
| 2.1.4 Protokol..... | 21 |
| 2.2 Čtečka..... | 22 |
| 2.2.1 Komponenty čtečky..... | 22 |
| 2.2.2 Klasifikace čteček..... | 24 |
| 2.3 Čtecí zóna..... | 29 |
| 2.4 Middleware..... | 29 |
| 3 Standardizace..... | 30 |
| 3.1 EPC..... | 31 |
| 3.2 ISO..... | 32 |
| 4 Limitace..... | 33 |
| 4.1 Cena..... | 33 |
| 4.2 Rušení..... | 34 |
| 4.2.1 Materiálové..... | 34 |
| 4.2.2 Frekvenční..... | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3 | Bezpečnost..... | 37 |
| 4.3.1 | Ochrana soukromí..... | 37 |
| 4.3.2 | Zabezpečení systému..... | 38 |
| 5 | Porovnání s čárovými kódy | 39 |
| 5.1 | Rychlost | 41 |
| 5.2 | Viditelnost..... | 41 |
| 5.3 | Odolnost..... | 42 |
| 5.4 | Implementace..... | 42 |
| 5.5 | Náklady | 43 |
| 6 | RFID aplikace | 44 |
| 6.1 | Automobilový průmysl | 44 |
| 6.1.1 | Imobilizér..... | 44 |
| 6.1.2 | Řízení zásob..... | 45 |
| 6.1.3 | Pružná výroba | 46 |
| 6.2 | Doprava | 47 |
| 6.2.1 | Elektronické mýtné | 47 |
| 6.2.2 | Automatická identifikace vozidel | 48 |
| 6.2.3 | Inteligentní doprava..... | 49 |
| 6.3 | Logistika..... | 50 |
| 6.3.1 | Walmart..... | 50 |
| 7 | RFID ve stavebním průmyslu..... | 51 |
| 7.1 | Řízení přístupu | 52 |
| 7.1.1 | Správa času..... | 52 |
| 7.1.2 | Omezený přístup | 54 |
| 7.1.3 | Řízení strojů | 54 |
| 7.1.4 | OOPP a bezpečnostní opatření..... | 55 |
| 7.2 | Správa majetku..... | 55 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.3 | Řízení jakosti..... | 56 |
| 7.3.1 | Betonové distanční podložky | 56 |
| 7.4 | Bezpečnost..... | 57 |
| 7.4.1 | Prostor ohrožený činností stroje..... | 57 |
| 7.5 | Facility Management | 61 |
| 7.5.1 | Diagnostika konstrukcí | 61 |
| 7.5.2 | Skryté komponenty..... | 63 |
| 7.6 | Odpadové hospodářství..... | 67 |
| 7.7 | SWOT analýza | 70 |
| 8 | Praktická část..... | 71 |
| 8.1 | Prefabrikace | 71 |
| 8.2 | Trh | 73 |
| 8.3 | Současné výrobní portfolio | 74 |
| 8.4 | Stávající výrobní proces | 74 |
| 8.4.1 | Armatura | 74 |
| 8.4.2 | Bednění | 75 |
| 8.4.3 | Betonáž..... | 75 |
| 8.4.4 | Manipulace a skladování..... | 76 |
| 8.4.5 | Expedice..... | 77 |
| 8.5 | Navrhovaná řešení..... | 78 |
| 8.5.1 | RFID systém identifikace..... | 78 |
| 8.5.2 | Systém identifikace pomocí čárových kódů | 87 |
| 8.5.3 | Hodnocení kalkulací systémů automatické identifikace 91 | |
| 8.5.4 | Hodnocení efektů implementace RFID | 93 |
| | Diskuze k naplnění cílů | 95 |
| | Závěr | 96 |
| | Seznam literatury..... | 97 |

| | |
|----------------------|-----|
| Seznam obrázků..... | 105 |
| Seznam tabulek..... | 107 |
| Seznam grafů | 108 |
| Seznam příloh | 108 |
| Seznam veličin | 108 |

Slovník pojmů

| | |
|-------|---|
| AIAG | Automotive Industry Active Group, nezisková organizace působící v automobilovém průmyslu |
| ANPR | Automatic Number Plate Recognition, automatické rozpoznávání poznávacích značek |
| ANSI | American National Standards Institute, Americká standardizační organizace |
| AVI | Automatic Vehicle Identification, automatická identifikace vozidla |
| BAT | Battery Assisted Tag, štítek napájený baterií |
| BIM | Building Information Modeling (Management), informační model budovy |
| CAFM | Computer Aided Facility Management, systém pro podporu facility managementu |
| ČTÚ | Český telekomunikační úřad |
| EAN | European Article Number, Evropské číslo položky |
| ECU | Electronic Control Unit, elektronická řídicí jednotka |
| EPC | Electronic Product Code, elektronický kód produktu |
| EPCIS | Electronic Product Code Information Services, informační služby elektronického kódu produktu |
| ERO | European Communications Office, Evropský úřad pro komunikaci |
| FCC | Federal Communications Commission, Federální komise pro komunikaci |
| IAN | International Article Number, Mezinárodní číslo položky |
| IC | Integrated Circuit, integrovaný obvod |

| | |
|------|--|
| IEC | International Electrotechnical Commission, Mezinárodní elektrotechnická komise |
| IoT | Internet of Things, internet věcí |
| ISO | International Organization for Standardization, Mezinárodní organizace pro normalizaci |
| ITU | International Telecommunication Union, Mezinárodní telekomunikační unie |
| JISC | Japanese Industrial Standards Committee, Japonský výbor pro průmyslové standardy |
| JIT | Just-in-Time, metoda výroby v souladu s poptávkou |
| LBT | Listen Before Talk, metoda komunikace |
| NFC | Near Field Communication, metoda komunikace rádiových zařízení na velmi krátkou vzdálenost |
| OCR | Optical Character Recognition, optické rozpoznávání znaků |
| P2P | Peer-to-Peer, klient-klient nebo rovný s rovným, síť, ve které spolu komunikují sobě rovní jednotlivci (klienti) |
| POS | Point of Sale, místo prodeje |
| QR | Quick Response, rychlá odpověď |
| R/W | Read/Write, čtení/zápis |
| RFID | Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci |
| RTLS | Real-Time Location System, lokalizační systém v reálném čase |
| SCM | Supply Chain Management, řízení dodavatelského řetězce |
| UPC | Universal Product Code, univerzální kód produktu |
| WORM | Write Once Read Many, možnost jediného zápisu a více čtení |

Úvod

Ať už si to uvědomujeme či nikoliv, radiofrekvenční identifikace (RFID) je nedílnou součástí našich životů. Tato technologie je využívána pro stovky aplikací, mezi něž se řadí ku příkladu výběr mýtného nebo přístup do objektů. Technologie je používána i některými státními složkami – např. Ministerstvem vnitřní bezpečnosti Spojených států amerických při zabezpečení hraničních přechodů nebo intermodální kontejnerové přepravě. V posledních letech nalézá technologie RFID uplatnění i ve stavebním sektoru, převážně v zahraničí. To motivovalo autora při výběru tématu s cílem přiblížit technologii RFID a její využití ve stavebním průmyslu českému čtenáři.

Oblast identifikace na rádiové frekvenci bude přiblížena úvodním vhladem do historie, načež bude vyložena logika systému radiofrekvenční identifikace včetně detailního popisu jeho klíčových komponent, jmenovitě čtečky a štítku. Nedílnou součástí technologie je její standardizace, proto jí bude v textu věnována odpovídající pozornost. Závěr této části práce se bude věnovat hloubkové analýze omezení, která v současné době brání masovému využití technologie ve stavebním průmyslu.

V dalším segmentu teoretické části autor učiní průzkum a následný výčet současných i předpokládaných budoucích aplikací technologie RFID v různých odvětvích se zvláštním důrazem na stavební průmysl, zejména na oblast řízení lidských zdrojů, bezpečnosti a facility managementu.

Cílem diplomové práce bude na základě nabytých vědomostí určit vhodnou oblast implementace rádiové identifikace v prostředí stavební výroby, a pro tu vymodelovat RFID infrastrukturu. Návrh technického řešení RFID systému a jeho alternativy v podobě systému čárových kódů bude následován finanční analýzou obou systémů. V závěru práce dojde k vyhodnocení a interpretaci výsledků této modelace. Zásadním přínosem práce bude návrh řešení pro zefektivnění oblasti stavební výroby za přispění technologie automatické identifikace na rádiové frekvenci.

1 Historie

RFID je termín pro radiovou identifikační technologii s krátkým dosahem používanou ke komunikaci digitální informace mezi stacionárním a pohyblivým objektem nebo mezi pohyblivými objekty. Z jiného úhlu pohledu můžeme na RFID systém pohlížet jako na spojení, jehož jeden konec obsahuje jednoduchá zařízení a druhý konec obsahuje komplexnější nástroje. Jednoduššími zařízeními míníme štítky (*tags*) – ty jsou menší a levnější, jsou instalovány na sledované objekty a pracují automaticky. Komplexnější nástroje jsou čtečky (*readers*) a antény (*antennas*). [1]

Devatenácté století lze považovat za začátky základního porozumění elektromagnetické energii. V roce 1831 anglický fyzik a chemik Michael Faraday svými experimenty objevil elektromagnetickou indukci. Na jeho práci navázal a tehdejší vědu a výzkum obohatil skotský fyzik James Clerk Maxwell svým fundamentálním Traktátem o elektřině a magnetismu („*A Treatise on Electricity and Magnetism*“, 1873). V práci shrnul dosavadní poznatky z teorie elektromagnetismu a propracoval své předchozí rovnice popisující elektromagnetické pole – nyní známé jako Maxwellovi rovnice. Následoval Heinrich Rudolf Hertz se svým experimentálním důkazem existence elektromagnetických vln. Jako pocta jeho práci je po něm pojmenována jednotka frekvence – hertz. [2] [3]

Použití elektromagnetických vln k určení nadmořské výšky, směru nebo rychlosti pohyblivých i stacionárních objektů bylo poprvé zvažováno počátkem 20. století. Termín *RADAR* byl vytvořen v roce 1941 jako akronym rádiové detekce a zaměřování (*Radio Detection and Ranging*). Radar neboli radiolokátor je zařízení skládající se z vysílače, který vysílá rádiové vlny a přijímače, který detekuje vlny odražené od cíle. Odražené signály jsou obvykle slabé, a proto jsou zesilovány. To umožňuje radaru detekovat objekty v dosahu, kde by jiné emise, jako je zvuk nebo světlo, byly pro detekci příliš slabé. Potenciál radaru

při určování rychlosti a polohy objektu byl velmi rychle uchopen armádou, což vedlo k jeho významnému vývoji během druhé světové války. [1] [4]

Vznik RFID mnoho autorů datuje právě do válečných let. Britská armáda tehdy vyvinula první aktivní identifikační systém – *IFF (Identify Friend or Foe)*. Princip spočíval v umístění vysílače na každý britský letoun. Vysílač po detekci přichozího rádiového signálu vyslal zpět signál, na jehož základě byl daný letoun identifikován jako přátelský. RFID systém funguje v podstatě na totožném principu – stanice (RFID čtečka) posílá signál transpondéru (štítku), který buď reflektuje přijímaný signál (pasivní RFID) nebo vysílá vlastní signál (aktivní RFID). [1]

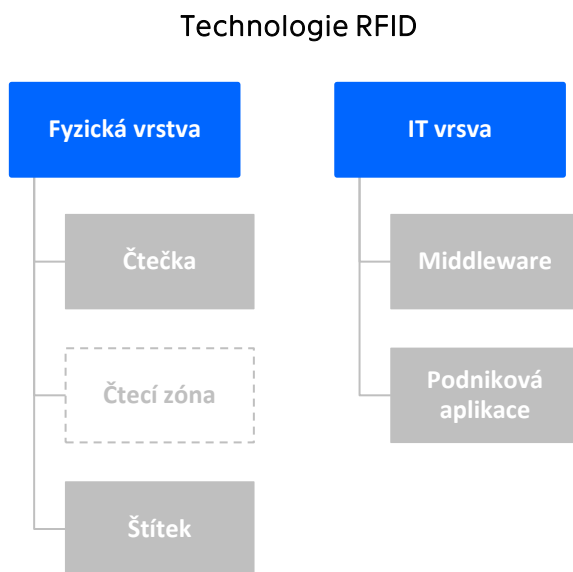
Významným milníkem v poli moderní RFID byla práce Harryho Stockmana v jeho článku z roku 1948 s názvem „*Communication by Means of Reflected Power*“, ve kterém zdůrazňuje potřebu řešení základních problémů komunikace pomocí odražených vln předtím, než bude zkoumána oblast užitečných aplikací. [1]

První patent na technologii RFID (*United States Patent 3,713,148*) byl v roce 1973 udělen dvojici vynálezců – Mariovi Cardullovi a Williamu L. Parksovi. Jejich návrh zařízení a systému transpondéru byl prvním skutečným předchůdcem moderní identifikace na bázi rádiového signálu. Navrhované zařízení bylo pasivní, napájené vysílacím signálem, disponovalo pamětí o velikosti 16 bitů a mělo sloužit především jako zařízení pro výběr mýta – za tímto účelem bylo již v roce 1971 představeno několika potenciálním klientům včetně správního orgánu přístavu města New York. [1] [5]

2 Technologie RFID

Radiofrekvenční identifikace (RFID) je technologie využívající elektromagnetické (rádiové) vlny k automatické a bezkontaktní identifikaci prvků v různých vzdálenostech. Fundamentální smysl RFID systému spočívá ve zvýšení účinnosti sledování prvků se současným snížením lidské intervence, zlepšení kontroly kvality, analýze chyb a snížení ztrát prvků, což vede ke zvýšení zisku podniku.

Jak je patrné z *Obr. 1*, RFID systém je rozdělen do těchto dvou vrstev – fyzické vrstvy a IT vrstvy. Fyzická vrstva se skládá ze čtečky, štítku a čtecí zóny. IT vrstvu tvoří middleware a podniková aplikace. [4]



Obr. 1: Obecné rozdělení RFID systému do vrstev [vlastní]

2.1 Štítek

Štítky (transpondéry, *tagy*) jsou umístovány na dané prvky za účelem jejich monitorování. To ze štítků činí spotřební zboží - jejich počet se v závislosti na obchodním procesu může vyšplhat až na miliony kusů. Pro navržení funkčního RFID řešení je proto zapotřebí detailní znalost štítků a jejich výkonu.

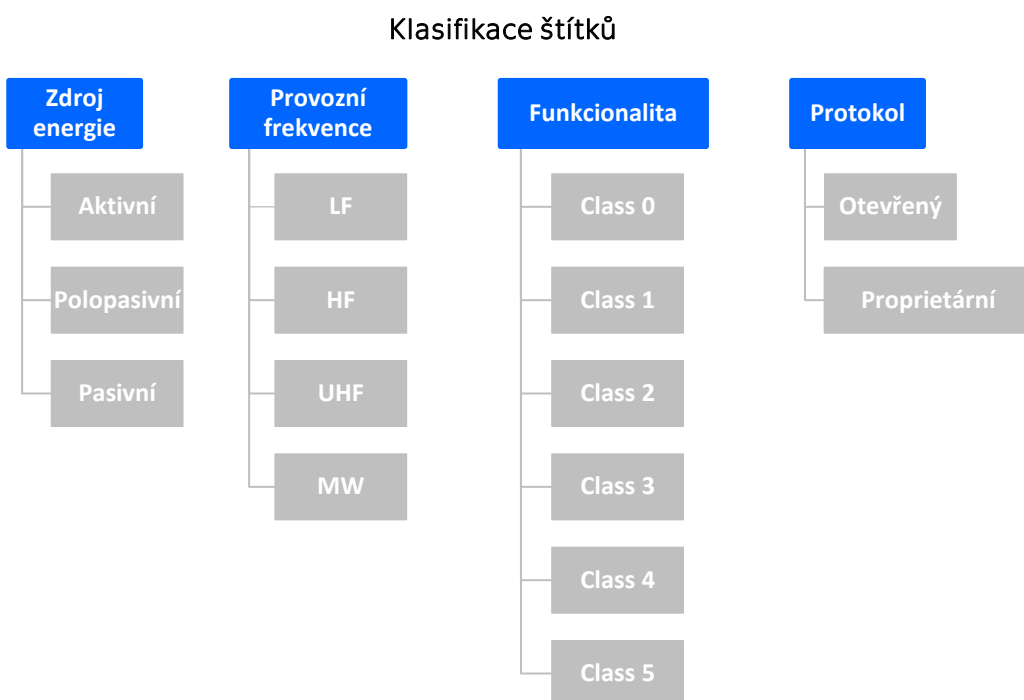
Na úrovni komponent je štítek tvořen integrovaným obvodem a anténou. Integrovaný obvod (*IC*) je rozdělen do několika částí. Jedna z nich je vyhrazena pro napájení – energie může být dodána baterií (polopasivní nebo aktivní štítek), nebo vyzářenou energií ze čtečky (pasivní štítek). Další část zodpovídá za modulaci/demodulaci signálů, šifrování a dešifrování digitálních bitů a implementaci komunikačního protokolu. Poslední část integrovaného obvodu je tvořena pamětí. Ta je rozdělena do bloků, které mohou být pouze ke čtení (*read only*) nebo ke čtení i zápisu (*read/write*). Do paměti jsou ukládána unikátní identifikační čísla, veřejná a soukromá hesla apod. [4]

Anténa, přímo napojená na integrovaný obvod, je největší součást RFID štítku. Právě spojení mezi anténou a *IC* je tím nejchoulostivějším místem štítku. Skrze anténu dochází ke komunikaci a zároveň i přenosu energie mezi štítkem a čtečkou. Na trhu jsou dostupná různá provedení antén. Většinou jsou vyrobeny sítotiskem, lisováním fólií nebo leptáním mědi, přičemž sítotisk je nejrychlejší a nejpoužívanější metodou. [4]

Nosným médiem integrovaného obvodu s anténou je tzv. podklad. Měl by být pružný, tenký a schopný odolávat podmínkám okolního prostředí po celou dobu své životnosti. Běžně se podklady vyrábějí z PVC, PET, polyesterů a FR-4 (v ojedinělých případech dokonce z papíru), jelikož všechny tyto materiály splňují požadavek na hladký povrch a rozptýlení elektrostatických nábojů. [4]

Výše zmíněné klíčové komponenty RFID štítku (integrováný obvod a anténa) musí být chráněny. Takovou ochranu a zároveň výrazné prodloužení životnosti jim poskytne kryt štítku vyrobený zpravidla z polypropylenu, polyacetátu nebo jiného odolného materiálu. Dlouhá životnost štítků je vyžadována zejména tam, kde dochází k jejich opětovnému použití (vozíky, kontejnery apod.) a dále tam, kde jsou vystaveny extrémním podmínkám (velmi nízké nebo naopak velmi vysoké teploty, zvýšená vlhkost apod.). [4]

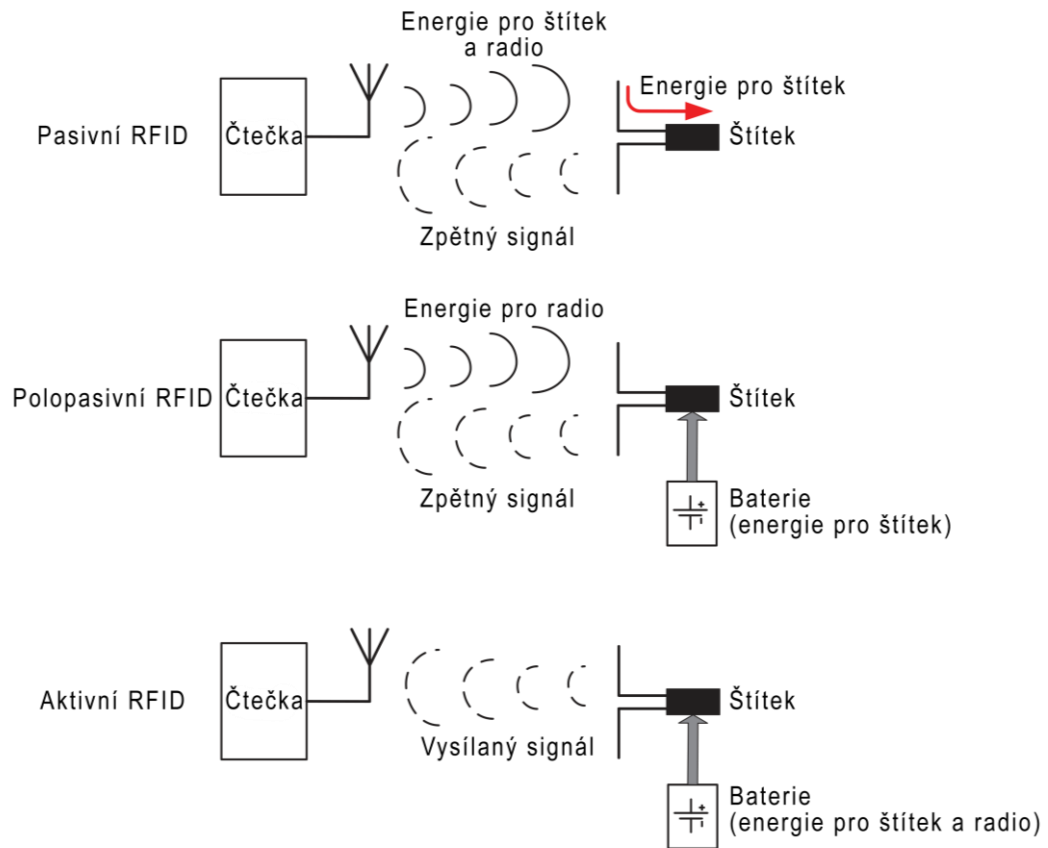
RFID štítky se dělí do jednotlivých kategorií podle následující tabulky (Obr. 2).



Obr. 2: Rozdělení RFID štítků, upraveno z [4]

2.1.1 Zdroj energie

V závislosti na zdroji energie jsou štítky rozděleny na pasivní, polopasivní a aktivní (Obr. 3).



Obr. 3: Kategorie RFID štítků podle zdroje energie, upraveno z [6]

2.1.1.1 Pasivní

Pasivní štítky nemají svůj vlastní zdroj energie pro provoz integrovaného obvodu. Ten je napájen vzdáleně skrze energii vysílanou čtečkou. Po tom, co obdrží dostatek energie, je integrovaný obvod schopen čtečce odeslat odpověď. Energie ze čtečky tedy zajišťuje jak napájení, tak komunikaci. Vzhledem k potřebě vcelku velkého množství této energie je maximální čtecí vzdálenost podle konkrétního štítku od 0,6 m do zhruba 6 m. Pokud pasivní štítek nekomunikuje se čtečkou, je v tzv. mrtvém režimu - tím pádem nepřispívá k radiovému šumu a nemůže podporovat žádné senzory (teploty, vlhkosti aj.). Pasivní štítky jsou nejlevnější a nedají se znovu použít – jedná se tedy o spotřební

zboží, kdy životnost štítku končí s životností produktu. Teoreticky je však jejich životnost nekonečná. Pasivní štítky mají omezenou schopnost ukládání dat. [6]

2.1.1.2 Polopasivní

Někdy se jim přezdívá štítky s baterií (BAT). Polopasivní štítek je tedy opatřen baterií, která zajišťuje energii pouze pro provoz IC, nikoliv pro komunikaci. Štítek se čtečkou komunikuje pomocí zpětné vazby (*backscatter coupling*). V porovnání s pasivními štítky jsou polopasivní štítky schopné dosáhnout čtecí vzdálenosti až 30 metrů a mají větší paměť. Vzhledem k chybějícímu vysílači tyto štítky (stejně jako pasivní štítky) nepřispívají k rádiovému šumu. S neustálým dodáváním energie baterií je možné štítek vybavit senzory okolního prostředí - např. teploty (převoz krve a zdravotního materiálu, zmražených potravin apod.). Polopasivní štítky jsou dražší, větší a těžší (záleží na velikosti baterie). Jejich hlavní nevýhodou je fakt, že životnost je přímo úměrná délce života baterie. Při náročnějších podmínkách prostředí může baterie přestat fungovat a tím uvést štítek do stádia virtuálně mrtvého. [6]

2.1.1.3 Aktivní

Aktivní štítky disponují baterií i vysílačem. Baterie dodává energii jak integrovanému obvodu pro jeho provoz, tak vysílači pro zajištění komunikace. Není dobíjecí, avšak její nejdelší životnost může činit až 20 let. Vzhledem k přítomnosti vysílače nemusí štítek co do přenosu informací spoléhat na čtečku. Vlastně může sám jako čtečka pracovat. Aktivní štítky dosahují mnohem delší čtecí vzdálenosti až do kilometru (v závislosti na baterii a vysílači). V jejich integrovaných obvodech mohou být zapojeny senzory prostředí. Aktivní štítky mají největší kapacitu paměti ze všech typů štítků a na rozdíl od pasivních a polopasivních štítků jsou schopny data zpracovat. Tyto štítky mohou vlastně lokálně přebírat informace z ostatních štítků či senzorů, zpracovat je a poté je přenést. Mimo jiné mohou být použity při aplikacích RTLS. V rámci

energetických úspor je výchozí režim aktivního štítu nastaven na režim spánku, ve kterém je nejmenší možná spotřeba energie. V případě potřeby je štítek probuzen signálem, je vykonána požadovaná činnost a štítek se poté samočinně přepne do režimu spánku. Tímto procesem je prodloužena životnost štítu i baterie. Štítek může být dále naprogramován do režimu majáku (*beacon*) – probouzí se v určitých časových intervalech, ve kterých pošle svou identitu a nasnímaná data ze senzoru, poté se opět samočinně přepne do režimu spánku. Aktivní štítky mají hlavní výhodu oproti polopasivním, a sice tu, že u nich lze monitorovat stav baterie. Pokud se blíží konec životnosti baterie, nebo se ztěžují okolní podmínky a baterie se tím pádem blíží ke konci své funkčnosti, vydá signál a upozorní tak na svůj stav dříve, než se štítek stane nefunkčním. Někdy štítky využívají dvě různé frekvence pro přenos a příjem dat (*downlink* a *uplink*). Použití aktivních štítků je omezeno vlivem cenového faktoru – z uvedených typů štítků jsou nejdražší. S ohledem na přítomnost vysílače tyto štítky přispívají k radiovému šumu. [4] [6]

2.1.2 Provozní frekvence

Část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 mm do 1000 km – rádiové vlny – se dělí podle Tab. 1.

| 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 (DV) | Low Frequency |
| MF | 300 kHz – 3 MHz | 1 km – 100 m | střední vlny (SV) | Medium Frequency |
| HF | 3 MHz – 30 MHz | 100 m – 10 m | krátké vlny (KV) | High Frequency |
| VHF | 30 MHz – 300 MHz | 10 m – 1 m | velmi krátké vlny (VKV) | Very High Frequency |
| UHF | 300 MHz – 3 GHz | 1 m – 10 cm | ultra krátké vlny (UKV) | 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 (mm vlny) | Extremely High Frequency |

Tab. 1: Rozdělení rádiových frekvenčních pásem [7]

RFID štítky celosvětově pracují v jednom ze čtyř níže popsaných frekvenčních pásem.

2.1.2.1 Nízká frekvence (Low Frequency, LF)

Nízkofrekvenční štítky pracují typicky při 125 kHz a někdy při 134 kHz. Díky elektromagnetickým vlastnostem při LF mohou být tyto štítky bez problému čteny, zatímco jsou připevněny k objektům obsahujícím vodu či jinou kapalinu, zvířecí tkáň nebo kov. Vzhledem k menším čtecím vzdálenostem v řádech několika desítek centimetrů jsou vhodné k aplikacím s blízkým dosahem. [4] [8]

Nesou malé množství dat a také mají nejnižší rychlost přenosu dat (mezi všemi RFID frekvencemi dat). Nízkofrekvenční štítky nemají žádnou nebo mají velmi limitovanou anti-kolizní schopnost, takže simultánní čtení několika štítků je skoro nemožné. Anténa těchto štítků je zpravidla tvořena měděnou cívkou se stovkami ohybů vinutých kolem feritového jádra. [4]

Vzhledem k uvedeným vlastnostem LF štítků, jsou tyto užitečné pro specifické použití – kontrola přístupu, sledování aktiv (*asset tracking*), identifikace zvířat, imobilizování vozidel či zdravotní péče (sledování pacientů). Zejména použití pro identifikaci zvířat se těší velké oblibě již od 80. let minulého století. Nové využití našly LF štítky v automobilovém průmyslu, kde přispívají k automatizaci výrobního procesu. [9]

2.1.2.2 Vysoká frekvence (High Frequency, HF)

Vysokofrekvenční štítky pracují při 13.56 MHz, což je globálně jednotná frekvence. HF štítky mají oproti LF štítkům větší dosah a mohou tak být přečteny ze vzdálenosti až 1 metru. Mají také vyšší přenosovou rychlost a větší paměť. Při čtení více štítků najednou mohou HF štítky disponovat anti-kolizní schopností, nicméně v návaznosti na snížení komplexnosti řešení štítku a tudíž jeho cenu tato schopnost není vzhledem k relativně nízkému dosahu využívána. [4] [8]

Anténa vysokofrekvenčních štítků je zpravidla tvořena několika málo ohyby (od tří do sedmi) vodivých materiálů jako je měď, hliník nebo stříbro. Tvar připomíná plochou spirálu - štítky jsou velmi tenké (jako papír), až by se mohlo zdát, že jsou jen dvojrozměrné. Mohou být vyrobeny v různých velikostech, některé o průměru pár centimetrů. Jsou snadno čteny v blízkosti vody a jiných kapalin, tkání a dřeva. V případě výskytu kovu se jejich čtení stává obtížnějším. Všechny zmíněné vlastnosti z HF štítků tvoří ideální nástroj pro kreditní karty, chytré karty, knihovnické štítky a štítky letadlových zavazadel. [4] [9]

2.1.2.3 Ultra vysoká frekvence (Ultra high frequency, UHF)

V pásmu ultra krátkých vln jsou používány frekvence 433 MHz (aktivní štítky) a 860 – 960 MHz (polopasivní a pasivní štítky) se středovou frekvencí kolem 915 MHz. Nedoporučuje se v jedné dotazovací zóně mezi čtečkou a štítky používat obě frekvence, a to kvůli harmonickému rušení ($433 \text{ MHz} \times 2 = 866 \text{ MHz}$). Pasivní a polopasivní štítky komunikují pomocí zpětné vazby, zatímco aktivní štítky používají své vlastní vysílače. Dosah pasivních a polopasivních štítků je vcelku velký - zhruba 6 m. [4] [8]

UHF štítky mají propracovaný anti-kolizní protokol umožňující simultánní načítání vícero štítků. Antény jsou většinou planární dipóly vyrobené z mědi, stříbra nebo hliníku - štítky jsou tedy dvojrozměrné. Nepracují dobře v okolí vody a kovů, obzvláště voda ultra vysoké frekvence absorbuje. Operační frekvence v pásmu ultra krátkých vln nejsou globálně jednotné (Tab. 2). UHF je dnes nejpoužívanějším pásmem pro RFID. [4] [10]

| Země | Frekvence [MHz] | Země | Frekvence [MHz] |
|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| Austrálie | 920 – 926 | Německo | 865,6 – 867,6 |
| Česká republika | 865,6 – 867,6 | Polsko | 865,6 – 867,6 |
| Čína | 920,5 – 924,5 | Rakousko | 865,6 – 867,6 |
| Japonsko | 916,7 – 920,9 | Slovensko | 865,6 – 867,6 |
| Kanada | 902 - 928 | Spojené státy americké | 902 - 928 |

Tab. 2: Alokované frekvence v pásmu UHF vybraných zemí [10]

2.1.2.4 Mikrovlnná frekvence (Super High Frequency, SHF)

Za pole působnosti mikrovlnné techniky označujeme systémy, které pracují ve frekvenčním pásmu od 300 MHz do 3 THz. Štítky pracující při frekvenci 2.4 GHz spadají do dílčího pásma decimetrových vln ($300 \text{ MHz} < f < 3 \text{ GHz}$). Další používanou mikrovlnnou frekvencí je 5.8 GHz (dílčí pásmo centimetrových vln, $3 \text{ GHz} < f < 30 \text{ GHz}$). Dostupné jsou jak pasivní a polopasivní štítky, tak aktivní štítky. Co do rozměrů jsou štítky z této kategorie jedny z nejmenších a jejich dosah v případě pasivních štítků činí zhruba 5 metrů, polopasivních 30 metrů a aktivních až 100 metrů. Díky kratší vlnové délce mikrovln (1 cm až 10 cm) jsou štítky spolehlivým komunikačním prostředkem i v okolí kovů. Efektivní čtení je zajištěno dostupností anti-kolizních protokolů a většího počtu kanálů. Na druhou stranu může docházet k rušení vlivem šumu z činnosti jiných mikrovlnných zařízení (*WLAN*, bezdrátové telefony, mikrovlnné trouby). Mezi oblastmi využití mikrovlnné frekvence patří elektronický výběr mýtného nebo *RTLS*. [4] [7]

2.1.3 Funkcionalita

V závislosti na funkcionalitě štítku zavedla nezisková organizace zvaná *EPC Global* šest tříd RFID štítků (*Tab. 3*). Hlavními klasifikačními elementy je zdroj energie, kapacita paměti a možnost zápisu nebo schopnost komunikace. [11]

| | |
|---------|---|
| Class 0 | Jednoduché pasivní štítky, WORM, předprogramované z výroby |
| Class 1 | Pasivní štítky, WORM, zápis může být proveden při výrobě nebo v místě použití |
| Class 2 | Pasivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, možnost šifrování dat, zápis může být proveden při výrobě nebo v místě použití |
| Class 3 | Polopasivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, senzory prostředí |
| Class 4 | Aktivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, senzory prostředí, zajištění vzájemné komunikace s ostatními aktivními štítky a čtečkami |
| Class 5 | Aktivní štítky a čtečky, kromě komunikace poskytují energii štítkům spadajícím do výše zmíněných kategorií |

Tab. 3: Třídy RFID štítků podle *EPC Global* [11]

2.1.4 Protokol

Protokol je soubor pravidel, kterými se řídí komunikace a přenos dat mezi čtečkou a štítkem/štítky. Čtečka a štítek musí pro vzájemnou komunikaci mít stejné protokoly. Protokoly můžeme nejprve rozdělit do dvou širších kategorií: otevřené (*open*) a proprietární (*proprietary*). [4]

2.1.4.1 Otevřené

Tyto protokoly jsou vyvíjeny normalizačními orgány (*ISO 18000-6*) a jsou dostupné po celém světě těm, kteří stojí o jejich použití. [4]

2.1.4.2 Proprietární

Tyto protokoly jsou vyvíjeny konkrétními výrobci pro vlastní obchodní účely. Jako příklad lze uvést vysokofrekvenční štítek s proprietárním protokolem zvaný *Tag-it™* vyráběný firmou *Texas Instruments*. [4]

Čtečky mohou obsahovat jeden protokol či více protokolů – záleží na povaze štítků, se kterými přijdou do styku. Čtení s více protokoly je náročné a v důsledku toho je čtecí proces výrazně pomalejší než čtecí proces s jedním protokolem. Obě kategorie lze dále rozdělit na dvě podkategorie, a to na protokoly vzdušného rozhraní a protokoly datového obsahu. [4]

Protokoly vzdušného rozhraní určují, jak štítky komunikují za použití elektromagnetických vln. Obsahují provozní frekvenci, emisní úroveň elektromagnetického záření, *bit rate* (přenosovou rychlost), anti-kolizní algoritmy, modulaci, kódování atd. Protokoly datového obsahu definují paměť a její dělení a uspořádání v *IC*. V současnosti nejpropracovanější protokoly jsou *EPC Global Gen 2*, jejichž snahou je sjednotit různé RFID systémy po celém světě. [4] [12]

2.2 Čtečka

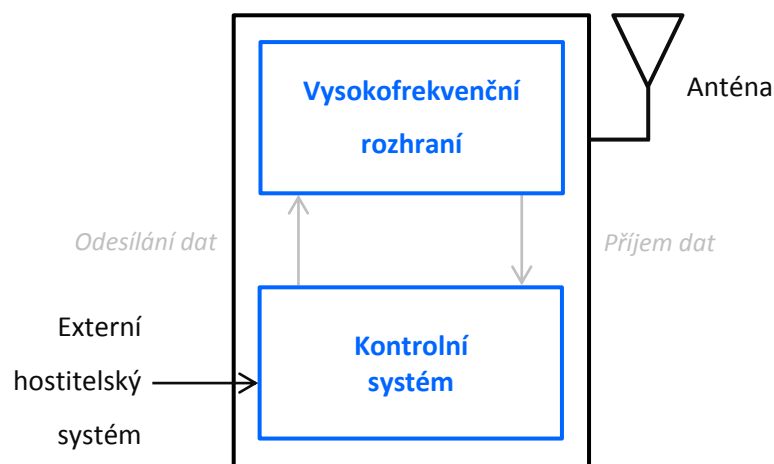
Čtečka (tazatel, *reader*) pokládá dotazy štítkům, které vstoupí do její zóny dosahu. Její zodpovědností je účelné řízení komunikace se štítky (čtení/zápis) a následné předání dat aplikaci, která tato data využije. Jedná se buď o prostá data nebo v případě chytrých čteček (*smart readers/interrogators*) o filtrovaná data, což jsou taková data, která již ve čtečce byla zpracována. Dále čtečka napájí integrovaný obvod pasivních a polopasivních štítků. [9]

Čtecí anténa je součástí čtečky a obvykle je k ní připojena pomocí kabelu. Operační frekvence RFID systému je určena čtečkou, protože právě anténa čtečky vyzařuje energii používanou štítky (v pasivním a polopasivním systému). Anténa štítku je naladěna tak, aby rezonovala na správné frekvenci a mohla se tak snadno spojit s anténou čtečky. Anténa čtečky generuje nosnou vlnu správné frekvence, aby štítek v daném frekvenčním rozsahu byl schopný absorbovat RF energii. [9]

Jednou z nejdůležitějších charakteristik čteček je metrika, která určuje maximální počet štítků, jež lze úspěšně načíst za jednu vteřinu. V pasivních systémech se počet načtených štítků průměrně pohybuje od 50 do 100 za vteřinu, v aktivních systémech od 50 do 900. Při tak vysokém množství (900 štítků za vteřinu) nelze vyloučit chybu čtení. Účinnou metodou proti přetěžování čteček enormním množstvím načítaných štítků je nasazení většího množství čteček s menšími oblastmi pokrytí. [4] [13]

2.2.1 Komponenty čtečky

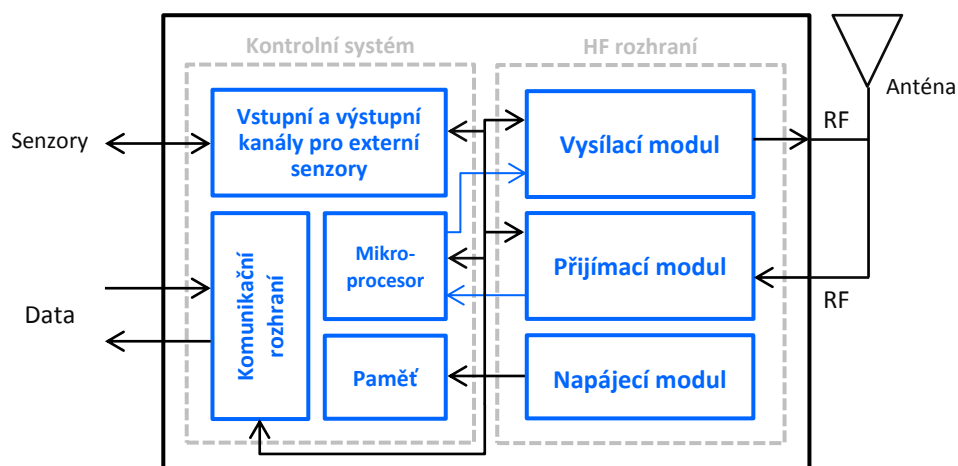
Subsystem čtečky lze rozdělit do dvou odlišných skupin. První skupinou je vysokofrekvenční rozhraní, druhou skupinou je kontrolní systém. Tyto skupiny spolupracují navzájem a s externím hostitelským systémem (*Obr. 4*). [9]



Obr. 4: Obecný diagram RFID čtečky, upraveno z [9]

2.2.1.1 Vysokofrekvenční rozhraní

Prvky vysokofrekvenčního rozhraní demodulují a dekódují data získaná ze štítku a zároveň dodávají energii pasivním a polopasivním štítkům. Jedná se o vysílací modul, který vysílá nosné vlny a napájí štítky; přijímací modul, který prostřednictvím antény přijímá signály ze štítku a posléze je odesílá mikroprocesoru; a napájecí modul dodávající odpovídající energii všem komponentům čtečky (Obr. 5). [9]



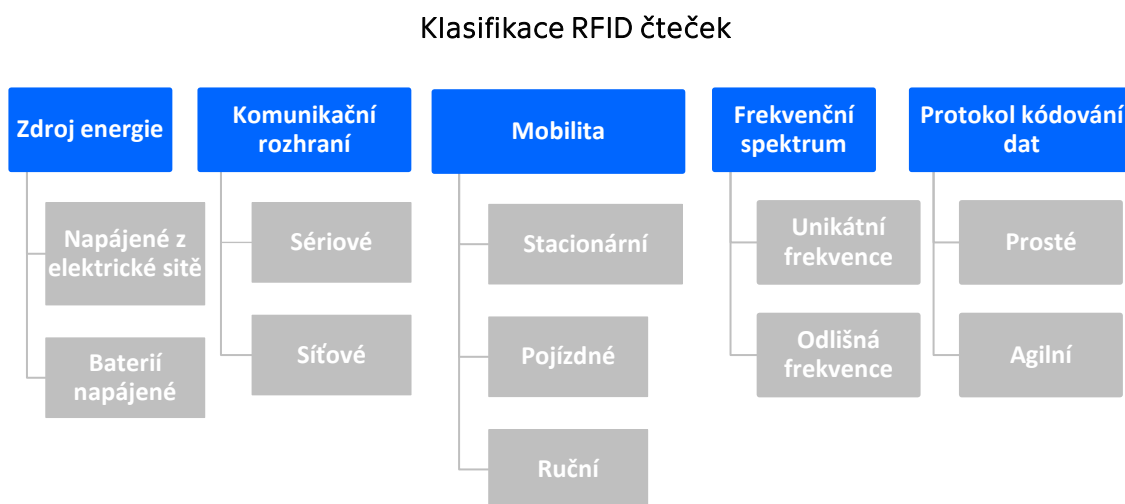
Obr. 5: Blokový diagram čtečky, upraveno z [9]

2.2.1.2 Kontrolní systém

Paměť čtečky je zodpovědná za uložení dat získaných ze štítku. Data jsou přenášena externímu hostitelskému systému - k tomuto účelu slouží komunikační rozhraní. Pokud je čtečka v provozu a štítky nejsou v jejím dosahu, je její provoz ztrátou energie. Pomocí připojených externích senzorů schopných detekovat přítomnost prvku v blízkosti čtečky je možné efektivně aktivovat čtečku v požadovaných časech. Mikroprocesor jakožto řídicí jednotka čtečky provádí požadované příkazy, filtruje data a ukládá je do paměti čtečky. [9]

2.2.2 Klasifikace čteček

Zde je prezentován komplexní přehled čteček RFID dostupných na současném trhu. Klasifikace je založena na zdroji energie, komunikačním rozhraní, mobilitě, frekvenčním spektru a protokolu kódování dat (Obr. 6). Následuje stručný popis každé kategorie.



Obr. 6: Klasifikace RFID čtecích zařízení, upraveno z [4]

2.2.2.1 Zdroj energie

Rozdělení RFID čteček na základě zdroje energie přináší dvě následující kategorie: čtečky napájené z elektrické sítě a baterií napájené čtečky.

Čtečky napájené z elektrické sítě využívají připojení napájecím kabelem k příslušnému elektrickému výstupu. Ve většině případů se u čteček využívajících tento způsob zásobování energií jedná o stacionární čtečky. [4]

Čtečky napájené baterií jsou lehké a většinou přenosné. Díky těmto vlastnostem jsou vhodné zejména pro ruční použití, ale není to podmínkou – trh nabízí i stacionární čtečky podporované baterií. [4]

2.2.2.2 Komunikační rozhraní

Podle rozhraní, které čtečka poskytuje ke komunikaci, dělíme čtečky na sériové a síťové.

Sériové čtečky používají sériové komunikační zapojení k hostitelskému počítači nebo softwarovými aplikacemi. Čtečka je fyzicky připojena k hostitelskému počítači pomocí sériového zapojení *RS-232*, *RS-485* nebo *USB*. Nevýhodou sériových čteček je omezený počet sériových portů na hostitelské straně. Pro zapojení velkého počtu čteček tak může být zapotřebí adekvátní množství hostitelských počítačů. Další nevýhodou je nižší rychlost přenosu dat v porovnání se síťovou přenosovou rychlostí. [4]

Síťové čtečky jsou připojeny k hostitelskému počítači prostřednictvím drátové nebo bezdrátové sítě. Tyto čtečky se chovají jako standardní síťová zařízení - podporují síťové protokoly jako *TCP/IP*, *LAN*, *WLAN* a další, což umožňuje rychlejší přenos dat oproti sériovému zapojení. [4]

2.2.2.3 Mobilita

Další klasifikací RFID čteček je ta na základě mobility. V rámci mobility rozlišujeme tři typy čteček, a sice stacionární, pojízdné a ruční.

Stacionární čtečky jsou známé také jako fixní čtečky. Jak z názvu vyplývá, není zamýšleno s nimi manipulovat. Jsou připevněny na zdi, portály, dveře nebo jiné objekty tak, aby mohly s pomocí připojené antény vykonávat efektivní čtení. Data načtená ze štítku při vstupu do dotazovací zóny jsou uložena v databázi – ta je aktualizována v reálném čase, což z RFID činí silný nástroj. Fixní čtečky jsou zpravidla využívány pro bezdrátové zachycování dat v oblasti dodavatelského řetězce, sledování aktiv a produktové kontroly. Většina jich dokáže podporovat více protokolů, a pracovat samostatně nebo v síti. Jejich váha se pohybuje od 1,5 kg do 5 kg. Čtecí vzdálenost může být až 300 m. [14]

Pojízdné čtečky jsou namontované na nákladních vozidlech a vysokozdvizných vozících za účelem zaznamenávání pohybu položek z jednoho místa na druhé. Pojízdná čtečka načítá data ze štítků jednotlivých prvků, krabic či palet, které vozidlo nese. Umístění pojízdných čteček lze určit propojením čteček se štítky zabudovanými do země nebo namontovanými na zdech objektu. Čtečky mohou pracovat buď v autonomním módu, kdy načtená data ze štítků rovnou odesílají do databáze, nebo v módu, kdy načtená data před odesláním do databáze určitou dobu uchovávají. [14]

Ruční čtečky jsou mobilní čtecí přístroje (*Obr. 7*), které mohou být přepravovány a operovány uživateli jako ruční jednotky. Ruční čtečky mají vestavěné antény a zpravidla nemají přípoj pro další přídatné antény. Jsou napájeny baterií a jsou lehké (do 1 kg). Mají kratší čtecí dosah než fixní, a sice přibližně do 60 m. Ruční čtečky jsou používány při sledování hospodářských zvířat, lokalizování položek ve skladu apod. S hostitelským počítačem obvykle komunikují bezdrátově. Některé ruční čtečky mají schopnost lokalizovat štítek s ohledem na umístění ruční čtečky, další čtečky disponují zároveň integrovanou čtečkou čárových

kódů tak, aby mohly být prováděny obě operace, tj. načítání RFID štítků a načítání čárových kódů. [14] [15] [16]



Obr. 7: Ruční čtecí zařízení
Honeywell IP30 [15]

2.2.2.4 Frekvenční spektrum

Kromě běžné nosné frekvence může čtečka k přenosu či příjmu dat využít další (odlišnou) frekvenci. Čtečky se tudíž na základě frekvence odezvy dělí do dvou skupin, přičemž jejich rozlišovací znak je frekvence odezvy. Ta je buď unikátní, nebo odlišná.

Čtečky na bázi unikátní frekvence odezvy pracují v unikátním frekvenčním pásmu a používají danou frekvenci jak pro přenos, tak pro příjem dat. Drtivá většina čteček na trhu operuje právě na bázi unikátní frekvence odezvy. [4]

Čtečky na bázi odlišné frekvence odezvy operují za jedné frekvence při vysílání a za jiné při přijímání dat. Jiná frekvence pro každý úkon umožňuje rychlejší a spolehlivější full-duplex¹ komunikaci, ovšem za cenu komplexnějšího zařízení – čtečky i štítku. [4]

¹ Full-duplex (plný duplex) - obousměrná komunikace může probíhat současně, na rozdíl od half-duplex (poloviční duplex) - komunikace může v daný okamžik probíhat pouze jedním směrem, tento směr se může lišit [57]

2.2.2.5 Protokol kódování dat

RFID čtečky mohou pro vysílání a přijímání dat používat nejen různé frekvence, ale i různé protokoly. Podle schopnosti čteček komunikovat se štítky různými protokoly se čtečky dělí na prosté a agilní.

Prosté čtečky používají jediný protokol ke komunikaci se štítky v dotazovací zóně. V okamžiku, kdy štítek podporovaný dotazovacím protokolem čtečky vstoupí do její dotazovací zóny, je automaticky rozpoznán. Pokud štítek operuje s jiným protokolem a vstoupí do dotazovací zóny čtečky, nedojde vlivem odlišnosti mezi protokolem štítku a čtečky k detekci, potažmo ani k přenosu dat. [4]

Agilní čtečky mohou pracovat se štítky nehledě na shodu protokolu mezi čtečkou a daným štítkem. Nejpoužívanější protokoly pro přenosy dat jsou *EPC Gen 1*, *EPC Gen 2*, *ISO 18000* a *TIRIS Bus Protocol*. Do kategorie agilních spadá většina čteček. [4]

2.3 Čtecí zóna

Čtecí neboli dotazovací zóna je oblast, ve které čtečka načítá data ze štítku nebo zapisuje data na štítek. Jde tedy o trojrozměrný fyzický prostor, kde mezi oběma komponenty RFID systému (čtečkou a štítkem) dochází k přenosu elektromagnetických vln. Dotazovací zóna spadá do fyzické vrstvy, protože úspěšná komunikace mezi čtečkou a štítkem je vysoce závislá na interferencích z jiných elektromagnetických zdrojů, odrazu vln nebo přítomnosti dalších stacionárních a pohyblivých objektů v zóně. [4]

2.4 Middleware

Jedná se o softwarovou komponentu, spojku mezi čtecím zařízením a podnikovým softwarem (*Enterprise Software*). Middleware sbírá data přímo ze čtečky, odesílá data čtečce, uchovává data a podle požadavků odesílá data podnikovým aplikacím, zároveň slouží k monitorování, konfiguraci a správě hardwaru (čtečky). V podnikových aplikacích jsou pomocí nashromážděných dat v požadovaných formátech prováděny příslušné procesy (např. tvorba faktur). Minimální informace vykazovaná middlewarem je ID štítku, většinou je však informace obsáhlejší – ID štítku, ID čtečky a datum/čas události. Sofistikovanější systémy zpracovávají další informace – stav paměti štítku, úroveň baterie štítku, informace o senzoru (předpokládá připojení senzoru), existenci štítku ve čtecí zóně (mimo čtecí zónu) a pozici štítku (předpokládá GPS). [4]

3 Standardizace

Standardizace technologie RFID zahrnuje tři vrstvy, a to vrstvu datového spojení, aplikační vrstvu a fyzickou vrstvu. Vrstva datového spojení se zabývá inicializací, protokolem, antikolizí a datovým obsahem štítku. Fyzická vrstva řeší komunikaci mezi štítky a čtečkami a aplikační vrstva určuje metody jejich testování. V poli RFID rozlišujeme několik úrovní standardizace: standardy, regulace a mandáty. [4]

Standardy jsou vytvářeny různými organizacemi s cílem usnadnit operabilitu (provozoschopnost) mezi různými komponenty různých výrobců. Standardy jsou aplikovatelné na hardware, software a na jejich použití, a definují tak jasnou kvalitu výrobků. Standardizační organizace mohou být mezinárodní jako *ISO*, *IEC*, *ITU*, národní jako *ANSI* (USA), *JISC* (Japonsko), nebo průmyslové jako *EPC Global*, *AIAG*. [4] [17]

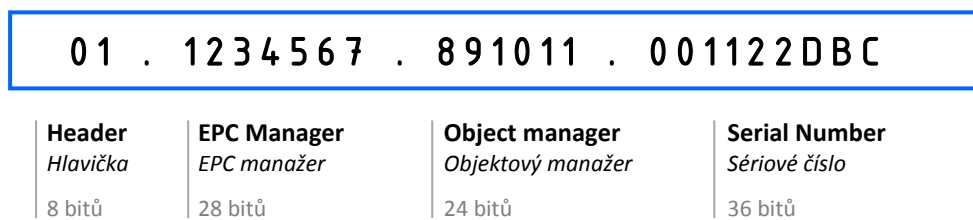
Výsledkem standardizace je v současnosti nejpropracovanější protokol *EPC Global Gen 2*, který odpovídá standardu *ISO 18000-6C* a je globálním standardem pro UHF. [17]

Za regulace zodpovídají regulační orgány nadnárodní nebo národní povahy jako *ERO* (pro Evropu), *FCC* (USA), *ČTÚ* (ČR) a tak dále. Pro umožnění provozu RFID systému v dané geografické oblasti musí standardy vyhovovat tamním regulačním předpisům. [4]

Dále v některých odvětvích (např. v logistice nebo maloobchodu) existují specifické předpisy, tzv. mandáty. Někteří odběratelé, zejména ve Spojených státech amerických, kde je tato praxe běžná, tak svým dodavatelům (mnohdy proti jejich vůli) předepisují povinnou integraci RFID systému s cílem zlepšit efektivitu svých dodavatelských řetězců. [4]

3.1 EPC

EPC (elektronický kód produktu) je globální standard pro datový obsah RFID štítku poskytující jednodušší a efektivnější způsob identifikace objektů. Štítek coby datový nosič je připevněný přímo k objektu a pomocí rádiových vln sděluje své identifikační číslo čtečce. Identifikační číslo (elektronický kód produktu) lze rozdělit na hlavičku, část identifikující výrobce (*EPC Manager*), část identifikující typ produktu (*Object Manager*) a sériové číslo (Obr. 8). Výhodou *EPC* oproti běžnému *IAN* (*International Article Number*) je schopnost rozlišit pomocí sériového čísla produkty, které se na první pohled jeví jako identické a které mají i shodný čárový kód, potažmo *IAN*. [8] [11]



Obr. 8: Elektronický kód produktu o délce 96 bitů, upraveno z [11]

Údaje z RFID štítků jsou na klíčových místech načteny a předány do sítě zvané *EPCglobal Network*. Tato síť se dá popsat jako soubor technologií umožňujících sdílení dynamických údajů o produktech v systému RFID. Základními komponenty sítě *EPCglobal Network* je elektronický kód produktu, *EPC Middleware* a *EPCIS*. *EPC Middleware* je software, který filtruje a směruje dané informace v reálném čase a následně je předává do *EPCIS* nebo do jiných modulů informačních systémů. *EPCIS* (*EPC Information Services*) je databáze údajů o načtených elektronických kódech produktu. Kromě samotného *EPC* je souborem databáze i datum a čas načtení nebo identifikační údaje čtečího zařízení a jeho lokalizace. [8]

3.2 ISO

RFID normy se podle aspektů, kterými se zabývají, dělí do několika oblastí. Hlavní oblasti standardizace této technologie jsou přitom následující: vzdušné rozhraní a přidružené protokoly, datový obsah a formátování, aplikace a další menší oblasti. Za nejdůležitější standard pro účely této diplomové práce lze považovat soubor norem ISO řady 18000: Informační technologie – Radiofrekvenční identifikace pro správu položek, jejíž části jsou uvedeny v *Tab. 4.* [18]

| Označení normy | Účel normy |
|----------------------|---|
| ISO/IEC 18000-2:2009 | Parametry komunikace pod 135 kHz včetně |
| ISO/IEC 18000-3:2010 | Parametry komunikace při 13,56 MHz |
| ISO/IEC 18000-4:2018 | Parametry komunikace při 2,45 GHz |
| ISO/IEC 18000-6:2013 | Parametry komunikace od 860 do 960 MHz |
| ISO/IEC 18000-7:2014 | Parametry komunikace při 433 MHz |

Tab. 4: Aktuálně platné normy ISO řady 18000 [18]

4 Limitace

Zde jsou nastíněny základní problémy, které technologii RFID limitují. Většina z nich byla nebo stále je předmětem výzkumu s cílem je odstranit a technologii posunout kupředu. Patří mezi ně především cena, potom rušení různými vlivy a naposled bezpečnost.

4.1 Cena

Na první pohled se zdá, že cena RFID systému je vysoká. Náklady na RFID zahrnují náklady na štítky, čtečky a IT infrastrukturu, případně tiskárnu etiket se štítky, pokud tyto nejsou součástí dodávky od integrátora systému. V posledních deseti letech jsme byli svědky klesajícího trendu cen štítků a čteček, nicméně jejich cena je stále vysoká ve srovnání s hlavním konkurentem – čárovým kódem. Náklady na štítky se pohybují v rozmezí od 3 Kč za obyčejný pasivní štítek s velmi krátkým dosahem do přibližně 600 Kč za speciální aktivní štítek s dlouhým dosahem, přičemž cena štítku stoupá nejen s rostoucím dosahem, ale i se zvyšujícím se množstvím informací, které lze na štítek uložit. Cena čteček se pohybuje mezi 10 000 a 100 000 Kč za kus, v závislosti na technologii a funkcích. Tisk RFID etiket je možný dvěma způsoby, buď se běžná tiskárna osadí speciální RFID hlavou (7 000 až 20 000 Kč), nebo se etikety tisknou speciální tiskárnou na RFID štítky. Ty se dělí na stolní s cenou okolo 45 000 Kč za jednotku a průmyslové s cenou kolem 110 000 Kč za jednotku. Náklady na čtečky, tiskárny a IT infrastrukturu lze považovat za fixní, neboť se při změně množství produkce téměř nemění. Náklady na štítky jsou oproti tomu variabilní, jelikož každý jednotlivý prvek vyžaduje svůj vlastní štítek. V populární literatuře se tedy náklady na štítky obvykle považují za nejdůležitější determinant ziskovosti RFID. S těmito údaji o nákladech je zřejmé, že společnosti musí před implementováním systému vážít návratnost investice. [9] [19]

4.2 Rušení

Existují dvě objektivní příčiny rušení při procesu načítání RFID štítků. Častým zdrojem rušení jsou již od zrodu technologie kovové materiály a kapaliny. S vývojem technologie RFID, respektive s rostoucím využitím dalších frekvenčních pásem se rozšířily možnosti rušení vlivem právě frekvence.

4.2.1 Materiálové

Radiofrekvenční zařízení ke komunikaci nevyžadují přímou viditelnost - nosné médium v podobě elektromagnetických vln prochází většinou materiálem. Existují však materiály, přes které elektromagnetické vlny neprojdou. Jedná se zejména o kovy, které energii reflektují, dále pak kapaliny, které energii absorbují. Odrazem od kovů může dojít k vytvoření slepé zóny ve čtecím poli, což vede k nepřečtení štítků (aktivních i pasivních) vyskytujících se v této zóně. Kov je navíc schopen rozladit anténu štítku, čímž mu zabraňuje přijímat potřebnou energii ze čtečky. Vzhledem k tomu, že kov je běžným materiálem vyskytujícím se na stavbách (v podobě nosných prvků, spojovacího a kotvicího materiálu atd.), může rušení jeho vlivem znamenat značná omezení. Tomu lze zabránit použitím štítků navržených pro označování kovových prvků. Klíčovou vlastností je oddělení antény od povrchu kovu, k tomu je využíván podklad z termoplastu (Obr. 9) nebo zapouzdření integrovaného obvodu s anténou do polypropylenového pouzdra, čímž vzniká tzv. *Hard tag* (Obr. 10). [20]



Obr. 9: RFID štítek *Confidex Silverline Classic™* [59]



Obr. 10: RFID štítek *Omni-ID Exo 750* [60]

Voda a jiné kapaliny energii ze čtečky pohlcují. Štítek pohlcenou energií postrádá a není schopen čtečce vyslat zpětný signál. V některých případech se štítku dostane tak málo energie, že není schopný signál ze čtečky ani přijmout. Řešením je navrhnout systém s nižší provozní frekvencí, jelikož ta nepodléhá absorpci v takové míře jako vyšší provozní frekvence (např. UHF). Nevýhodou použití LF oproti UHF je pomalejší rychlost přenosu dat a kratší čtecí dosahy. Při návrhu UHF je pak zapotřebí využít štítků navržených speciálně pro použití na nádobách naplněných kapalinou (kompletně zapuštěných v pryskyřici) nebo štítků s prokladovou vrstvou z PE pěny nebo silikonu (Obr. 11). Alternativním řešením, vhodným i pro kovové povrchy, je zamezení kontaktu štítku s povrchem za pomoci tzv. *Flag tagu* (Obr. 12). Pokud se v okolí RFID systému nachází vodní nádrže nebo stroje naplněné vodou či jinou kapalinou, je třeba systém rozšířit hardwarem tak, aby se zajistila průchodnost energie k označovaným objektům v dostatečném množství.

[20] [21]



Obr. 11: RFID štítek *Omni-ID IQ 600* [61]



Obr. 12: UHF RFID štítek *SATO Flag Tag* [21]

4.2.2 Frekvenční

K rušení dochází v oblastech, kde se střetávají RFID systémy s bezdrátovými lokálními sítěmi (WLAN/WiFi) nebo osobními sítěmi (WPAN, Bluetooth), a to pouze v případě, že zařízení sdílejí společná nebo těsně přiléhající kmitočtová pásma. To samé platí pro stroje, které emitují elektromagnetické vlny a vytváří tak potíže se čtením štítků, nebo dokonce slepé zóny. Způsob, jak rušení vlivem kolize systémů předejít, spočívá ve správném nastavení těchto systémů. Klíčové je nastavení zařízení tak, aby nepoužívala stejné RF kanály současně. To a správná pozice hardware dokáže možným problémům s rušením zabránit. [4] [6]

V prostředí velkého množství čteček je v rámci omezení rušení potřeba jednotlivým operacím přiřadit časové úseky a synchronizovat software. Čtečky musí podporovat mód komunikace *LBT* (*Listen Before Talk*). Jedná se o mód, při kterém rádiové vysílače nejprve prozkoumají své okolí a teprve potom zahájí vlastní přenos signálu. Nakonec musí být úrovně výkonu antén naladěny tak, aby se minimalizovalo překrytí jejich dotazovacích zón. [4]

4.3 Bezpečnost

S přijetím technologie RFID je nutné, aby organizace a jedinci brali v potaz možná rizika v oblasti bezpečnosti a soukromí.

4.3.1 Ochrana soukromí

Kdykoliv je sledován pohyb osob, vyvstávají obavy spojené s ochranou jejich soukromí. Zákoník práce sledování zaměstnanců připouští, pokud k tomu zaměstnavatel má závažný důvod spočívající ve zvláštní povaze jeho činnosti. Takovým důvodem je zajištění bezpečí na pracovišti, kontrola docházky, kontrola dodržování technologických postupů, a v neposlední řadě ochrana majetku zaměstnavatele. [22]

Zaměstnavatel je povinen informovat zaměstnance o rozsahu, způsobu a účelu zpracování osobních údajů získaných jejich sledováním a o tom, kdo a jakým způsobem k takto získaným osobním údajům bude mít přístup. Dále je doporučeno zaměstnance poučit o sledovaných prostorech, v jakých časech sledování probíhá, a o tom, zda je záznam uchováván, případně jak dlouho. Posledním doporučením zaměstnavateli je zaměstnance nechat podpisem stvrdit fakt, že byl o skutečnostech týkajících se jeho sledování na pracovišti informován. Takový podpis však nelze právně interpretovat jako souhlas se zpracováním osobních údajů. [22]

4.3.2 Zabezpečení systému

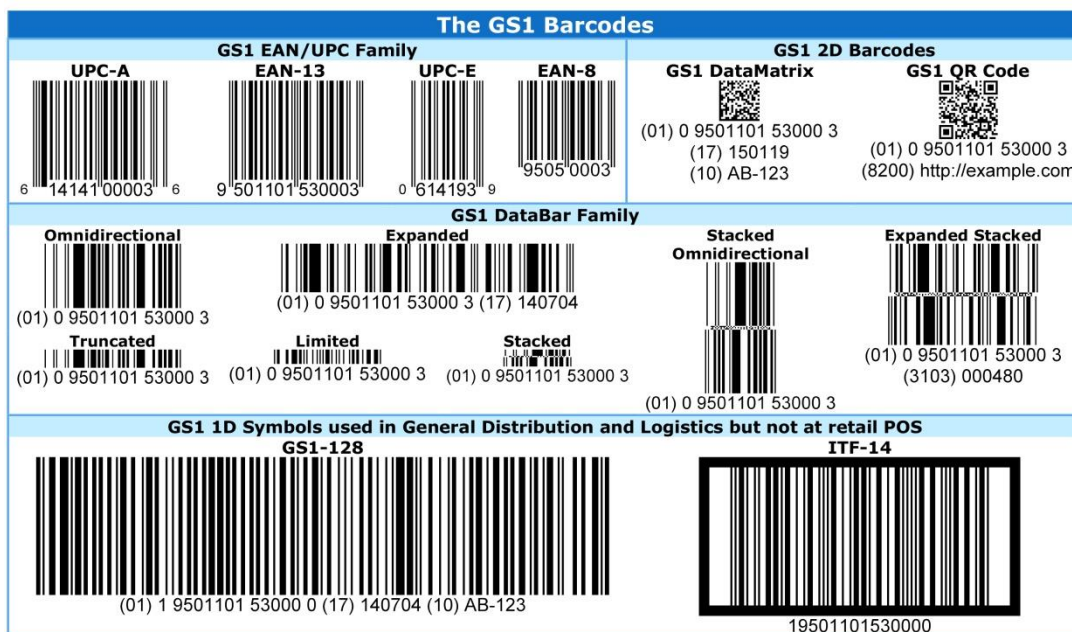
Systémy RFID, stejně jako většina elektroniky a sítí, jsou citlivé jak na fyzické, tak elektronické útoky. S vývojem technologie se vyvíjí i způsoby, jakými jsou hackeři (počítačovní specialisté) schopni poškodit systém nebo získat osobní informace či vstup do zabezpečených oblastí.

Čtečky komunikují se štítky pomocí rádiových vln, získané informace postoupí middlewaru, který je připojen k databázi. Napadnutelné jsou všechny uvedené komponenty RFID systému. [23]

V případě štítků je první hrozbou jejich odcizení či poškození všude tam, kde jsou volně dostupné. Další slabinou je mnohdy ukládání nešifrovaných dat na štítky, šifrování dat totiž zvyšuje náklady na výrobu, tím pádem i cenu štítků. K nešifrovaným datům štítků má přístup kdokoliv s příslušným čtecím zařízením, nicméně bez přístupu ke konkrétní databázi jsou získaná data téměř bezcenná. Se znalostí protokolu lze odečíst komunikaci mezi čtečkou a štítky, čemuž lze předcházet již zmíněným šifrováním dat štítků. Čtecí zařízení, middleware i databázi je možné napadnout i ze sítě, proto je účinným opatřením před krádeží dat dostatečné zabezpečení sítě a jejích přístupových bodů. [11] [23]

5 Porovnání s čárovými kódy

Čárové kódy, jakožto nejrozšířenější datové nosiče v maloobchodu, jsou ve své podstatě data zakódovaná do obrazu. K prezentaci zakódovaných dat obraz využívá oblasti s vysokým kontrastem mezi černými čarami či čtverci a bílým pozadím. Rozeznáváme dva základní formáty čárových kódů, a sice lineární čárové kódy (1D) a dvojrozměrné kódy (2D). Přehled čárových kódů s jejich vlastnostmi je v *Tab. 5*. Dvojrozměrné kódy lze dále rozdělit na maticové a skládané, jak je patrné z *Obr. 13*. [24]

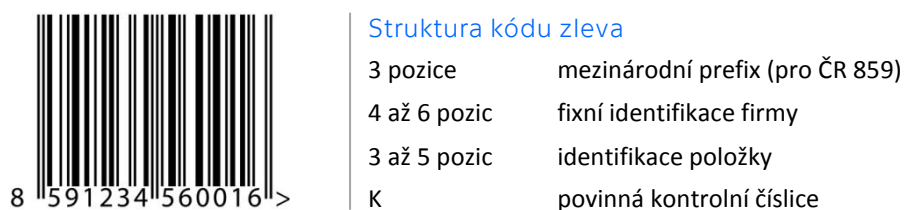


Obr. 13: Přehled čárových kódů [25]

| | Označení | Typ | Délka datového pole | Možnosti využití | Norma |
|------------------------|---|---------------------------------------|---|--|---------------|
| Lineární (1D) |  | Spojité, numerický | Pevná – 13 znaků | Identifikace spotřebitelských a obchodních jednotek, snímání na POS | ISO/IEC 15420 |
| |  | Spojité, numerický | Pevná – 8 znaků | Identifikace malých spotřebitelských jednotek, snímání na POS | ISO/IEC 15420 |
| |  | Spojité, numerický | Pevná – 12 znaků | Identifikace spotřebitelských a obchodních jednotek na americkém trhu a snímání na POS | ISO/IEC 15420 |
| |  | Spojité, numerický | Pevná – 12 znaků; obsahuje sekvence čtyř nul, které jsou v průběhu kódování vynechávány | Identifikace malých spotřebitelských jednotek na americkém trhu a snímání na POS | ISO/IEC 15420 |
| |  | Spojité, numerický nebo alfanumerický | Až 74 numerických znaků nebo 41 alfanumerických znaků (zakódovatelné znaky ASCII 0-127) | Identifikace VMI (zboží s proměnnými jednotkami), velmi malých produktů, volně loženého sortimentu ovoce a zeleniny, čerstvých potravin, kupónů a snímání na POS | ISO/IEC 24724 |
| Dvoudimenzionální (2D) |  | Spojité, numerický | Pevná, 14 znaků v sedmi párech (zakódovatelné znaky ASCII 48-57) | Identifikace obchodních jednotek | ISO/IEC 16390 |
| |  | Spojité, alfanumerický | Proměnná – max. 48 znaků/řádek (zakódovatelné znaky ASCII 0-127) | Identifikace obchodních a logistických jednotek | ISO/IEC 15417 |
| |  | Maticový s vysokou hustotou dat | Až 3116 numerických znaků nebo 2335 alfanumerických znaků | Různé sektory, zejména oblast zdravotnictví | ISO/IEC 16022 |
| |  | Maticový s vysokou hustotou dat | Až 7089 numerických znaků nebo 4296 alfanumerických znaků | Převážně pro zakódování standardního formátu URL adresy | ISO/IEC 18004 |

Tab. 5: Podrobný přehled čárových kódů včetně jejich hlavních charakteristik [24]

Nejrozšířenějším formátem lineárního čárového kódu v Severní Americe je *UPC (Universal Product Code)*. Mezinárodním ekvivalentem *UPC* je formát *IAN*, známý také jako *EAN (European Article Number)*. *Obr. 14* popisuje strukturu kódu *EAN-13*. [25]



Obr. 14: Struktura lineárního čárového kódu *EAN-13* [24]

5.1 Rychlost

Některé z nejmodernějších RFID čteček zvládnou identifikovat až 900 štítků za pouhou vteřinu, zatímco snímač čárových kódů je schopen v daný okamžik identifikovat jediný čárový kód. Schopnost načíst více RFID štítků za stejný časový interval, za který dojde k načtení jednoho čárového kódu, šetří čas i lidskou práci a podílí se na zvyšování efektivity většiny logistických procesů. [9] [13]

5.2 Viditelnost

Světlo vyzářené skenerem čárových kódů se šíří prostorem ve formě vlny, která nedisponuje schopností procházet materiály jako je zdivo, papír apod. Ke čtení čárových kódů je proto zapotřebí přímé viditelnosti mezi kódem a optickým snímacím zařízením, kterým může být perový, laserový či kamerový snímače. [9]

Naproti tomu RFID čtečky pro komunikaci se štítky přímou viditelnost nevyžadují – čtečka může být klidně umístěna za dělící konstrukcí, pokud to čtecí dosah dovolí. Existují však materiály, skrze které radiový signál neprojde. O materiálovém (i jiném) rušení pojednává kapitola 4.2. [9]

5.3 Odolnost

Vzhledem k tomu, že čárové kódy jsou zpravidla vytištěny na papírových štítcích nebo nechráněných površích, mohou být velmi snadno poškozeny, čímž je znemožněna jejich čitelnost. Výjimku tvoří dvojrozměrné kódy, které lze s přispěním Reed-Solomonova algoritmu vyhledávání a korekce chyb úspěšně přečíst až s 30% poškozením plochy symbolu. [24]

RFID štítky lze nalézt v různých provedeních v závislosti na jejich požadované aplikaci od jednoduchého štítku v podobě ploché obdélníkové nálepky z plastové fólie s papírovým překrytím vhodné do knihovnických systémů až po tzv. *Hard Tag* navržený do extrémních podmínek – např. *Omni-ID® Exo 400* s krytím IP68, váhou 5,7 gramu a rozsahem provozní teploty -20 ° až +85 °C. Některé RFID štítky lze navíc znovu použít díky možnosti opětovného zápisu, což v některých aplikacích snižuje náklady na nasazení štítků. Takovou možnost čárové kódy nenabízejí, lze je pouze číst. [9] [26]

5.4 Implementace

Technologie čárových kódů je globálně osvědčená snadno aplikovatelná technologie, která je v porovnání s RFID infrastrukturou poměrně levná. Výhoda čárových kódů oproti RFID spočívá v tom, že data zakódovaná do čárového kódu (*UPC*) jsou pro případ nečitelnosti kódu vytištěna i pod tímto kódem (*Obr. 14*). *UPC* je tak v případě čárových kódů čitelný i bez hardwaru. V případě RFID lze k přečtení dat štítku použít pouze hardware. Ideálním řešením je označit všechny RFID štítky čárovými kódy, které reflektují téměř všechna data uložená v RFID štítku. Použitím této techniky se stávají logistické procesy flexibilnější, zejména tím, že pracovníci mohou podle potřeby načíst RFID štítky nebo čárové kódy, nebo jednoduše odečíst číslo *UPC* vytištěné pod čárovým kódem. Při přechodu z čárových kódů na technologii RFID je tímto systémem zajištěna zpětná kompatibilita. [9]

5.5 Náklady

Vstupní náklady obou identifikačních systémů (čárových kódů a RFID) jsou rozdílné, ačkoliv se může zdát, že se jedná o téměř totožné technologie. Ceny RFID štítků se liší od cen čárových kódů ze dvou důvodů. Prvním z nich je fakt, že RFID štítek obsahuje pokročilou elektroniku, zatímco čárový kód je v podstatě pouze obraz. V případě RFID čteček je to obdobné – obsahují sofistikované komponenty jako digitální signálový procesor, mikroprocesor a radiofrekvenční vysílač. Druhým důvodem jsou náklady na samotnou výrobu identifikačních prvků. K výrobě čárových kódů postačí černobílá tiskárna, naproti tomu i ten nejjednodušší RFID štítek obsahuje velmi malý integrovaný obvod a anténu, jejichž výroba je výrazně náročnější v porovnání právě s tiskem čárových kódů. S rostoucím objemem identifikačních prvků, ať už RFID štítků nebo čárových kódů, náklady na jeden prvek pochopitelně klesají.

Tab. 6 přehledně shrnuje základní rozdíly mezi identifikačním systémem na bázi čárových kódů a RFID identifikačním systémem.

| | Čárový kód | RFID |
|------------------------------|---|---|
| Metoda čtení | Laserový skener je potřeba přímá viditelnost | RFID čtečka není potřeba přímá viditelnost omezení kovy a kapalinou |
| Rychlost čtení | Jeden po druhém | Několik najednou |
| Odolnost | Náchylné k poškození (podle nosného média) | Odolné až extrémně odolné |
| Kapacita informací | Omezená | Stoupá od pasivního k aktivnímu |
| Aktualizace informací | Nemožná | Možná (u některých typů štítků) |
| Náklady | Nižší | Výrazně vyšší |

Tab. 6: Základní rozdíly mezi ČK a RFID [vlastní]

6 RFID aplikace

Obecně lze RFID aplikace rozdělit do dvou kategorií – aplikace s krátkým dosahem (*short-range, SR*) a aplikace s dlouhým dosahem (*long-range, LR*). Rozlišovacím znakem je přitom vzdálenost mezi štítky a čtečkou. Dlouhý dosah je obvykle umožněn použitím aktivních štítků, které jsou napájeny interně baterií. Uplatní se v aplikacích podél dodavatelského řetězce, v logistice, v knihovnictví a při označování zavazadel a oděvů. Mezi krátkodosahové aplikace patří řízení přístupu, bezkontaktní platby nebo identifikace osob, věcí a vozidel. [11]

6.1 Automobilový průmysl

Automobilový průmysl neboli *automotive* je jedno ze stěžejních průmyslových odvětví v Evropské unii. Má významný podíl na zaměstnanosti - v Evropské unii zaměstnává více než 12 miliónů lidí, v České republice vytváří 150 000 přímých pracovních míst. Výroba automobilů je zásadní také pro evropskou ekonomiku, jelikož představuje 4 % HDP. [27] [28]

Technologie RFID nabízí v automobilovém průmyslu řadu využití, mezi něž patří zvyšování produktivity a zlepšování výstupů produkce, nebo automatizace výrobních procesů. S pomocí bezdrátových informačních sítí lze technologii rozšířit tak, aby pokryla životní cyklus vozidla. V následujícím textu jsou vybrány a popsány tři hlavní oblasti aktuálního využití RFID.

6.1.1 Imobilizér

Automobilový imobilizér je bezpečnostní zařízení instalované ve vozidle za účelem ztížení neoprávněného užití vozidla. Jako účinný nástroj prevence proti krádeži je v evropských zemích povinně instalován do nových vozidel již téměř 20 let (v Austrálii 17 let, v Kanadě 11 let). [29]

Transpondér (Obr. 15) zalisovaný v klíči zapalování obsahuje skrytý kód, který odpovídá příslušnému kódu v elektronické řídicí jednotce (ECU) vozidla. Řídící jednotka umožní motoru nastartovat, pouze pokud oba zmíněné kódy odpovídají. V opačném případě jednotka zablokuje přívod elektrického napětí do čerpadla či do startéru motoru. Některé vozy navíc bezdrátovými prostředky upozorní majitele vozu na nevyžádanou aktivitu. Vzhledem k tomu, že jsou prvky imobilizéru pevně zabudovány do elektroniky automobilu, je vcelku obtížné systém narušit nebo deaktivovat, a proto se jedná o spolehlivý a kvalitní způsob jak chránit vozidlo před zneužitím či krádeží. [29] [30]



Obr. 15: Transpondér UNIQUE ve skleněném pouzdře o rozměrech 3,15 x 13,3 mm [30]

6.1.2 Řízení zásob

Technologie RFID ve výrobě zvyšuje viditelnost a přesnost v řízení zásob a managementu automobilových součástek a příslušenství. Její zavedení do výrobního procesu napomáhá implementaci výrobní metody *Just in Time*. Automobilový průmysl je průmysl operací s vysokou hodnotou a středním objemem, kde jeden z cílů v montážním procesu je udržet zásoby a součástky na nízké hladině, ale ne za cenu jejich vyčerpání. Pro dosažení tohoto cíle je nezbytné řídit vysoce efektivní plán výroby a doplňování zásob. To vyžaduje pečlivé plánování založené na přehledu o množství produkce, skladových zásobách a přechodných součástkách. Technologie RFID je pro tento účel spolehlivým řešením, jelikož poskytuje přesné informace o inventáři v reálném čase.

Příkladem efektivního řízení zásob je spolupráce logistické společnosti *TNT* s automobilkou *Ford Motor Company*. Iniciativu

na zavedení technologie RFID jako součást logistického řešení pro automobilové výroby zahájila TNT v montážním závodě v *Dearborn*, ve státě *Michigan*. RFID štítky na jednotkách zásob a síť bezdrátových lokalizačních senzorů jsou nastaveny tak, aby poskytovaly informace o poloze a statusu jednotek v reálném čase, sdílené mezi montážním závodem *Ford* a logistickým centrem *TNT*. S těmito informacemi může centrum doručovat závodu díly po malých sekvencovaných dávkách. Systém tedy zajišťuje nepřetržitý tok dílů z logistického centra do výrobního závodu a současně automatizuje předvýrobní procesy, jako je příjem logistických jednotek na vjezdových branách, naskladňování jednotek do dočasných skladovacích regálů, vyskladňování dílů z regálů a jejich přesun k výrobním linkám nebo ověření specifikací součástí. [9]

Pro dodavatele jsou přínosné informace o využívání aktiv a dostupnosti volných skladovacích kapacit, zatímco výrobci systém napomáhá automatizovat *workflow*, snižovat zásoby na minimální možné množství a předcházet přerušení výroby. Všichni účastníci automobilového dodavatelského řetězce tak mají z RFID systému řízení zásob prospěch.

6.1.3 Pružná výroba

Automobilový průmysl, jak jej známe dnes, je již značně automatizovaná výrobní oblast. Plné automatizace výroby a její pružnosti je dosaženo integrací pokročilé robotiky a systémů manipulace s materiály se schopností automatické identifikace pomocí RFID.

Začlenění RFID štítků do automobilových komponent a příslušenství dovoluje navzdory různým specifikacím a determinačním klíčem jednoznačnou automatickou identifikaci těchto komponent a subkomponent, což zvyšuje agilitu automotivní skladby. Pro mnoho různých modelů automobilů vyráběných podél té samé výrobní linky nesou RFID štítky jednotlivých komponentů příslušné informace o montáži. Čtečky získávají příslušné informace o montáži ze štítků

komponentů postupujících montážním procesem a jednoúčelové stroje na základě těchto informací provádějí požadované operace. Na štítky podporující možnost zapisování lze předtím, než se dostanou do další fáze skladby, zapsat jejich aktuální stav (např. dokončená montáž na stanovišti X), což dává přehled o jejich stavu a lokaci v reálném čase. Před opuštěním výrobní linky nebo jejího úseku je ověřením informací načtených ze štítků komponentů provedena kontrola kvality. [9]

S takovou flexibilitou při specifikaci a sledování dílů lze koncept plně pružného výrobního systému snadno realizovat, a to bez nutnosti oddělování výrobních operací. Kromě toho nalézají informace z RFID štítků uplatnění v navazujících nebo jiných informačních systémech výrobního podniku (inventarizace, skladové zásoby apod.). Je tedy zřejmé, že vhodným nasazením systému RFID v automotive výrobě lze dosáhnout výrazných časových a nákladových úspor.

6.2 Doprava

6.2.1 Elektronické mýtné

Elektronický výběr mýtného je jednou z dosavadně nejúspěšnějších aplikací RFID technologie. Svě o tom ví Norsko, které systém využívá pro výběr mýta osobních automobilů nebo Švýcarsko, kde elektronicky mýto platí vozidla nad 3,5 tuny. Automatizací manuálního výběru mýtného dochází ke zrychlení procesu, jelikož řidiči již nemusí u mýtné brány zastavovat. Štítky jsou namontovány zevnitř vozu na čelním skle, a to buď v horním rohu u řidiče, nebo častěji v blízkosti zpětného zrcátka. Čtecí zařízení jsou instalována na mýtných branách a směřována dolů na středy jízdních pruhů. Jejich čtecí dosah je omezen na jeden pruh, aby nedocházelo ke zdvojenému čtení. Když vozidlo vybavené aktivním RFID štítkem míjí mýtnou bránu, dochází k okamžitému navázání kontaktu mezi štítkem a čtečkou. Ze štítku jsou odečteny informace spolu s jeho identifikačním číslem, které je základem pro automatické zpracování platby mýtného. Na každý jízdní

pruh připadá více čteček. Ty jsou nastaveny tak, že v daném okamžiku je zapnuta a připravena ke čtení právě jedna čtečka, přičemž čteče stačí k přečtení pouhých pár milisekund. Takové nastavení umožňuje snímat štítky vozidel projíždějících i ve vysoké rychlosti, což v důsledku redukuje dopravní kongesce. Systém automatického výběru mýta na základě technologie RFID poskytuje pohodlí řidičům za současného zvýšení bezpečnosti silničního provozu. Významným benefitem je i snížení provozních nákladů a možnost dalšího využití nasbíraných dat například v řízení silniční dopravy. [9] [11] [31]

6.2.2 Automatická identifikace vozidel

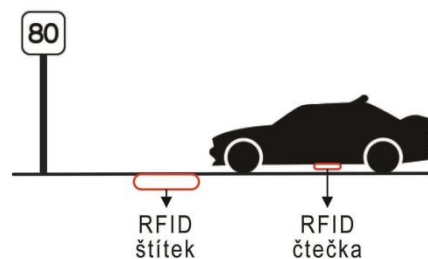
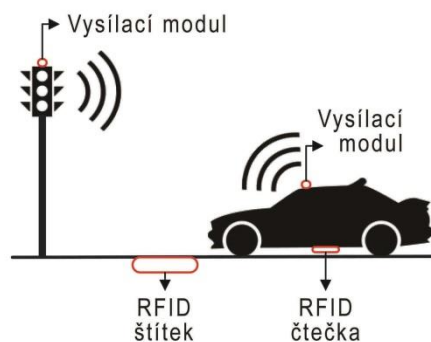
Nejběžnější způsob identifikace vozidla je pomocí jednoznačného písmeno-číselného označení na registrační značce (RZ). Automatická identifikace vozidel (AVI) je často přisuzována pouze automatickému rozpoznání poznávacích značek vozidla (ANPR). V tomto systému se z fotografie registrační značky pomocí optického rozpoznání znaků (OCR) určí jednotlivé znaky, které po vytvoření celku RZ slouží k identifikaci vozidla. Při určitém stupni znečištění registrační značky se tento druh automatické identifikace vozidel jeví jako nespolehlivý. Metoda je mimo jiné stále využívána při elektronickém výběru mýta pro ty vozy, které nevlastní RFID štítek (např. turistické vozy). [9]

Technologie RFID se pro účel automatické identifikace vozidel skvěle hodí. Pasivní UHF štítky implementované do registračních značek mají při elektronickém výběru mýta potenciál nahradit aktivní štítky na čelním skle, zejména s přihlédnutím k cenovému rozdílu mezi oběma variantami štítků. Navíc rozšiřují možnosti snadného a bezpečného automatického přístupu na parkoviště a do vyhrazených zón. Pomocí štítku v RZ lze také s větší pravděpodobností dohledat nahlášené odcizené vozidlo. Pohyb vozidla je v takovém scénáři zaznamenáván načtením štítku při průjezdu kolem čtečky instalované na mýtné bráně, silniční lampě a podobných místech. Pro tyto účely je vhodnější RFID štítek zabudovat do méně přístupného prvku, než kterým je registrační

značka – tu lze snadno demontovat a znemožnit tak elektronickou identifikaci vozidla. [9]

6.2.3 Inteligentní doprava

Úlohu vozidel v dopravě lze pomocí RFID změnit z pasivní na aktivní. Důležitou roli při tom hraje rozpoznávání světelné signalizace. Systém založený na technologii RFID se vyhýbá problémům (např. měření vzdálenosti a spojitosti objektů) spjatým s běžnými systémy rozpoznávání světelné signalizace, zejména se systémy, které za tímto účelem využívají techniku digitálního zpracování obrazu. Předpokládaná poloha prvků RFID systému tohoto řešení je zřejmá z Obr. 16. Jakmile vozidlo projede přes štítek integrovaný ve vozovce, rádiový vysílací modul vozidla vyšle světelnému signalizačnímu zařízení zprávu obsahující identifikační číslo štítku a vozidla. Číslo štítku definuje jízdní pruh, ve kterém se dané vozidlo nachází, zatímco číslo vozidla jednoznačně identifikuje cíl komunikačního toku – signalizační zařízení tak skrze svůj rádiový modul vysílá konkrétnímu vozidlu informace o stavu provozu. V případě křížení pozemních komunikací je pouze jedno hlavní světelné signalizační zařízení vybaveno vysílacím modulem, tzn., že jako jediné řídí tok vozidel. Nouzovým vozidlům (např. vozidlům složek IZS) lze přiřadit zvláštní prioritu. Systém umožňuje také snadnou identifikaci odcizených vozidel. [31] [32] [33]



Obr. 16: Model RFID systému rozpoznávání světelné signalizace, upraveno z [32]

Obr. 17: Model RFID systému rozpoznávání dopravního značení, upraveno z [32]

Obdobně lze RFID využít při rozpoznávání dopravního značení. Každý předem definovaný štítek reprezentuje určitou dopravní značku. Vozidlo se čtečkou načítá štítek implementovaný ve vozovce v potřebné vzdálenosti před vlastní dopravní značkou (*Obr. 17*). [32]

6.3 Logistika

6.3.1 Walmart

Jedním příkladem za všechny je v oblasti logistiky nadnárodní obchodní společnost *Walmart*. Ta svým dodavatelům prostřednictvím mandátů stanovuje pravidla pro dodávání zboží. V roce 2003 společnost oznámila stovce svých předních dodavatelů požadavek na zavedení technologie RFID na úrovni obchodních jednotek (krabic a palet) do roku 2005. Hlavním motivem k tomu bylo zvýšení účinnosti dodavatelských řetězců společnosti, tedy zvýšení transparentnosti a snížení nákladů a práce. I díky přesměrování velké části nákladů na dodavatele (ti hradí štítky na každé obchodní jednotce) se společnosti Walmart podařilo RFID technologii úspěšně zavést do většiny svých dodavatelských řetězců, z čehož těží dodnes. [9] [11]

Čtečky instalované ve vjezdových branách načítají data ze štítků, probíhá tak kontrola doručeného zboží a zároveň jeho inventarizace. Štítky jsou znovu načteny před umístěním zboží na obchodní plochu, čímž se v databázi mění jejich status – uvolněny ze skladu k prodeji. Poslední načtení štítku probíhá na pokladním místě (*POS*). Systém umožňuje také omezení krádeží, pokud se instaluje čtecí brána při východu z obchodní plochy. [34]

Mezi výhody takto nastaveného systému společnosti Walmart patří vyšší produktivita, nižší úroveň zásob (snížení kolem 25%), vyšší pružnost (*Just in Time* správa inventáře) a kratší doba dodávek, a nakonec vyšší zisky. Tato fakta podtrhují celkové úspory 8,34 bilionu \$ ročně. [34]

7 RFID ve stavebním průmyslu

V dynamickém prostředí složitých systémů s mnoha účastníky a výrobky je velmi náročné sledovat komponenty, materiály a nástroje a monitorovat pracovní sílu a související informace. Typickým příkladem takového prostředí je staveniště. Dodávané prvky jsou v rámci staveniště skladovány na různých místech a tato místa se před instalací prvků do finálních pozic mohou několikrát změnit. Zbytečný pohyb prvků je umocněn frekvencí a nárazovostí dodávek. Na rozdíl od pásové výroby je prostředí in situ stavební výroby nekontrolované – prvky se nepohybují po předem stanovené trase nebo nefungují předem stanoveným způsobem. Kromě toho stavební výroba čelí vnějším klimatickým podmínkám – déšť, mráz, prach apod. Je zřejmé, že v takto dynamickém a drsném prostředí je současný způsob sledování zdrojů založený na manuální práci s papírovou dokumentací neúčinný a neefektivní.

Další charakteristickou vlastností stavebního průmyslu je rozsáhlé portfolio materiálů a komponent. Tyto vyžadují specifické podmínky sledování a manipulace a podléhají jedinečným instalačním technikám. Pracovníci se v současné chvíli řídí pokyny pro manipulaci a instalaci uvedenými ve vytištěných montážních návodech, což vede k časově náročnému vyhledávání souvisejících informací. Proto je zapotřebí, aby informace o materiálech a komponentech byly nejen na staveništích snadno a rychle přístupné. Výrobky a meziprodukty ve stavebnictví jsou dále charakteristické svými značnými rozměry, které v případě označení prvků identifikačními štítky mohou nalezení těchto štítků znesnadňovat.

Automatizované identifikační technologie jako lineární čárové kódy nebo dvourozměrné kódy jsou ve stavebnictví dostupné pro sledování zdrojů a souvisejících informací. Nicméně obě uvedené technologie vyžadují k zachycení identifikačních údajů přímou viditelnost a intenzivní skenovací práci, která musí být provedena na každém

jednotlivém prvku. Tento způsob se opírá o úsudek pracovníků a jejich dovednosti, přičemž někteří pracovníci považují toto shromažďování dat za druhotný úkol, což vede k neúplnosti a nepřesnosti dat. Výsledkem je nespolehlivost poskytovaných dat v takto nastavených systémech.

Technologie RFID nevyžaduje pro sběr dat přímou viditelnost. Některé systémy mají velké čtecí dosahy a velké paměťové kapacity, jejich štítky mohou být navíc zapouzdřeny pro zvýšení odolnosti v náročných provozních podmínkách. Všechny tyto aspekty činí z technologie RFID atraktivní nástroj, který má potenciál řešit problémy spojené se sledováním zdrojů na staveništích a nejen tam.

7.1 Řízení přístupu

7.1.1 Správa času

Nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční štítky jsou v současné době využívány v několika oblastech stavebnictví. Běžně známé a v prostředí českých staveb hojně užívané je řešení správy přístupu pracovníků na staveniště, kdy je pracovník vybaven přívěskem s integrovaným pasivním LF/HF štítkem, který slouží k odemčení zámku vstupní brány. Rozšířením funkce takového přístupového systému je jeho napojení na aplikaci monitorující vstupní a výstupní časy jednotlivých zaměstnanců. Záznam (elektronická časová karta) slouží buď k porovnání se zapsanými odpracovanými hodinami, nebo slouží jako jediný relevantní záznam odpracovaných hodin, na jehož základě dochází k proplácení skutečně odvedené práce (při hodinové sazbě). Pokud jsou čtení uložena a spravována v rámci časového rozvrhu pracovníka, odpadá pracovníkům popřípadě jejich nadřazeným povinnost časy manuálně zaznamenávat, jelikož je tak vykonáno automaticky při vstupu na staveniště a odchodu z něj. [35]

Štítky (LF, HF nebo UHF) by navíc mohly být integrovány přímo do některého z OOPP (např. ochranné přilby, ochranného pracovního

oděvu či reflexní vesty), což by mohlo mít za následek zvýraznění jejich reálného používání se současným zvýšením bezpečnosti.

Přehled o pracovnících na staveništi v reálném čase je důležitý i z hlediska bezpečnosti, zejména při práci v podzemí nebo při práci rozsáhlých projektech čítajících tisíce pracovníků. Vedoucí pracovník zná jak identitu pracovníků, tak jejich telefonní číslo a nouzový kontakt.

V praxi podobné řešení využívá mnoho společností, zde je uveden příklad kalifornského generálního dodavatele staveb *DPR Construction*, který se rozhodl řídit bezpečnost a přístup na staveništi pro Zdravotní centrum Kalifornské univerzity v San Francisku (*UCSF Medical Center*). Řešení (poskytované společností *Trimble*) v podobě brány se čtečkou se čtyřmi anténami (*Obr. 18*) umožňuje generálnímu dodavateli zajistit, aby všichni jednotlivci s ochrannou přilbou s UHF štítkem byli v případě nouze bezpečně evakuováni. Dále může být řízen přístup k čistým nebo dokončeným prostorům v objektu a odepřen přístup neoprávněným osobám do určitých zón. [36]



Obr. 18: RFID brána načítající UHF štítky z ochranné přilby pracovníka [36]

7.1.2 Omezený přístup

Multiúrovňové bezpečnostní ověření na pracovištích v určitých oblastech pomáhá snižovat pravděpodobnost zranění a odcizeného vybavení nebo informací. Různé úrovně vstupů lze naprogramovat do vysokofrekvenčních štítků tak, aby pouze autorizované osoby měli přístup do exponovaných oblastí (jako např. serverovny, rozvodny, apod.) již v průběhu výstavby objektu. K technologii RFID mohou být pro zvýšení efektivity ochrany zavedena dodatečná bezpečnostní opatření jako PIN klávesnice, snímač otisků prstů nebo biometrické ověření (rozpoznávání tváře nebo sítnice oka). [36]

Stejná multiúrovňová bezpečnostní opatření mohou být zavedena na bezpečnostní brány pro příjezd vozidel. V takovém scénáři se předpokládá osazení čelních skel vozidel vstupujících na stavbu UHF štítky po vzoru řešení elektronického výběru mýta v některých státech (např. Norsko nebo Švýcarsko).

7.1.3 Řízení strojů

Při stavebním procesu se běžně využívá stavební mechanizace. Většina strojů vyžaduje speciální oprávnění k jejich obsluze. Tato vysoce nákladná aktiva jsou pro stavební společnost, která je vlastní, jistou tržní výhodou, zároveň jsou pro ni i velkou zodpovědností. Neoprávněná obsluha stroje neproškolenou osobou může v případě vzniku škody na majetku či újmy na zdraví vyústit až v soudní proces.

Napojení systému řízení přístupu RFID ke strojnímu zařízení omezí schopnost provozu stroje pouze pro řádně proškolené pracovníky. Tato skutečnost je zanesena do osobního RFID štítku proškoleného pracovníka. Data získaná z činnosti stroje lze opět využít v rámci správy času pracovníka/stroje. [37]

7.1.4 OOPP a bezpečnostní opatření

Jak již bylo naznačeno, technologie RFID může zvýšit míru dodržování bezpečnostních předpisů. Čtečka instalovaná při vstupních bránách do různých bezpečnostních zón by načítala data ze štítků připevněných ke každé předepsané osobní ochranné pracovní pomůcce. Výstupem by byla kromě již popsané kontroly oprávnění pracovníka vstoupit do dané zóny také kontrola jeho nezbytného vybavení pro danou zónu. Pokud by se pracovník pokoušel o vstup do dané zóny bez potřebného vybavení, byl by na tuto skutečnost management stavby upozorněn. Při vstupu do dané zóny by na jedince připadalo více čtení, tudíž při vstupu několika pracovníků najednou by pravděpodobně navrhované řešení vyžadovalo více než jednu čtečku.

7.2 Správa majetku

Neplánované náklady spolu s neproduktivní pracovní silou prokazatelně zvyšují celkové náklady na projekt. Hledáním vybavení na stavbách a jiných pracovištích je v průměru stráveno několik desítek hodin měsíčně. Pro zefektivnění lokalizování a sledování použití a údržby strojů a nástrojů využívaných v procesu výstavby lze implementovat technologii identifikace na rádiové frekvenci. Data jako stáří stroje, plán a historie údržby, provozní teplota, počet hodin provozu a další mohou být shromážděna a uložena na štítku stroje pro použití pracovníkem zodpovědným za funkčnost stroje.

Ke sledování nástrojů je vzhledem k nákladům na čtecí zařízení vhodnější využít podmnožinu RFID zvanou *Near Field Communication* operující v pásmu HF. Ta totiž podporuje čtení štítků skrze aplikaci v chytrém mobilním telefonu. Prostřednictvím NFC spolu, oproti standardu pasivní RF identifikace, mohou komunikovat i dva aktivní přístroje (*P2P*). Metodu limituje velmi krátký dosah – maximálně 10 cm. Na současném trhu pracovních nástrojů s *NFC* nebo *RFID* štítky pracuje lichtenštejnská firma *Hilti*. Ta štítky umísťuje na příklepové vrtačky, vrtací

kladiva, kotoučové pily, prvky laserové techniky a další pracovní nástroje již během jejich výroby. Jako pojistku při selhání NFC/RFID mají štítky na svém krytu tištěný nebo gravírovaný 2D kód (DataMatrix). Poskytovaná služba není striktně vázaná pouze na výrobky značky *Hilti*, může být použita na všech pracovních nástrojích a stavebních strojích, které je třeba sledovat. Kvůli prostředí, ve kterém se prvky vyskytují a způsobu, jakým se s nimi zachází, musí být identifikační štítky výjimečně odolné (Obr. 19). Ve webovém či mobilním rozhraní má zodpovědná osoba přístup ke kompletní evidenci vybavení a materiálu. Získává tak přehled o místě, kde se vybraný prvek nachází, o termínu vrácení, pakliže se jedná o zapůjčený nástroj, o termínu údržby, revize nebo kalibrace, popřípadě o stavu zásob na skladě. Takto přehledná správa majetku napomáhá snižování nákladů díky vyšší produktivitě a efektivnějším procesům. [38]



Obr. 19: NFC štítek na kleci benzínového generátoru elektrického proudu [38]

7.3 Řízení jakosti

7.3.1 Betonové distanční podložky

Stejně jako běžné betonové distanční podložky jsou i „chytré“ betonové distanční podložky se zabudovanými RFID štítky použity jako prvky pro zajištění požadované tloušťky betonového krytu. RFID štítek s provozní frekvencí 13,56 MHz zde slouží především ke kontrole jakosti provedení krycí vrstvy dané konstrukce. [39]

Distanční podložka požadované velikosti je připevněna k výztužnému prutu, přičemž informace o její velikosti je zakódovaná v RFID štítku. Vzhledem ke směrovým charakteristikám komunikačního toku mezi štítkem a čtečkou je potřeba, aby byl štítek orientován paralelně s povrchem budoucí konstrukce, jinými slovy aby byl dodržen předepsaný způsob osazení distanční podložky (Obr. 20). Systém lze spolehlivě použít pro tloušťky krytí do 140 mm. Po realizační fázi konstrukce lze číst data ze štítků přiblížením ruční čtečky zhruba 30 mm k povrchu konstrukce (Obr. 21) a dokázat tak existenci krycí vrstvy v potřebné tloušťce. K výsledkům takto provedené kontroly na stavbě je možné zaznamenat i výsledky vizuální kontroly (trhliny, odlupování, obnažení výztuže, abraze, výkvěty apod.) a tyto propojené informace uložit do databáze. [39]



Obr. 20: Umístění distanční podložky do bednění nosné stěny [39]



Obr. 21: Kontrola krycí vrstvy pomocí RFID technologie [39]

7.4 Bezpečnost

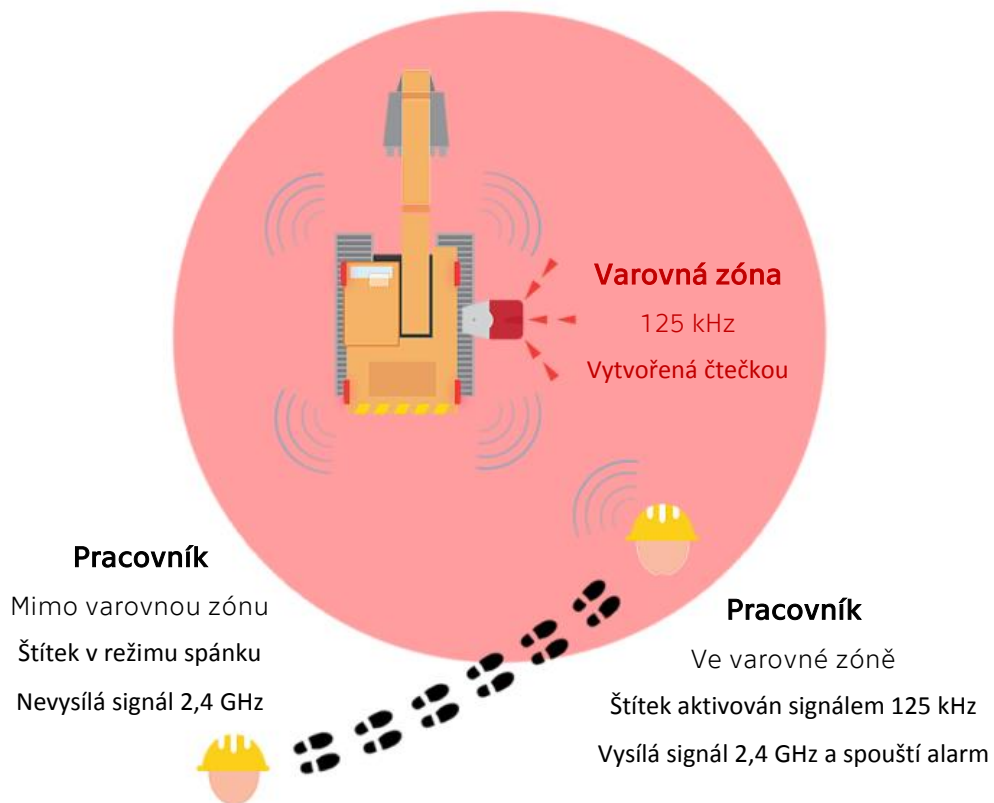
7.4.1 Prostor ohrožený činností stroje

Zemní a výkopové práce jsou nepochybně jedny z nejrizikovějších činností na staveništi. Způsoby jejich provádění upravuje *nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích*, v platném znění. Příloha č. 3 k tomuto nařízení dále stanovuje: „Při provádění výkopových prací se nikdo nesmí zdržovat v ohroženém prostoru, zejména při souběžném strojním a ručním provádění výkopových prací, při ručním začistování

výkopu nebo při přepravě materiálu do výkopu a z výkopu. Není-li v průvodní dokumentaci stroje stanoveno jinak, je prostor ohrožený činností stroje vymezen maximálním dosahem jeho pracovního zařízení zvětšeným o 2 m.“. [40]

Navzdory citovanému prováděcímu právnímu předpisu sledujeme na staveništích, kde je k zemním a výkopovým pracím použita strojní technika, zanedbávání bezpečnostních opatření. Zaměstnanci provádějící ruční dočišťování výkopu nebo jiné práce ve výkopu či v jeho okolí tak činí v bezprostřední blízkosti spuštěného stroje. Obsluha strojního zařízení tuto skutečnost přehlíží a pokračuje ve stanovených úkonech za volného pohybu zaměstnanců v ohroženém prostoru stroje. Technologie RFID zde jistě nenahradí potřebnou organizaci práce, může však napomoci dodržování stanovených bezpečnostních opatření a předcházení poškození zdraví zaměstnanců.

Bezpečnostní RFID systém předcházející střetům osob se strojním zařízením je založen na modelu duální frekvence (*Obr. 22*). RFID čtečka instalovaná na strojním zařízení nepřetržitě vysílá nízkofrekvenční signál (LF - 125 kHz) a tím kolem sebe v požadované oblasti (dosah stroje +2 m) tvoří varovnou neboli probouzecí zónu. Pracovník je vybaven osobním štítkem, který přijímá nízkofrekvenční signál a vysílá vysokofrekvenční signál (UHF - 2,4 GHz). Pokud se pracovník nachází mimo varovnou zónu stroje, je jeho štítek v režimu spánku. Vejde-li pracovník do varovné zóny stroje, je jeho štítek nízkofrekvenčním signálem čtečky probuzen. Štítek po probuzení automaticky vysílá 2,4 GHz signál jako odpověď, čímž spouští alarm - obsluha strojního zařízení je tak upozorněna na výskyt pracovníka v ohroženém prostoru stroje. Alarm je slyšitelný i vně kabiny stroje, takže na hrozící nebezpečí upozorní i samotného pracovníka. [37]



Obr. 22: Princip bezpečnostního modelu duální frekvence, upraveno z [37]

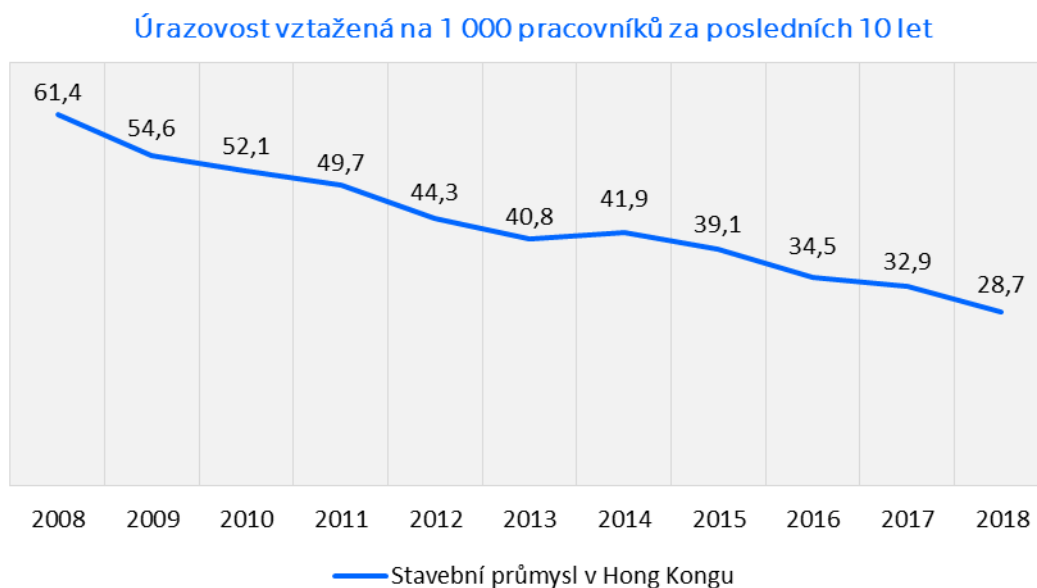


Obr. 23: Čtečka s připojeným alarmem (vlevo), štítek v ochranné přilbě (vpravo) [37]

Systém tedy sestává ze čtečky (skupiny čteček), štítu integrovaného v ochranné přilbě (Obr. 23), alarmu a řídicí jednotky. Čtečka podporuje dvě frekvence – 125 kHz jako vlastní frekvenci vysílání signálu (talk) a 2,4 GHz jako frekvenci štítu. Dále disponuje schopností načítání více (až 500) štítků najednou a čtecím dosahem 15 metrů. Na daném stroji může být instalována celá sada čteček, jejich počet se odvíjí od velikosti varovné zóny, která je dána velikostí stroje a jeho dosahem. Každý RFID štítek nese unikátní ID a je přiřazen všem osobám, které vstupují na staveniště. Štítek je napájen energií ze čtečky o frekvenci 125 kHz, sám pracuje s frekvencí 2,4 GHz. Jelikož se vyskytuje v nehostinném prostředí staveniště, musí tomu odpovídat kvalita jeho

zpracování – měl by být zapouzdřen v odolném krytu, a to buď ve formě zpevněné identifikační karty nebo ve formě hard tagu, který je následně umístěn v ochranné přilbě. V blízkosti prostoru pro obsluhu je instalován zvukový a vizuální alarm, který poskytne varování každému blížícímu se zaměstnanci či stroji. Na každém stroji je jako datové a řídicí centrum nainstalována řídicí jednotka. K ní jsou za účelem přijímání příkazů a energie k napájení připojeny všechny čtečky včetně alarmu. Řídicí jednotka obsahuje také slot pro řidiče k umístění jeho RFID štítku k inicializaci systému nebo celého stroje. [37]

Popsaný systém snižuje možnost střetu člověka se strojním zařízením nebo střetu strojních zařízení, čímž vytváří bezpečnější pracovní prostředí s vidinou dosažení co nejvyšší produktivity pracovníků a strojních zařízení. Poprvé byl představen firmou *Hong Kong RFID* v říjnu roku 2015 při příležitosti mezinárodního veletrhu staveb a techniky v Hong Kong². Od té doby je nedílnou součástí stavenišť administrativních a bytových výškových budov tolik typických pro tamní oblast, kde spolu s dalšími bezpečnostními prvky pomáhá snižovat míru úrazů během procesu výstavby (*Graf 1*). [37] [41]



Graf 1: Úrazovost vztažená na 1000 pracovníků ve stavebním průmyslu Hong Kongu [41]

² The 10th Hong Kong International Building And Hardware Fair, 28 – 31 October 2015, Lantau, Hong Kong [37]

7.5 Facility Management

7.5.1 Diagnostika konstrukcí

7.5.1.1 Senzor napětí

V rámci zefektivnění údržby a správy silnic, mostů a budov v posledních letech narůstá potřeba kontroly jejich technického stavu. Betonové a ocelové konstrukce jsou neustále vystavovány vlivům různých zatížení – každodenní dopravy (v případě mostů), větru, zemního tlaku, a v některých částech světa i zemětřesení. Nosná schopnost konstrukce tudíž s postupem času klesá až do okamžiku, kdy již konstrukce dále nemůže plnit svou funkci. Obvykle se stupeň deformace odhaduje na základě vnějšího vzhledu, respektive jeho bližšího pozorování – přímé měření deformací od zatížení je při tomto postupu poněkud obtížné. Sledováním struktury konstrukce zevnitř je možné zjistit její jakékoliv změny a predikovat její poškození.

Systém detekce deformací, založený na pasivním RFID štítku s integrovaným senzorem napětí (tenzometrem) a frekvencí 13,56 MHz, měří změny a deformace způsobené různými druhy zatížení, a to bez použití baterie. Štítky s tenzometry (*Obr. 24*) jsou během výroby osazeny na výztužné pruty železobetonu nebo volně do zamýšlené konstrukce, čímž je umožněno měření napětí s úrovní rozlišení až 10×10^{-6} , navíc při zakomponování termistoru systém měří i teplotu, a kontroluje tak současně deformace způsobené teplotou. Kontinuální monitorování struktury pomocí bezdrátové technologie RFID umožní včasné identifikovat kritické změny struktury a navrhnout dočasná či trvalá opatření k zabránění selhání konstrukce. [42]



Obr. 24: Štítek s tenzometrem (vlevo) a čtečka s anténou (vpravo) [42]

7.5.1.2 Senzor korozního prostředí

Poškození výztuže korozí, jedna z hlavních příčin poškození betonových konstrukcí, je zjištěno až pozorováním trhlin či úniku rzi na povrchu betonových konstrukcí. V okamžiku, kdy k tomu dojde, je koroze výztuže rozvinuta ve zvýšené míře. RFID systém snímání koroze dokáže korozní prostředí kolem výztužného prutu (např. prostředí slané vody) v předstihu detekovat a umožní tak přijmout nezbytná opatření k potlačení vzniku koroze na povrchu prutu.

Senzor korozního prostředí – vysokopevnostní rámeček odolávající vnějším silám s podložkou propouštějící vlhkost a funkčním prvkem v podobě železného senzoru (tenkého plátku železa) - je upevněn k výztužnému prutu a pomocí kabelu propojen s RFID štítkem shodně upevněným k výztužnému prutu (*Obr. 25*). Ke čtení štítků je možné použít ruční čtečku, a to v případech, kdy je štítek kryt pouze slabou vrstvou betonu, obvykle 35 – 50 mm. Při větších hloubkách uložení štítků k jejich čtení slouží počítačem řízené čtecí jednotky s vyšším výkonem a externí anténou (*Obr. 26*). Hlavní předností je, že se jedná o nedestruktivní a bezdrátovou metodu, navíc systém podporuje dlouhodobé měření a uchovává historii inspekcí. [43]



Obr. 25: Proces instalace štítku se senzorem do železobetonové konstrukce [43]



Obr. 26: Počítačem řízená čtečka s externí anténou (vlevo) a ruční čtečka (vpravo), štítek a senzor připevněný na výztužném prutu (uprostřed) [43]

7.5.2 Skryté komponenty

Potřeba nedestruktivní metody detekce a lokalizace skrytých komponent podzemní infrastruktury vyplývá z požadavků na údržbu komponent nebo rozšíření infrastruktury. Bez funkčního systému detekce totiž mnohdy dochází k poškození infrastruktury, které může být velmi nákladné a zpravidla způsobuje významné zpoždění. Stejně tak vyžadují údržbu či revize skryté prvky v budovách, kde technologie RFID přispívá k jejich lokalizaci a jednoznačné identifikaci.

Zde jsou popsána obě řešení, tedy nejprve systém identifikace podzemní infrastruktury, a poté systém identifikace skrytých technologických prvků na reálném příkladu budovy bankovní instituce ČSOB.

7.5.2.1 Podzemní infrastruktura

Systém elektronického značení prvků (EMS) pomocí RFID využívá tuto technologii k lokalizaci skryté podzemní infrastruktury. K programování a pozdějšímu nalezení elektronických značek s RFID štítky vysláním specifického rádiového signálu do země se používá přenosné ruční zařízení. Vyslaný signál ze čtecího zařízení je ve štítku elektronické značky demodulován a reflektován zpět udávajíc přesný a jednoznačný údaj o poloze. Tato odezva zahrnuje detaily dané značky jako identifikační číslo, jméno vlastníka, datum umístění, funkci prvku infrastruktury (ventil, změna směru, spoj apod.) a hloubku

pod povrchem. RFID štítek značky je pasivní, ke komunikaci mu jako zdroj energie slouží signál ze čtečky – teoretická životnost štítku se blíží nekonečnu. Pouzdro nejpoužívanější značky (tzv. *Ball Marker* - Obr. 27) odolává účinkům vody, mrazu a chemikálií je napuštěno nemrznoucí kapalinou, která zajišťuje samonivelační funkci – značka je vždy orientována k povrchu a je přesně lokalizovatelná. Maximální hloubka detekce značky *Ball Marker* je 1,5 m pod povrchem terénu, největší čtecí hloubky dosahuje *Full Range Marker*, a sice 2,4 m. Barvy značek jsou dány podle zamýšlené aplikace (plynovod – žlutá, apod.) stejně jako provozní trasovací frekvence. Ty mohou být používány samostatně nebo současně za účelem zaznamenání téměř všech tras infrastruktur nacházejících se v terénu. Jednotlivé značky jsou rozmístěny v bodech zájmu a dále po délce potrubí v pravidelných vzdálenostech (5 – 10 m). K označení celé délky podzemní infrastruktury lépe slouží lano se zabudovanými štítky (po 2,5 m), jehož čtecí dosah je však pouhých 1,2 metru. Značky s RFID štítky pomáhají vylepšit jak přesnost, tak efektivitu lokalizace podzemních sítí, a minimalizují jejich potenciální nákladná poškození. [44] [45]



Obr. 27: EMS značky – Ball Marker a Full Range Marker [44]

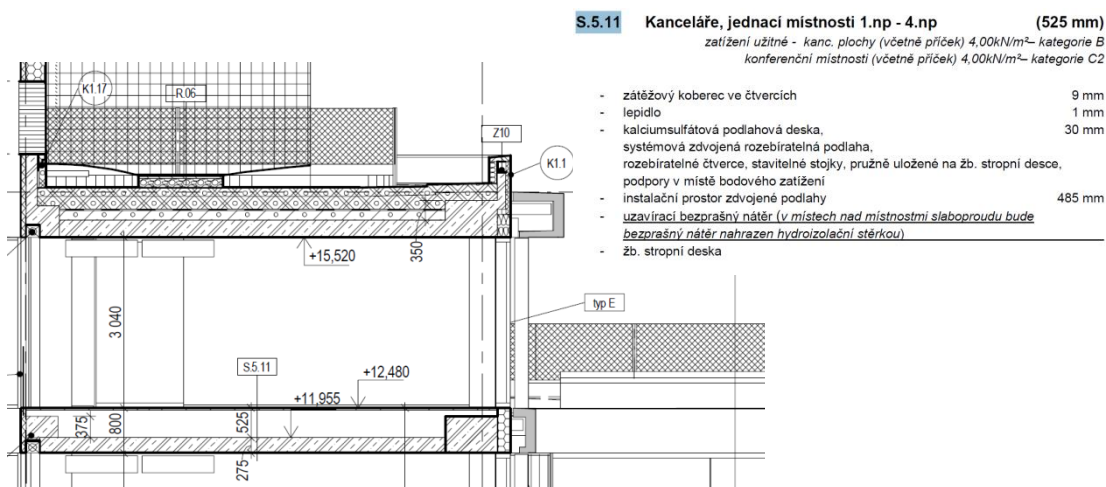
7.5.2.2 Technologické prvky v budovách

Československá obchodní banka staví vedle své ústřední budovy *NHQ* v pražských Radlicích novou administrativní budovu zvanou *SHQ*. Výstavba projektu probíhá v souladu s *Koncepcí zavedení BIM pro ČSOB* za pomoci metodiky *BIM*, to samé platí pro budoucí užívání budovy. Metodika *BIM* byla ověřena vytvořením *BIM* modelu stávající budovy *NHQ* a implementací modelu (jako zdroje dat pro *CAFM* systém) do systému Archibus. [46]

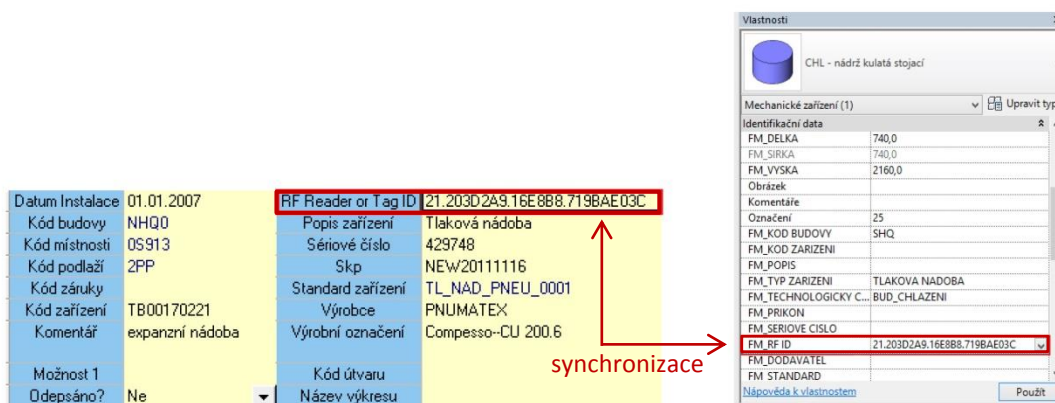
Bankovní instituce se rozhodla do projektu nové budovy *SHQ* integrovat i technologii RFID. Hlavní motivací byla a je jednoznačná identifikace inženýrských prvků, zejména těch, které vyžadují pravidelnou údržbu či revizi (požární ucpávky, vzduchotechnické klapky, pojistné ventily apod.). Požadavek jednoznačné identifikace splňuje právě RFID, která je na základě *EPC* schopná odlišit jednotlivé prvky stejné kategorie na rozdíl od *UPC* lineárních čárových kódů nebo *QR* kódů, který rozlišuje pouze na úrovni kategorií. Dalším splněným kritériem je schopnost identifikace prvků skrytých ve zdvojené podlaze (*Obr. 28*) a jiných konstrukcích právě stavěné budovy *SHQ*. Správci objektu, potažmo pracovníci údržby tak jsou schopni bez nutnosti demontáže hmotných zábran (podlah, stropů) snadno identifikovat skryté technologické prvky. Slouží jim k tomu mobilní čtečka napojená na databázi *CAFM* softwaru *Archibus*, přičemž v blízké budoucnosti bude čtečka napojena na mobilní aplikaci zmíněného softwaru. Řešení bude eliminovat tvorbu záznamů o údržbě a revizních protokolů manuálně – ty budou po vykonání úkolu vytvořeny v mobilním prostředí a automaticky odeslány do databáze. Pravidelné revizi daných zařízení jsou stanoveny daty extrahovanými z *As-built*³ modelu, který navíc obsahuje link k dokumentu prvotní revize. Samozřejmostí je synchronizace s *BIM* nástroji (zde se softwarem *Autodesk Revit* - *Obr. 29*). Za označení předem stanovených inženýrských

³ As-built model – model stávajícího stavu

prvků pasivními štítky je na základě smluvního ujednání zodpovědný generální zhotovitel stavby. [47]



Obr. 28: Konstrukce zdvojené podlahy budovy SHQ včetně skladby [ČSOB]



Obr. 29: Synchronizace dat RFID štítku mezi CAFM systémem (Archibus) a BIM nástrojem (Autodesk Revit), upraveno z [47]

Ve stávající budově NHQ je technologie RFID využita v rámci inventarizace movitého majetku. Jedná se především o prvky audiovizuální techniky (projektory, televizní obrazovky, monitory apod.) a obrazy. Jedním z důvodů pro označení vybraných prvků pasivními RFID štítky je úspora času při provádění inventury. Využitím technologie RFID, která nevyžaduje přímou viditelnost mezi čtečkou a snímaným štítkem, totiž odpadá nutnost fyzické manipulace s předměty za účelem načtení jejich kódu – v případě projektorů instalovaných na stropěch kanceláří téměř nezbytné řešení. Na některé prvky jako jsou monitory s tenkými rámečky, tablety nebo obrazy lze běžný čárový kód umístit poměrně komplikovaně – i zde se uplatní RFID štítek umístěný tak, aby

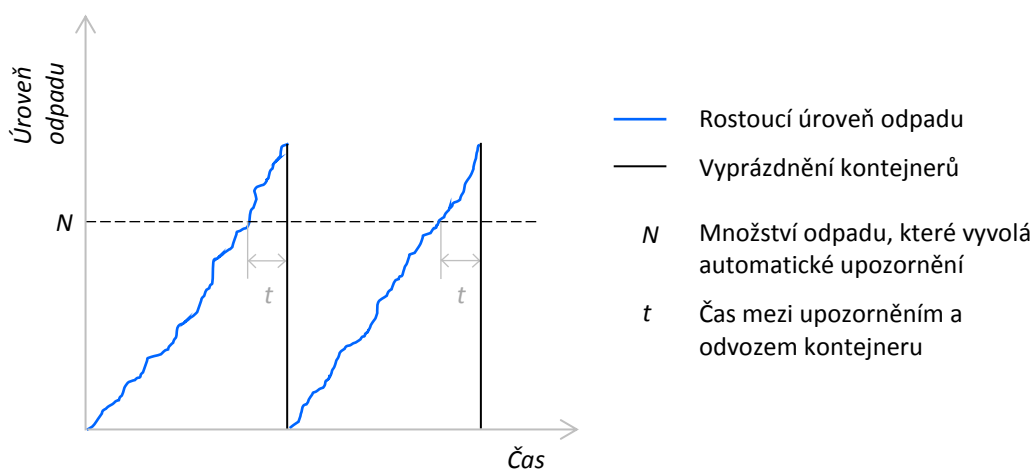
nerušil celkový vzhled prvku. Při samotné inventarizaci hmotného majetku je zodpovědný pracovník vybaven obdobně jako pracovník údržby mobilním čtecím zařízením, které je schopné načíst jak RFID štítky tak lineární čárové nebo QR kódy. RFID štítky jsou, vzhledem k jejich ceně, označeny pouze ty prvky, které nejvíce uplatňují výhody této technologie.

7.6 Odpadové hospodářství

Za stavební odpad označujeme odpad vzniklý z různých stavebních činností - výstavby, zemních nebo silničních prací. Demoličním odpadem rozumíme heterogenní směsi stavebních materiálů vzniklé odstraňováním stávajících stavebních struktur. Roční globální produkce stavebních a demoličních odpadů činí zhruba 3 miliardy tun. V České republice tvoří stavební a demoliční odpady více než polovinu celkové produkce odpadů, což představuje značnou zátěž životního prostředí. [48]

Stavební a demoliční odpad se od komunálního odpadu liší zejména nepravidelností odvozu odpadu danou kolísáním míry tvorby odpadů v průběhu celého projektu. Kromě toho je vzhledem k omezeným dispozicím staveniště obtížnější stavební odpad třídít. Jedním ze způsobů recyklace je shromáždění tříditelných materiálů ve společném kontejneru, který je následně roztříděn v externím recyklačním zařízení. Pokud dochází k třídění odpadů na základě zdroje již na staveništi, jsou separátní kontejnery tříditelných materiálů (suti, dřeva, papíru, apod.) po svém naplnění dopraveny do příslušných specializovaných recyklačních zařízení. Tento přístup snižuje nutnost dvojí manipulace s tříditelným odpadem a zvyšuje míru recyklace, na druhou stranu klade vyšší nároky na prostor.

Klíčem funkčního odpadového hospodářství výstavbových projektů je kooperace mezi dodavatelem stavby a zprostředkovateli odvozu a recyklace odpadu. Zde se může uplatnit systém na bázi RFID optimalizovaný pro sledování a sběr kontejnerů. K aktivnímu RFID štítku je za účelem automatické detekce úrovně naplnění kontejneru připojen ultrazvukový senzor. Systém se řídí strategií podle *Graf 2* - v okamžiku, kdy úroveň odpadu dosáhne určitého předem definovaného množství (N), je odesláno automatické oznámení společnosti zodpovědné za odvoz odpadu. Důležitou součástí systému je stanovení množství N , které závisí na velikosti kontejneru, vzdálenosti recyklačního zařízení a rychlosti produkce odpadu. Rychlost produkce odpadu lze odhadnout z plánovaného rozvrhu stavebních prací nebo predikovat na základě údajů ze senzorů osazených v několika úrovních kontejneru. [49]



Graf 2: Strategie odpadového hospodářství s integrovaným systémem na bázi RFID, upraveno z [49]

Kromě aktivních štítků v kontejnerech předpokládá systém instalaci aktivních štítků na vnitřní stranu předních skel nákladních automobilů spolu s GPS a vybavení obsluhy vozidel mobilní čtečkou. Štítky a čtečky pracují při frekvenci 2,45 GHz s dosahem až 80 metrů a výdrží baterie až 5 let. Dlouhý dosah a vysoké čtecí rychlosti umožňuje čtečkám štítků identifikovat objekty s vysokou přesností. Štítek vozidla nese informace o dopravci, identifikační číslo vozidla a řidiče, časy

odjezdu a příjezdu, zatímco štítek kontejneru určuje druh tříděného odpadu a název a lokaci staveniště. Po příjezdu na úložiště odpadů je štítek nákladního automobilu společně se štítkem kontejneru automaticky detekován stacionárním čtečím zařízením instalovaným na vjezdové bráně a informace jsou odeslány do řídicího centra. Celý proces může být dokončen automaticky a nevyžaduje manuální akce řidiče nákladního automobilu ani zodpovědného personálu. Nutnost automatizace procesu zpracování dat při vjezdu a výjezdu je umocněna autorovou návštěvou recyklačního zařízení *Planta RCD Navalcarnero* nedaleko španělského Madridu. Proces vjezdu je zde závislý na jedné manuálně obsluhované vjezdové bráně, přičemž samotné vpuštění nákladního vozidla do areálu trvá přibližně 15 minut, během kterých je pořízena fotografie registrační značky z přední i zadní části vozidla, kontejneru vozidla, ověřena totožnost řidiče a vyplněny či zduplikovány potřebné dokumenty. Ve špičce mezi 11. a 13. hodinou kdy přijíždí zhruba 10 nákladních automobilů za hodinu se tak tvoří zbytečně dlouhé fronty. Popsaný systém na bázi RFID by i v tomto případě napomohl zvýšení účinnosti průjezdu branou recyklačního zařízení a zároveň snížení míry odkládání odpadů mimo určená místa. Dalším benefitem popsaného systému je zefektivnění odpadového hospodářství přímo na staveništi. [49]

7.7 SWOT analýza

V návaznosti na analýzu stávajících i budoucích uplatnění technologie RFID napříč různými odvětvími, s důrazem na stavební průmysl, je autorem vytvořena SWOT analýza (Tab. 7). Nutno podotknout, že tento nástroj je obvykle součástí strategického řízení podniku, nikoliv celého odvětví. Pro potřeby této diplomové práce je tak SWOT analýza upravena, slouží zejména jako posudek stavu, příležitostí a rizik technologie RFID ve stavebním průmyslu.

| Strength <i>Silné stránky</i> | Weaknesses <i>Slabé stránky</i> |
|--|---|
| Strength <i>Silné stránky</i> | Weaknesses <i>Slabé stránky</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Pokročilá technologie • Identifikace, lokalizace a sledování prvků bez nutnosti zásahu člověka • Detailní popis prvku a rozlišení jednotlivých prvků (<i>EPC</i>) • Nevyžaduje přímou viditelnost, identifikace skrytých prvků • ID prvku jako nástroj pro propojení postupu výstavby s BIM modelem • Malá velikost a snadné používání, odolnost v drsném prostředí • Ukládání a zpřístupňování dat, dostupnost dat • Monitorování stavu baterie, připojení senzorů • Kontrola dodávek • Kontrola inventáře na staveništích • Simultánní načítání štítků • Čtečka s funkcí lokalizace | <ul style="list-style-type: none"> • Úbytek signálu vlivem kovů a kapalin • Úbytek signálu vlivem rušení frekvence z jiných zdrojů • Několik standardizačních orgánů – nejednotná standardizace • Náklady na jednotku (štítek a čtečku) a náklady na implementaci systému • Mnoho dodavatelů s nízkou úrovní implementace technologií • Malá mechanická odolnost běžných pasivních štítků • Neinformovanost o technologii ve stavebním sektoru • Náchyllost štítku k selhání v průběhu času |
| Opportunities <i>Příležitosti</i> | Threats <i>Hrozby</i> |
| Opportunities <i>Příležitosti</i> | Threats <i>Hrozby</i> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Možný další vývoj – potenciál nových řešení • Optimalizace funkčnosti v různých prostředích • Vylepšení způsobu umístění na různých prvcích (resp. materiálech) • Ekonomická hodnota pro všechny účastníky stavebního procesu • Redukce zátěže životního prostředí znovupoužitím štítků • Snížení rutinních a manuálních úkonů za pomoci technologie • Možná náhrada čárových kódů • Klesající cena štítků, respektive <i>IC</i> • Profitabilita, produktivita, <i>Just-in-Time</i> • Chytré prvky (<i>IoT</i>) • Další využití dat, zefektivnění sdílení dat | <ul style="list-style-type: none"> • Etický kodex – ochrana soukromí • Bezpečnost systému – hrozba útoků (hacking) • Neochota investovat vzhledem k obavám z návratnosti investice • Neochota novou technologii přijmout a používat • Nenalezení vhodné oblasti implementace technologie • Zdravotní následky z vystavení elektromagnetickému záření |

Tab. 7: SWOT analýza pro RFID ve stavebnictví [vlastní]

8 Praktická část

Tato kapitola je zaměřena na analýzu výrobního procesu železobetonových prefabrikovaných dílců určených zejména pro výstavbu hal a na návrh zefektivnění vybrané oblasti pomocí systému automatické identifikace na rádiové frekvenci. V úvodu je popsána motivace výběru výroby prefabrikátů a aktuální situace na trhu, dále je popsáno výrobní portfolio společnosti *VCES a.s., Divize PREFA*. Následuje stěžejní část pro návrh řešení, a sice analýza stávající výrobního procesu, kdy je vybrána vhodná oblast implementace systému RFID. Součástí navrhovaného řešení je kromě technické stránky věci i finanční analýza. Na závěr dochází k hodnocení této finanční analýzy a efektů implementace systému RFID.

8.1 Prefabrikace

Termín prefabrikace odkazuje na specifický proces výroby stavebních konstrukcí, kdy jsou konstrukce nebo jejich součásti vyráběny za stálých podmínek a následně transportovány na místo určení, kde jsou celky nainstalovány do požadované pozice a dílčí prvky sestaveny a spojeny ve výsledné stavební dílo. Externí zařízení na výrobu stavebních konstrukcí a prvků lze považovat za industrializovaná výrobní zařízení s kontrolovaným výrobním prostředím. Právě konstantní podmínky umožňují dosažení vyšší kvality prvků, než jaké je dosaženo při výrobě *in situ*, přestože jsou konstrukce vyráběny ze stejných materiálů a podle stejných standardů. Každý prvek prefabrikované konstrukce je navíc navržen a zhotoven tak, aby odolal silám působícím během přepravy a erekce.

Kořeny prefabrikovaných (či modulárních) konstrukcí sahají až do 40. let 1. století našeho letopočtu. Římané tehdy začali používat standardní rozměry jejich stavebních prvků, což vedlo k možnosti jejich prefabrikace a v souvislosti s tím k rychlejšímu a efektivnějšímu budování pevností a palisád. Britové později přepravovali jednotky prostých

prefabrikovaných domů do nových osídlení svých kolonií, aby mohli poskytnout komfortní evropský styl bydlení tamním důstojníkům. Dále metoda prefabrikace pomohla vyřešit problém nedostatku obytných budov a kvalifikované pracovní síly v poválečné éře první a druhé světové války. [50]

Mezi nejikoničtější stavby vůbec patří jedna z prefabrikovaných ocelových staveb – Eiffelova věž. Jako dočasná výstavní struktura byla postavena v roce 1889 u příležitosti stého výročí velké francouzské revoluce. Stavba vysoká 312 metrů byla i díky prefabrikaci zkompletována velmi nízkým počtem pracovníků (zhruba 300) v průběhu dvou let. [51]

Hlavním motivem prefabrikace je vysoká cena práce, tudíž je zřejmá potřeba zjednodušení procesu výstavby (eliminace lidského faktoru) a zkrácení doby výstavby. Menší závislost montovaných prefabrikovaných konstrukcí na klimatických podmínkách má navíc výrazný podíl na výsledné kvalitě díla. Prefabrikaci stavebních komponentů lze také vnímat jako jeden z předpokladů automatizace a robotizace stavebnictví.

To jsou mimo jiné důvody, které vedly k navázání spolupráce nad předkládanou diplomovou prací se stavební společností *VCES*, konkrétně jejím výrobním zařízením *PREFA Pohřebačka*, za účelem procesní analýzy výroby prefabrikátů a hledání řešení k optimalizaci některého z procesů výroby. Pro snazší uchopení autorova výběru oblasti implementace RFID systému je stručně představena situace podniku a popsán stávající výrobní proces.

8.2 Trh

Prefa trh na území České republiky se dá rozdělit podle velikosti (váhy) vyráběného dílce na lehký, těžký a speciální. *Divize PREFA* společnosti *VCES* spadá do kategorie těžkých prefabrikovaných dílců (např. vazníky s délkou kolem 20 m).

Dále lze trh rozdělit na subjekty, které pouze vyrábějí a subjekty, které nabízejí komplexní služby v oblasti prefabrikovaných dílců (projekt, výroba, doprava a montáž) – do této kategorie spadá *Divize PREFA*.

V současnosti se na trhu pohybuje 24 výrobních zařízení, z čehož 12 zařízení prefabrikované dílce pouze vyrábí (bez komplexních služeb) a 12 nabízí pouze skelety. Většina výrobních zařízení v ČR je v soukromých rukou, tudíž se jedná o podnikatelský subjekt. Postavení *Divize PREFA* společnosti *VCES* je odlišné - kombinace těžké výroby a komplexních služeb činí z *PREFA Pohřebačky* na českém trhu vcelku výjimečného hráče. Jejím primárním odběratelem je nadřazená společnost *VCES*. Podobný business model má například *SKANSKA* se svými výrobními zařízeními *PREFA Štětí* a *PREFA Tovačov* (oboje pod značkou *KŠ PREFA*) nebo *HOCHTIEF* s výrobou prefabrikátů v Plané nad Lužnicí. *PREFA Pohřebačka* však vyrábí také pro externí klienty. Projekty jsou tím pádem různorodé, což umocňuje potřebu flexibilní výroby. To je na jednu stranu výhoda pro získávání podobných zakázek a na druhou stranu nevýhoda, jelikož rozmanitá produkce si žádá složitější projektový management a prodlužuje se doba výroby jednotlivých prvků.

8.3 Současné výrobní portfolio

Divize *PREFA* nabízí většinu prefabrikovaných stavebních dílců pro pozemní a inženýrské stavitelství, mezi něž patří:

- základové patky pro sloupy,
- dělené a průběžné sloupy o průřezech až 0,8 x 1,0 m a délkách až 22 m,
- sloupy spojené se základovou patkou nebo hlavicí,
- průvlaky obdobných rozměrů jako sloupy,
- ztužidla a nosníky,
- střešní vazníky a krokve do délky 29,5 m,
- nepředpjaté TT stropní panely,
- filigránové stropní desky,
- schodišťová ramena,
- jiné prostorové prefabrikáty dle požadavků klienta.

8.4 Stávající výrobní proces

8.4.1 Armatura

Standardní betonářská ocel B500B o průměru 6 až 32mm je uložena ve skladu oceli, odkud je dopravována do armovací dílny (výkres zařízení - *Příloha č. 1*). Ocel je skladována podle průměru ve svitcích ($\emptyset < 10$ mm) nebo ve svazcích ($\emptyset > 10$ mm). Ocel ze svitků je automaticky řezána (stříhána), zatímco ocel ze svazků vyžaduje za účelem řezání ruční manipulaci. Stříhání zajišťuje stříhací stroj *SIMPLEX AL 300* výrobce *Peddinghaus*. Transport do haly armovny k ohýbacím strojům *PERFECT 55PLA* a *PERFECT 60CA* je zajištěn dopravními stoly. Po naohýbání požadovaných kusů je ocel roztríděna do balíků, které jsou před transportem do další části armovny opatřeny papírovým štítkem s názvem a průměrem ocelových prvků a označením konečného prefabrikovaného prvku, ve kterém bude ocel použita. Na základě informací ze štítku probíhá v další části armovny sestavování a svařování armovacích košů (metodou *TIG*⁴). Dokončený armovací koš je přesunut do malé nebo velké linky.

⁴ Metoda TIG (Tungsten Iner Gas Welding) – tavná metoda svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu [58]

8.4.2 Bednění

Bednicí forma je vyráběna ručně z dřevovláknité desky s horní melaminovou povrchovou úpravou *Phenix Special 200*, která je vhodná pro tvorbu hladkých betonových povrchů v souladu s *DIN 18202/3*. Pracovníci mají k dispozici formátovací a vertikální pilu a nezbytné ruční nářadí. Část truhlárny je vyčleněna pro přidružené zámečnické činnosti. Po nařezání potřebných formátů a jejich sestavení se takto připravená bednicí forma přesouvá do malé nebo velké linky.

Ke kompletaci forem dochází v malé nebo velké lince výrobní haly. Jedná se o vložení dřevěných bednicích prvků do ocelových koster forem a následné vložení a zajištění vnitřní ocelové armatury budoucího prefabrikovaného prvku. Takto osazené bednění je připraveno k vlastní betonáži. Výrobna vlastní filigránovou linku, dvě schodišťové a čtyři vazníkové formy, devět forem tyčových prvků a šest podložek plošných dílců. Za jeden pracovní den je výrobní zařízení schopné vyrobit až 25 prefabrikovaných prvků.

8.4.3 Betonáž

Návrh betonové směsi vychází ze specifických požadavků objednatele a je zpracován pomocí počítačové techniky. Beton je připravován betonárkou *SCHWING STETTER KO,5* s okamžitým výkonem 0,5 m³. Samotná betonáž prvků je prováděna bádíí s objemem 1 m³ ovládanou mostovým jeřábem. Malá linka je určena k betonáži menších prvků, zatímco velká linka je uzpůsobena k betonáži rozměrnějších (delších) prvků. Do čerstvého betonu zalitého v bednění jsou osazeny přídatné manipulační výztužné prvky. Proces betonáže je poměrně rychlý v porovnání s tuhnutím a tvrdnutím betonu. Betonáž probíhá většinou odpoledne tak, aby bylo možné jednotlivé zabetonované prvky následující dopoledne odbednit a vyexpedovat na venkovní sklad.

8.4.4 Manipulace a skladování

Po vyjmutí z bednicí formy lze prvek umístit za pomoci jednoho ze dvou portálových jeřábů MB1645 na venkovní skladovací plochu (Obr. 30), k manipulaci může přispět i železniční vlečka. Portálové jeřáby jsou situovány nad vnitřní komunikací určené k pohybu kamionů. Na skládce výrobků dochází k finální úpravě (tzv. kosmetice) prvku, kdy jsou vytmeleny póry a je upraven povrch prvku, zejména ten, který nebyl v přímém kontaktu s bednicí formou. Prvek je po překontrolování rozměrů označen příslušnou etiketou (Obr. 31) s názvem zakázky, značkou prvku, počtem kusů, datem výroby apod. Velikost etikety je zhruba 1/2 formátu A4 a na odmaštěnou, čistou plochu prvku je přilepena disperzním lepidlem.



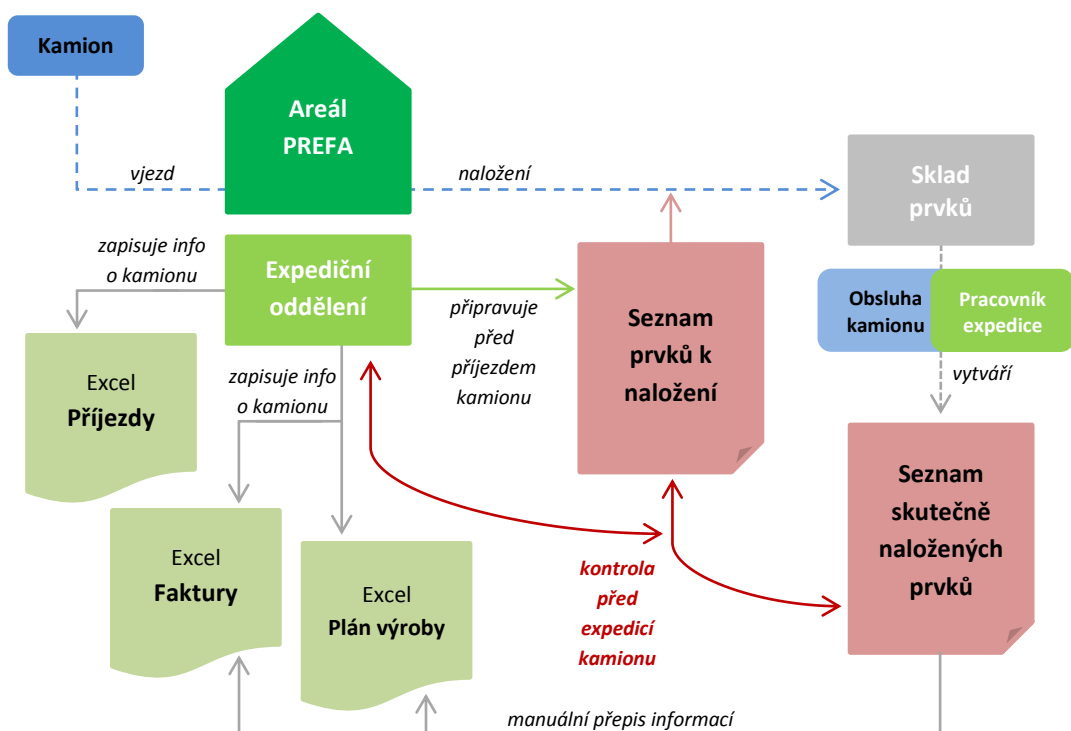
Obr. 30: Skladovací plocha s jedním ze dvou portálových jeřábů [vlastní]

| | | | | |
|--|---|--|---------------|---------|
| Zakázka: (název stavby) | ŠKODA AUTO Mladá Boleslav - centrum elektromobility | | Hmotnost (t): | 11,16 t |
|  | Značka prvku: | Celkem ks: | Datum výroby: | |
| | T175 - V01 - 1 | 7ks | 9.11.2018 | |
| Výrobna: VCES a.s., divize PREFA, VSD Pohřebačka, 533 45 Opatovice nad Labem | | | | |
|  1020 VCES a.s., Na Harfě 337/3, 190 05 PRAHA 08 1020 - CPR - 050017282 EN 13225:2013 Tyčové nosné prvky VAZNÍKY | | Závazné pokyny pro manipulaci, přepravu a skladování - při manipulaci s výrobkem vyloučit nárazy, otřesy - výrobek zvedat za všechna závěsná oka - prokládky umístit v místech závěsů, vrstvy prokládat ve svislici nad sebou - ukládat jen na rovné a únosné skladovací plochy | | |
| | | BETON dle PD: C45/55 Pevnost v tlaku $f_{ck} =$ 55 N/mm ² BETONÁRSKÁ VÝZTUŽ: Mezní pevnost v tahu $f_{tk} =$ 550 N/mm ² Mez kluzu $f_{yk} =$ 500 N/mm ² | | |

Obr. 31: Identifikační tabulka prvku [vlastní]

8.4.5 Expedice

V současné době je při nakládce a expedici prvků zapotřebí data zanást ručně do seznamu k nakládce, seznamu skutečně naložených prvků a pak do několika nepropojených sešitů v MS Excel (Obr. 32). Seznam k nakládce je při příjezdu na vrátnici vyzvednut obsluhou kamionu. Požadované železobetonové prvky ze seznamu jsou poté obsluhou kamionu za pomoci interního pracovníka nalezeny. K naložení prvků jedním z jeřábů je zapotřebí další interní pracovník (jeřábník). Typická nakládková více prvků trvá okolo jedné hodiny, pokud je nakládán jediný prvek, čas nakládky je výrazně kratší. Po nakládce prvků se kamion přesouvá zpět na vrátnici, kde je provedena výstupní kontrola. Naložené prvky jsou opět manuálně zaneseny do seznamu, tentokrát se jedná o seznam skutečně naložených prvků, po jehož vytvoření dochází k porovnání seznamů a fyzické kontrole naložených prvků na korbě kamionu. Při shodě prvků z obou seznamů a korby kamionu je naložení považováno za úspěšné a kamion smí prvky přepravit na místo určení. Pokud dojde k chybě v nakládání či v některém ze seznamů, jsou procesy nakládání a kontroly opakovány do té doby, dokud se nedocílí shody.



Obr. 32: Informační tok při současném způsobu expedice prvků [vlastní]

8.5 Navrhovaná řešení

Jako vhodná oblast implementace systému RFID se na základě analýzy stávajících výrobních postupů jeví proces skladování a následné expedice. Zejména co se týče procesu nakládání a expedice, zavedením systému RFID by se zautomatizovala správa dat s možným exportem rovnou do dodacího listu. V rámci skladování prefabrikovaných prvků by byl zkvalitněn přehled o skladových zásobách a zároveň by došlo k eliminaci lidského faktoru. K chybám tohoto charakteru dochází zřídkakdy, ale když k nim dojde, je jejich náprava časově, potažmo finančně náročná.

Za účelem zefektivnění stávajícího procesu skladování, nakládání a expedice prefabrikovaných stavebních prvků pomocí automatické identifikace prvků jsou navrženy dvě varianty řešení těchto procesů. První varianta řešení spočívá v návrhu technického řešení implementace technologie RFID do procesu skladování a expedice, a jeho finančním ohodnocení. Druhá, alternativní varianta využívá k automatické identifikaci čárové kódy, a podobně jako u první varianty návrh obsahuje popis technické infrastruktury a analýzu nákladů. Obě navržená řešení jsou náležitě ohodnocena z hlediska jejich přínosů.

8.5.1 RFID systém identifikace

Tato varianta nabízí výrazné zjednodušení a zautomatizování informačního toku s výstupem ve formě dodacího listu, dále zlepšuje přehled o stavu produkovaných prvků a jejich skladových zásobách. Úvodem je popsán navrhovaný proces v celé své délce, tedy od vytištění štítku až po expedici prefabrikovaných prvků se štítky, poté je blíže popsán hardware společně se spotřebním materiálem. Stručně vysvětleny jsou i služby potřebné k úspěšnému zavedení systému do podniku. Na závěr návrhu RFID systému identifikace je uvedeno finanční ohodnocení včetně postupu jeho stanovení.

8.5.1.1 Popis procesu

Předpokladem funkčního řešení je zde podniková aplikace, která mimo jiné sjednocuje nebo zcela nahrazuje výše zmíněné nepropojené sešity MS Excel. Toto softwarové řešení je součástí návrhu i kalkulace nákladů. Virtuálním vytvořením prvků při plánování denní výroby dochází k odeslání požadavku na vytištění etiket s integrovanými RFID štítky nesoucími požadované informace o daných prvcích, respektive *EPC* kód, který na ně odkazuje do databáze. Na líc etikety lze navíc, pro zajištění kompatibility s jinými systémy, vytisknout čárový kód nebo informace z původní identifikační tabulky prvku. Denní výrobní kapacita podniku činí nanejvýš 25 prvků, což pro RFID systém znamená tisk max. 25 etiket denně. Po vytištění etiket, které inicializuje spuštění denního výrobního procesu, je status prvků v databázi automaticky označen heslem „ve výrobě“. Po úspěšném vyhotovení a výstupní kontrole jsou železobetonové prefabrikované prvky označeny příslušnou etiketou s vloženým RFID štítkem. Před přesunem prvků na venkovní skladovací plochu načte zodpovědný pracovník jejich štítky, aby změnil status prvků v databázi na „vyroběno“. Na skladovací ploše jsou prvky připraveny k finální úpravě (kosmetice) povrchu. Po jejím provedení pracovník opět načte štítky, jejichž status se změní na „sklad“. Prostřednictvím mobilní čtečky je na štítky, díky možnosti zapisování (*R/W*) zaznamenána jejich poloha uvnitř skladovací plochy. V tuto chvíli podniková aplikace odesílá managementu upozornění, že je prvek se statusem „sklad“ připraven k odběru. Upozornění lze nastavit tak, aby bylo odesláno zároveň i klientovi, nebo aby byl management upozorněn na každou změnu stavu od počátku výroby, např. upozornění změny ze stavu „ve výrobě“ na stav „vyroběno“ apod.

Při příjezdu kamionu do areálu je podle čísla či místa zakázky automaticky vytvořen seznam zhotovených prvků k naložení včetně označení jejich polohy v rámci skladovací plochy. Samostatně nebo v součinnosti s pomocným pracovníkem expedice nachází obsluha

kamionu dané prvky, a to buď pomocí mobilní čtečky a její funkce lokalizace, nebo dle polohy uvedené na vytvořeném seznamu. Prvky jsou načteny mobilní čtečkou, čímž se automaticky tvoří seznam skutečně naložených prvků. Obsluha kamionu/pomocný pracovník expedice má na displeji terminálu okamžitou odezvu, zda jsou naložené prvky správné. Za přispění jeřábníka, jemuž je také vygenerován seznam prvků k naložení i s jejich polohou, jsou prvky naloženy na kamion, který poté míří k výjezdu z areálu. Zde dochází k finální výstupní kontrole znovunačtením štítků prvků naložených na kamionu. Pokud souhlasí seznam k naložení prvků, seznam skutečně naložených prvků a kontrolní seznam skutečně naložených prvků, je vše v pořádku a systém generuje dodací list, který je předán obsluze kamionu a proces expedice je považován za ukončený. Pokud je kontrolní seznam skutečně naložených prvků v rozporu s některým z předchozích seznamů, systém generuje chybu a určí přebytečný nebo chybějící prvek, který lze poté výše zmíněnými způsoby poměrně snadno dohledat. Po opravě chyby je provedena nová výstupní kontrola.

Další využití RFID štítků si lze představit na stavbě při přebírání dodávky a její kontrole. Smyslem takového řešení je automaticky ověřit správný počet a druh došlých prvků bez nutnosti fyzické manipulace s nimi. Řešení ovšem předpokládá existenci mobilní čtečky na stavbě a je vhodné spíše pro menší prvky (s vysokou hodnotou), než kterými jsou prefabrikované prvky hal. Alternativním využitím technologie RFID pro prefabrikované ŽB prvky hal je integrace RFID štítků se senzory napětí nebo korozního prostředí do hmoty prvku za účelem sledování stavu prvku, potažmo konstrukce v průběhu jejího života.

8.5.1.2 Hardware

Mezi hardware navrženého řešení patří mobilní čtečky a tiskárna. Investiční náklady na hardware jsou jednorázové, ani při strmém nárůstu produkce se nepředpokládá rozšíření RFID systému o další prvky hardwaru. Čtečky (terminály) jsou navrženy v množství tří kusů. První

terminál je určen pro obsluhu skladu, druhý pro pracovníka expedice na vrátnici a třetí mobilní terminál bude využit buď obsluhou kamionu, nebo pomocným pracovníkem expedice. Čtecí zařízení je vybráno s ohledem na prostředí, jehož působení bude vystaveno. Jedná se o mobilní terminál *Zebra MC3190Z*, který je svým zpracováním (robustní konstrukcí, odolností a vysokým výkonem) vhodný do průmyslového prostředí – odolá volnému pádu na beton z výšky 1,2 m při jakékoliv teplotě z jeho provozního rozsahu teplot. Jeho dalšími přednostmi je schopnost čtení čárových kódů, nízká váha (650 g včetně baterie) pro snadné zacházení, funkce lokalizace prvku, anténa kombinující lineární polarizaci pro větší čtecí dosah a kruhovou polarizaci pro širší pokrytí, nebo schopnost číst jak RFID štítky, tak čárové kódy. Další specifikace jsou uvedeny v *Tab. 8*. Při výběru vhodné tiskárny byl kladen důraz na kvalitu tisku etiket a kompaktní rozměry tiskárny. Požadovaným kritériím odpovídá termotransfer tiskárna *SATO CL4NX* s *RFID UHF* rozšířením. Etikety zhotovené termotransferovou metodou tisku jsou extrémně odolné a vykazují dlouhou životnost, což odpovídá zadání. Rozsah provozní teploty tiskárny je od ± 0 °C do 40 °C. [52] [53]

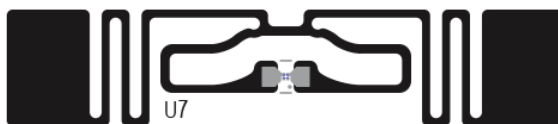
| Specifikace <i>Zebra MC3190-Z</i> | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Podporovaný protokol | EPC Gen 2 |
| Sběr dat | RFID, čár. kódy (1D, 2D) |
| Provozní frekvence | 865 – 868 MHz |
| Provozní teplota | -10 °C až +50 °C |
| Síťové připojení | RS232, USB, Wi-Fi |
| Paměť | 256MB |
| Stupeň krytí | IP54 |

Tab. 8: Specifikace terminálu *Zebra MC3190-Z* [52]

8.5.1.3 Spotřební materiál

Stěžejním elementem navrhovaného RFID systému je právě spotřební materiál ve formě etiket s vloženým UHF štítkem. Je navrženo 6 250 kusů etiket (štítků), což odpovídá ročnímu množství produkce prefabrikovaných železobetonových prvků. Rozměry papírové etikety jsou optimalizovány pro tisk z původní velikosti identifikační tabulky prvku (tedy z ½ A4) na 85 x 50 mm. Při tisku jsou na etiketu duplikovány základní povinné identifikační údaje společně s QR kódem. Horní ochranná vrstva etikety zajišťuje odolnost v různých povětrnostních podmínkách a při různých teplotách (minimální teplota -10 °C a maximální teplota +30 °C). Integrovaný RFID štítek AD-236u7 (Obr. 33) pracuje ve vysokofrekvenčním pásmu, konkrétně mezi 860 a 960 MHz. Polyethylentereftalátový podklad štítku omezuje materiálové rušení vlivem betonářské výztuže obsažené v označovaných prefabrikovaných prvcích. Bližší specifikace štítku jsou uvedeny v Tab. 9. [54]

Pokud se při testování systému vyskytnou potíže s načítáním štítků, bude zapotřebí upravit formu etikety (štítku) na tzv. *Flag tag*, aby se anténa RFID štítku zcela odloučila od povrchu železobetonového prvku. V důsledku toho se zvětší velikost papírové etikety na dvojnásobek (85 x 100 mm) tak, aby jedna polovina nesoucí štítek mohla volně vlát (odtud název) a druhá polovina zajistit přilnutí k povrchu prvku. Toto eventuální opatření nijak neovlivní předchozí návrh tiskárny, jelikož změna rozměru není pro tisk limitující, a navíc potíže s načítáním štítku se neočekávají.



Obr. 33: RFID štítek Avery Dennison 236u7 [54]

| Specifikace AD-236u7 | |
|----------------------|---------------------------|
| Typ štítku | Pasivní UHF |
| Rozměry | 70 x 14,5 mm |
| Protokoly | EPC Gen 2 ISO 18000-6C |
| Provozní frekvence | 860 – 960 MHz |
| Provozní teplota | -40 °C až +85 °C |
| Dosah čtení | 4,57 m |
| Velikost paměti | 128 bitů |
| Typ paměti | Read/Write |

Tab. 9: Specifikace RFID štítku AD-236u7 [54]

8.5.1.4 Služby

Službami se myslí zejména softwarové řešení dříve popsaných procesů a nasazení systému spolu s jeho zprovozněním (nastavením systému a programováním tisku štítků), proškolení zaměstnanců a dále v případě potřeby podrobnější analýza dílčích procesů a prostorových podmínek.

8.5.1.5 Finanční ohodnocení

Se záměrem zkonzultovat a ocenit navržené RFID řešení i jeho alternativu (v podobě systému identifikace pomocí čárových kódů) bylo v rámci této diplomové práce v průběhu podzimu 2018 osloveno celkem sedm společností zabývajících se identifikačními systémy, z toho pět je akreditovanými partnery organizace *GS1 Czech Republic* (Tab. 10).

Akreditovaní partneři GS1 Czech Republic

| |
|--------------------------------|
| EPRIN spol. s r.o. |
| KODYS, spol. s r.o. |
| GABEN, spol. s r.o. |
| Bartech, s.r.o. |
| ICS identifikační systémy a.s. |

Ostatní

| |
|------------------|
| ESP holding a.s. |
| CODEWARE, s.r.o. |

Tab. 10: Přehled oslovených společností

Konzultaci navrhovaného řešení autorovi poskytla společnost *GABEN* a *ESP holding*. Společnost *EPRIN* poskytla kromě cenné konzultace i kalkulaci nákladů, a to jak pro RFID řešení, tak pro alternativní řešení pomocí čárových kódů (originál nabídky je součástí *Přílohy č. 2*). Společnost *KODYS* se omluvila - z důvodů vytížení kapacit je schopna vytvářet nové nabídky až v prvním měsíci roku 2019. Odezva zbylých tří společností byla negativní. Druhá konkurenční nabídka tak byla vytvořena autorem na základě cen z jediného dostupného elektronického obchodu RF identifikačních systémů v českém prostředí spravovaného společností *CODEWARE*. Kalkulace nákladů pro navrhovaný systém automatické identifikace na bázi RFID jsou uvedeny v *Tab. 11* a *Tab. 12*.

Nabídka č. 1 (EPRIN spol. s r.o.)
RFID systém identifikace

| Číslo položky | Popis | Množství | | Cena | Celková cena | Sazba | Celková cena | |
|----------------------------|---|----------|----|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------|
| | | MJ | | za MJ | (bez DPH) | DPH % | (vč. DPH) | |
| Hardware | | | | | | | | |
| 1 | Terminál UHF RFID <i>Zebra MC 3190Z</i> vč. příslušenství | 3 | ks | 66 494 | 199 482 | 21 | 241 374 | Kč |
| 2 | Tiskárna <i>SATO CL4NX</i> s RFID UHF rozšířením | 1 | ks | 71 818 | 71 818 | 21 | 86 900 | Kč |
| Spotřební materiál | | | | | | | | |
| 3 | Etiketa 85 x 50 mm, UHF RFID štítek <i>AD-236u7</i> | 6 250 | ks | 7 | 43 750 | 21 | 52 938 | Kč |
| Služby | | | | | | | | |
| 4 | Analýza, návrh, příprava, nasazení, zprovoznění | 1 | ks | - | 90 496 | 21 | 109 500 | Kč |
| Nabídka č. 1 celkem | | | | | | bez DPH | 405 546 | Kč |
| | | | | | | vč. DPH | 490 712 | Kč |

Tab. 11: Indikativní nabídka č. 1 - RFID systému identifikace [EPRIN]

Nabídka č. 2 musela být vzhledem k nedostupnosti RFID štítku *AD-236u7* upravena. Tento byl nahrazen UHF štítkem *Alien 9630-FWRC* velikosti 73 x 13 mm. Krom velikosti se štítek liší pouze provozní teplotou (-40 °C až +70 °C), čtecí dosah je zachován. Dále je v nabídce č. 2 (oproti nabídce č. 1) rozdělena položka terminálu, a sice na vlastní pistolí a na příslušenství (kolébku a síťový napájecí kabel), které je v tomto případě dodáváno zvlášť. S přihlédnutím k faktu, že je nabídka sestavena z cen elektronického obchodu, je zaveden předpoklad totožné ceny služeb. [55]

Nabídka č. 2 (autor skrze e-obchod CODEWARE, s.r.o.)
RFID systém identifikace

| Číslo položky | Popis | Množství | | Cena | Celková cena | Sazba | Celková cena | |
|----------------------------|---|----------|----|---------------|----------------|-------|----------------|-----------|
| | | MJ | | za MJ | (bez DPH) | DPH % | (vč. DPH) | |
| Hardware | | | | | | | | |
| 1 | Terminál UHF RFID Zebra MC 3190Z | 3 | ks | 61 256 | 183 768 | 21 | 222 359 | Kč |
| 2 | Příslušenství k terminálu | 3 | ks | 5 409 | 16 227 | 21 | 19 635 | Kč |
| 3 | Tiskárna SATO CL4NX s RFID UHF rozšířením | 1 | ks | 68 324 | 68 324 | 21 | 82 672 | Kč |
| Spotřební materiál | | | | | | | | |
| 4 | Etiketa 85 x 50 mm, UHF RFID štítek ALN-9630-FWRC | 6 250 | ks | 10 | 62 500 | 21 | 75 625 | Kč |
| Služby | | | | | | | | |
| 5 | Analýza, návrh, příprava, nasazení, zprovoznění | 1 | ks | - | 90 496 | 21 | 109 500 | Kč |
| Nabídka č. 2 celkem | | | | | bez DPH | | 421 315 | Kč |
| | | | | | vč. DPH | | 509 791 | Kč |

Tab. 12: Indikativní nabídka č. 2 – RFID systém identifikace [vlastní]

8.5.2 Systém identifikace pomocí čárových kódů

Systém identifikace pomocí čárových kódů nabízí zautomatizování informačního toku analogicky jako RFID systém. Liší se obzvláště v nemožnosti rozlišit jednotlivé prvky a v potřebě přímé viditelnosti k provedení úkonů snímání kódů. Popis procesu je zkrácen, jelikož v mnohém kopíruje systém RFID – důraz je tedy kladen na klíčové odlišnosti. Následuje výčet prvků systému jako hardware, spotřební materiál a služby. Finanční analýza je provedena po vzoru prvního návrhu.

8.5.2.1 Popis procesu

Systém automatické identifikace pomocí čárových kódů pracuje podobně jako RFID systém, avšak s následujícími odlišnostmi. Významnou změnou je snížení kapacity informací – systém čárových kódů nedisponuje sériovým číslem, tudíž není schopen rozlišit jednotlivé prvky, tak jako systém RFID. Dále je použitím čárových kódů znemožněn zápis polohy prvku při uložení na skladovací plochu. Pro čtení čárových kódů z etikety je vyžadována přímá viditelnost, tudíž je potřeba etikety lepit na předem stanovené viditelné místo na prvku. Jeřábík je při nakládání závislý na pomocném pracovníkovi expedice, který pomocí seznamu generovaného podnikovou aplikací určuje prvky k naložení. Nutnost načítat každý čárový kód zvláště a téměř kontaktně limituje jak pracovníka skladu při ukládání prvků na venkovní skladovací plochu a pomocného pracovníka expedice při nakládání prvků na kamion, tak pracovníka expedice při kontrole skutečně naložených prvků. Každý prvek je označen čárovým kódem shodným pro celou zakázku, čímž se komplikuje proces kontroly.

8.5.2.2 Spotřební materiál

Místo stávající identifikační tabulky je navržena papírová etiketa (*Vellum Extra*) s QR kódem. Ten je upřednostněn před lineárním čárovým kódem z důvodu jeho vyšší odolnosti – QR kód je čitelný až s 30%

poškozením obrazu. Na etiketu jsou vedle QR kódu vytištěny základní povinné identifikační údaje a závazné pokyny pro manipulaci, přepravu a skladování, v případě potřeby je možné rozměry etikety s minimálními náklady zvětšit. S ohledem na skladování prvků v exteriéru je navržena karbonová páska, která zvyšuje kvalitu tisku kódu na papírové etikety, zejména zajišťuje vyšší odolnost proti otěru, chemikáliím a vysokým teplotám. Zároveň je navrženo silnější lepidlo *S2000N* vhodné do venkovních podmínek s rozsahem provozních teplot od -20 °C do +70 °C. Počet kusů etiket s QR kódem odpovídá roční produkci prefabrikovaných železobetonových prvků, tedy 6 250 kusů.

8.5.2.3 Hardware

Jako mobilní terminál ke čtení QR kódů je navržen přístroj *Zebra MC3300* se stupněm krytí IP54, stejně jako u RFID systému v počtu tří kusů. Terminál vážící 505 gramů umožňuje číst lineární čárové kódy a dvoudimenzionální kódy, pokud je dodržena přímá viditelnost mezi terminálem a čteným kódem. Provozní teplota čtečky se pohybuje v rozmezí od -20 °C do +50 °C, přičemž v tomto rozmezí čtečka odolává pádům z výšky 1,5 m. Síťové připojení je zajištěno pomocí *Wi-Fi*, *USB* nebo *Bluetooth*. Tiskárna QR kódů je zvolena *SATO CL4NX* bez RFID UHF rozšíření, což se odráží v její ceně (ta je podstatně nižší). Pracuje v teplotách od ±0 °C do +40 °C. [56]

8.5.2.4 Služby

Jelikož se od sebe procesy v RFID systému identifikace a systému identifikace pomocí čárových kódů o mnoho neliší, je zachována hodnota finančního ocenění položky služeb. Nejvyšší poměrnou část položky služeb totiž tvoří implementace systému, a ta je v obou případech obdobně náročná. U QR kódů je tato náročnost dána zejména faktem, že do nich lze zakódovat pouze odkaz do aplikace, což tvorbu IT infrastruktury poměrně komplikuje.

8.5.2.5 Finanční ohodnocení

Kalkulace nákladů pro navrhovaný systém automatické identifikace pomocí čárových kódů jsou uvedeny v *Tab. 13* a *Tab. 14*.

Nabídka č. 3 (EPRIN spol. s r.o.)
Systém identifikace pomocí čárových kódů

| Číslo položky | Popis | Množství | | Cena | Celková cena | Sazba | Celková cena | |
|----------------------------|---|----------|----|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------|
| | | MJ | | za MJ | (bez DPH) | DPH % | (vč. DPH) | |
| Hardware | | | | | | | | |
| 1 | Terminál 2D Imager <i>Zebra MC 3300</i> vč. příslušenství | 3 | ks | 39 965 | 119 895 | 21 | 145 074 | Kč |
| 2 | Tiskárna <i>SATO CL4NX</i> | 1 | ks | 35 868 | 35 868 | 21 | 43 400 | Kč |
| Spotřební materiál | | | | | | | | |
| 3 | Etiketa 85 x 50 mm, <i>Vellum Extra/S2000N</i> | 6 250 | ks | 0,4 | 2 500 | 21 | 3 025 | Kč |
| 4 | Karbonová páska TTR 84 mm x 74 m | 8 | ks | 165 | 1 320 | 21 | 1 597 | Kč |
| Služby | | | | | | | | |
| 5 | Analýza, návrh, příprava, nasazení, zprovoznění | 1 | ks | - | 90 496 | 21 | 109 500 | Kč |
| Nabídka č. 3 celkem | | | | | | bez DPH | 250 079 | Kč |
| | | | | | | vč. DPH | 302 596 | Kč |

Tab. 13: Indikativní nabídka č. 3 – systém identifikace pomocí čárových kódů [EPRIN]

Položka terminálu je v nabídce č. 4 opět rozdělena do dvou dílčích položek - vlastní pistole terminálu a příslušenství, kterým je kolébka pro uložení pistole a síťový napájecí kabel. Pro zkvalitnění tisku (zvýšení odolnosti) je v této i v předchozí nabídce další položka, a sice karbonová páska. Vzhledem k nedostupnosti totožné karbonové pásky se tato v nabídce č. 4 liší.

Nabídka č. 4 (autor skrze e-obchod CODEWARE, s.r.o.)
 Systém identifikace pomocí čárových kódů

| Číslo položky | Popis | Množství | | Cena | Celková cena | Sazba | Celková cena | |
|----------------------------|---|----------|----|---------------|--------------|----------------|----------------|-----------|
| | | MJ | | za MJ | (bez DPH) | DPH % | (vč. DPH) | |
| Hardware | | | | | | | | |
| 1 | Terminál 2D Imager Zebra MC 3300 | 3 | ks | 26 482 | 79 446 | 21 | 96 130 | Kč |
| 2 | Příslušenství k terminálu | 3 | ks | 5 428 | 16 284 | 21 | 19 704 | Kč |
| 3 | Tiskárna SATO CL4NX | 1 | ks | 32 995 | 32 995 | 21 | 39 924 | Kč |
| Spotřební materiál | | | | | | | | |
| 4 | Etiketa 85 x 50 mm, Vellum Extra/S2000N | 6 250 | ks | 0,4 | 2 500 | 21 | 3 025 | Kč |
| 5 | Karbonová páska TTR 84 mm x 300 m | 2 | ks | 495 | 990 | 21 | 1 198 | Kč |
| Služby | | | | | | | | |
| 6 | Analýza, návrh, příprava, nasazení, zprovoznění | 1 | ks | - | 90 496 | 21 | 109 500 | Kč |
| Nabídka č. 4 celkem | | | | | | bez DPH | 222 711 | Kč |
| | | | | | | vč. DPH | 269 481 | Kč |

Tab. 14: Indikativní nabídka č. 4 – systém identifikace pomocí čárových kódů [vlastní]

8.5.3 Hodnocení kalkulací systémů automatické identifikace

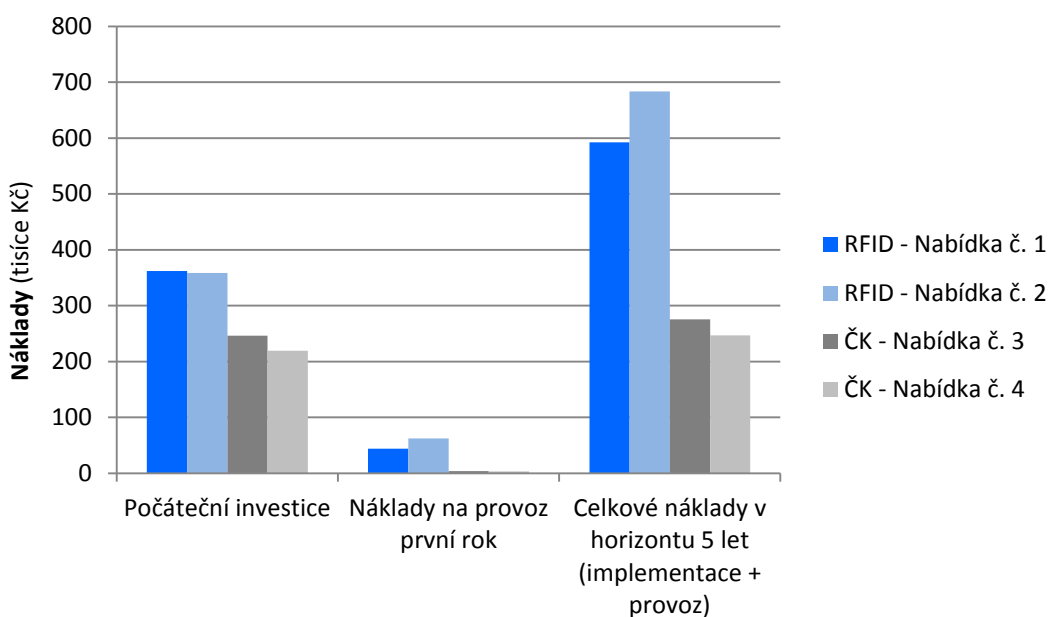
Přehled kalkulací, doplněný o provozní náklady dalších let a souhrnný pětiletý výhled, se nachází v *Tab. 15*.

| | | RFID | | Čárové kódy | | |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| | | Nabídka č. 1 (Kč) | Nabídka č. 2 (Kč) | Nabídka č. 3 (Kč) | Nabídka č. 4 (Kč) | |
| Implementace systému | bez DPH | 361 796 | 358 815 | 246 259 | 219 221 | |
| | s DPH | 437 774 | 434 166 | 297 974 | 265 258 | |
| Počáteční rok provozu | bez DPH | 43 750 | 62 500 | 3 820 | 3 490 | |
| | s DPH | 52 938 | 75 625 | 4 622 | 4 223 | |
| Každý další započatý rok provozu | Spotřební materiál | | | | | |
| | | bez DPH | 43 750 | 62 500 | 3 820 | 3 490 |
| | | s DPH | 52 938 | 75 625 | 4 622 | 4 223 |
| | Revize | bez DPH | 3 000 | 3 000 | 2 500 | 2 500 |
| | | s DPH | 3 630 | 3 630 | 3 025 | 3 025 |
| | Celkem | bez DPH | 46 750 | 65 500 | 6 320 | 5 990 |
| | s DPH | 56 568 | 79 255 | 7 647 | 7 248 | |
| Výhled 5 let | bez DPH | 592 546 | 683 315 | 275 359 | 246 671 | |
| | s DPH | 716 984 | 826 811 | 333 184 | 298 473 | |

Tab. 15: Souhrn kalkulací s výhledem na pět let [vlastní]

Do nákladů na provoz je s každým započatým rokem (s výjimkou v prvním roce) připočtena částka 3 000 Kč (bez DPH) za revizi RFID systému a 2 500 Kč (bez DPH) za revizi systému čárových kódů. V prvním roce, kdy je systém implementován, je tento náklad započten v ceně služeb. Vstupní školení pracovníků je také započteno v ceně služeb, školení dalších pracovníků se v horizontu pěti let nepředpokládá, a proto není součástí kalkulace. Výhled na pět let se skládá z implementace systému v prvním roce, počátečního roku provozu a následujících čtyř let provozu. Jak udává *Graf 3*, počáteční investice do RFID systému identifikace je v průměru 1,55krát větší než vstupní investiční náklady na systém identifikace pomocí čárových kódů. Snížení této propasti nepřichází ani s provozem systému – náklady na jeden rok provozu RFID systému jsou téměř 10krát větší, v horizontu pěti let jsou tak celkové

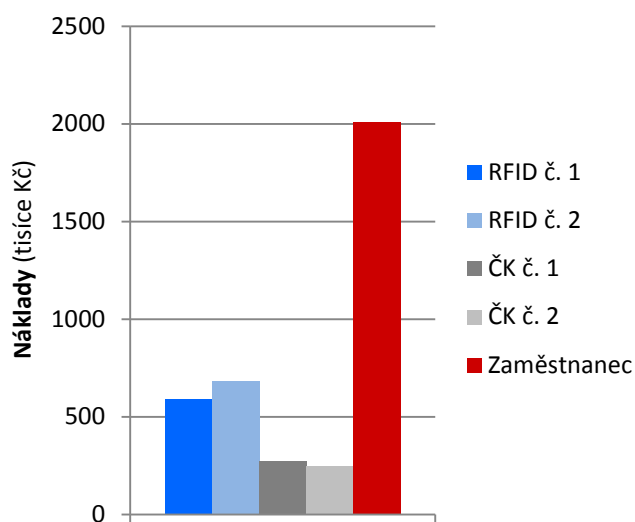
náklady na RFID systém zhruba 2,45krát větší než celkové náklady na systém čárových kódů. Rozdíl je dán hlavně odlišnou cenou RFID štítků oproti čárovým kódům, což je částečně dáno geograficky. Jako příklad lze porovnat cenu štítku *AD-26u7*, který má v ČR při odběru do 10 000 ks cenu 7 Kč (bez DPH), kdežto jeho cena v USA je při stejném odběru pouhých 0,11 \$, což je v přepočtu podle aktuálního kurzu přibližně 2,47 Kč - teoreticky by se tak snížily náklady na provoz přibližně o jednu třetinu.



Graf 3: Srovnání nabídek RFID a ČK [vlastní]

Zavedení systému automatické identifikace (RFID nebo ČK) uvolní jednoho zaměstnance, konkrétně se jedná o pracovníka expedice. Odborným odhadem byly určeny celkové náklady zaměstnavatele na tohoto zaměstnance jako 200 Kč/hod., což přibližně odpovídá jeho hrubé měsíční mzdě 25 000 Kč (superhrubá měsíční mzda – 33 500 Kč). S předpokládaným fondem pracovních hodin podle plánovacího kalendáře pro rok 2019 až 2023 je výše nákladů zaměstnavatele na zaměstnance v období pěti let rovna 2 009 600 Kč.

Porovnání nákladů na zaměstnance s náklady na implementaci a provoz systémů automatické identifikace je v *Graf 4*. Z porovnání nákladů je zřejmá potřeba přijmout systém automatické identifikace pro snížení provozních nákladů. V případě implementace systému RFID jsou náklady vůči zaměstnanci zhruba třetinové, u systému čárových kódů je to přibližně sedmina - z toho vyplývá jasná výhoda na straně čárových kódů. Před učiněním rozhodnutí o tom, který systém přijmout, je potřeba zvážit všechna pro a proti. K tomu účelu slouží popsání hodnocení kalkulací a následující hodnocení efektů implementace RFID.



Graf 4: Předpokládané náklady v horizontu pěti let [vlastní]

8.5.4 Hodnocení efektů implementace RFID

Eventuální přínosy zavedení technologie RFID především v rámci skladovacího a expedičního procesu výrobního zařízení PREFA Pohřebačka jsou uvedeny v textu níže.

Jednoznačná identifikace

Každý prefabrikovaný železobetonový prvek je pomocí svého RFID štítku jednoznačně identifikovatelný. Tato skutečnost se promítá ve zvýšení míry kontroly a její zkvalitnění, a v důsledku toho ve snížení manipulačních nákladů. Jednoznačná identifikace může dále probíhat

mimo brány výrobního zařízení, například při kontrole dodání prvků na stavbu a navazujících činnostech (předmontážní kontrola atd.).

Automatizace informačního toku

Stěžejní benefit – sjednocení stávajících postupů předávání informací v jedno propojené prostředí, ze kterého je možné automaticky exportovat dodací listy a jiné klíčové dokumenty. Zároveň je eliminací lidského faktoru zajištěna nižší chybovost, což vede ke snížení nákladů. Automatizací se také omezí počet potřebných pracovníků, tedy se sníží mzdové náklady.

Zrychlení procesů

Načítání více štítků najednou bez potřeby přímé viditelnosti urychlí proces vyhledávání prefabrikovaných prvků i proces jejich nakládání a následné kontroly. Zrychlením těchto rutinních a časově náročných činností se dříve uvolní pracovní síla, která se alokuje na jinou pracovní povinnost, čímž se zvyšuje produktivita podniku.

Všechny zmíněné výhody získané případnou implementací RFID systému popírá hlavní nevýhoda RFID systému, a tou je i v dnešní digitální době cena. V případě prefabrikovaných železobetonových prvků určených převážně k montáži hal navíc pravděpodobně zaniká možnost využití RFID štítků jinde, než pouze v areálu výrobního zařízení. S touto skutečností dle autora definitivně převážily v daném konkrétním řešení limitace systému nad jeho benefity, a to především kvůli vysokým pořizovacím i provozním nákladům.

Diskuze k naplnění cílů

Předmětem úvodní části práce bylo podat stručný historický přehled technologie RFID a systematicky navázat základními charakteristikami infrastruktury. Kromě komplexního a důkladného popisu základů technologie autor tuto část rozšířil o porovnání technologie rádiové identifikace s technologií identifikace pomocí čárových kódů a nastínil tak výhody a nevýhody obou systémů. Prezentované údaje jsou jádrem pro nahlédnutí do problematiky RFID technologie. Dalším dílčím úkolem teoretické části bylo prozkoumat oblasti aplikace technologie RFID v ČR i ve světě. Výsledkem je souhrn příkladů z automobilového průmyslu, dopravy a logistiky a hlavně stavebního průmyslu, kde je kladen důraz na budoucí možná využití.

Praktická část si kladla za cíl vymodelovat RFID infrastrukturu v prostředí stavební výroby. Za tímto účelem autor navázal spolupráci s výrobním zařízením VCES PREFA Pohřebačka, kde analyzoval stávající výrobní proces prefabrikovaných železobetonových prvků a určil vhodnou oblast implementace systému RFID za účelem zefektivnění výrobního procesu a logistiky. Pro tuto oblast byla následně vymodelována RFID infrastruktura, nadto autor vymodeloval alternativní systém identifikace na bázi čárových kódů. Kritické zpracování praktické části, zejména finanční analýza a hodnocení efektů implementace technologie RFID, má pro management výrobního zařízení vysokou informační hodnotu. Cíl praktické části byl tedy s ohledem na zadání splněn.

Závěr

Z provedeného výzkumu v praktické části diplomové práce, zejména z finanční analýzy nákladů, vyplývá potřeba implementace systému automatické identifikace do výrobního, respektive skladovacího a expedičního procesu výrobního zařízení *PREFA Pohřebička*. Implementací systému automatické identifikace dojde k výraznému snížení provozních nákladů za současného zvýšení kvality a efektivity procesů. Pravděpodobnost zavedení systému RFID namísto systému identifikace pomocí čárových kódů je, vzhledem k vysokým investičním nákladům, nízká. Autor se navzdory tomu domnívá, že výhody, které zde RFID nabízí, jako je jednoznačná identifikace prvků nebo celkové zrychlení procesů, by vysoké počáteční náklady na zavedení systému převážily.

V budoucnu můžeme s klesající cenou štítků a dalších klíčových prvků RFID systému očekávat rozšíření pole působnosti této technologie ve stavebnictví. Za hlavní oblasti využití technologie RFID ve stavebním průmyslu autor považuje bezpečnost, řízení lidských strojů, řízení materiálů a komponent, facility management, ale také stavební výrobu nebo řízení jakosti. Vzhledem k rozsahu diplomové práce se nepodařilo popsat všechny příklady aplikací technologie RFID ve stavebním průmyslu, byly tedy vybrány ty, které by dle autora mohly v nejbližší době najít uplatnění v prostředí českých staveb. Tato skutečnost zároveň dává prostor budoucím studiím podobného charakteru. S přicházejícím stavebnictvím 4.0 je totiž téma automatizace procesů ve stavebnictví čím dál tím víc relevantní, tudíž je zapotřebí o výhodách a možnostech využití technologie RFID nejen v rámci automatizace stavebních procesů informovat, a to jak výrobce a dodavatele stavebních komponent a materiálů, tak hlavní účastníky výstavby.

Seznam literatury

- [1] LANDT, Jeremy. The History of RFID. *IEEE Potentials* [online]. 2005, roč. 24, č. 4 [cit. 2018-10-05]. ISSN: 1558-1772. Dostupné z: <https://xploresit.ieee.org/document/1549751/authors#authors>
- [2] PODOLSKÝ, Jiří. James Clerk Maxwell a zrození dynamické teorie elektromagnetického pole. In: *Popularizační činnost ÚTF* [online]. Srpen 1998 [cit. 2018-10-05]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/popularizace/Maxwell/JEVICK98.pdf>
- [3] POOLE, Ian. *Newnes Guide to Radio and Communications Technology*. Oxford : Newnes, 2003. ISBN 0-7506-5612-3.
- [4] KARMAKAR, Nemaï Chandra. *Handbook of Smart Antennas for RFID systems*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-38764-1.
- [5] COMMUNICATIONS SERVICES CORP I. *Transponder apparatus and system*. Vynálezce: Mario W. Cardullo, William C. Parks. Přihl. 21. 05. 1970. 343/6.5R, G01s9/56. Čís. patentu US3713148A. United States Patent and Trademark Office.
- [6] ZHENG, Feng a KAISER, Thomas. *Digital Signal Processing for RFID*. Chichester : John Wiley & Sons, 2016. ISBN 978-1-118-82431-3.
- [7] MAZÁNEK, Miloš, PECHAČ, Pavel a VRBA, Jan. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03997-7.
- [8] GS1 Czech Republic. *RFID a globální standard EPC* [dokument]. Praha : GS1 Czech Republic, 2018. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.gs1cz.org/media/volne-dostupne-brozury/publikace-epc-rfid.pdf>
- [9] BANKS, Jerry, HANNY, David, PACHANO, Manuel A. a THOMPSON, Les G. *RFID Applied*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2007. ISBN 978-0-471-79365-6.

- [10] *Regulatory status for using RFID in the EPC Gen2 (860 to 960 MHz) band of the UHF spectrum* [online]. GS1, 2018. [cit. 2018-11-20].
Dostupné z: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhf_regulations.pdf
- [11] THORNTON, Frank et al. *RFID Security: Protect the Supply Chain*. Rockland : Syngress, 2006. ISBN 1-59749-047-4.
- [12] RAZAQ, Abdul at al. Second-Generation RFID. In: *IEEE Security & Privacy* [online]. 2008, roč. 6, č. 4 [cit. 2018-10-16]. ISSN: 1558-4046.
Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4588226>
- [13] *Handheld RFID Reader RFR900* [online]. Bluebird, 2018.
[cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://www.bluebirdcorp.com/products/Mobile-Computers/RFID-Handheld-Reader/RFR900#specifications>
- [14] *RFID Readers* [online]. American Barcode and RFID, 2018.
[cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.abr.com/rfid-readers/>
- [15] *IP30 RFID Handheld Reader* [online]. Honeywell, 2015.
[cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <https://www.honeywellaidc.com/products/rfid/handheld-readers/ip30>
- [16] *M3 RFID GUN* [online]. M3 Mobile, 2013. [cit. 2018-11-01].
Dostupné z: <http://www.m3mobile.net/product/view/395>
- [17] WOLFRAM, Gerd, GAMPL, Birgit a GABRIEL, Peter.
The RFID Roadmap: The Next Steps for Europe.
Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
ISBN 978-3-540-71019-6.
- [18] *Standards* [online].
International Organization of Standardization, 2018.
[cit. 2018-10-20]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standards.html>
- [19] RFID eshop Eprin [online]. EPRIN spol. s r. o., 2018. [cit. 2018-10-26].
Dostupné z: <https://www.rfidshop.cz/>

- [20] FERNANDES, Maria et al. Study of Material Interference in a RFID Tag Reading. In: *7th Conference on Telecommunications* [online]. Universidade de Aveiro, 2009. [cit. 2018-11-09].
Dostupné z: <http://www.av.it.pt/conftele2009/Papers/55.pdf>
- [21] WESSEL, Rhea. ThyssenKrupp to Use EPC UHF Tags to Track Steel. In: *RFID Journal* [online]. 2007 [cit. 2018-10-27].
Dostupné z: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?3306>
- [22] ČESKO. Zákon č. 181/2018 Sb., kterým se mění zákon č. 262/2006Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2018.
Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=38485>. ISSN 1211 1244
- [23] KORKMAZ, Evsen a USTUNDAG, Alp. Standards, Security & Privacy Issues about Radio Frequency Identification (RFID). In: *IEEE Xplore* [online]. 2007 [cit. 2018-10-17].
ISBN 978-975-01566-0-1.
Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4368148>
- [24] GS1 Czech Republic. *Systém GS1 - Lineární čárové kódy* [dokument]. Praha : GS1 Czech Republic, 2015. [cit. 2018-11-18].
Dostupné z: <https://www.gs1cz.org/media/volne-dostupne-brozury/publikace-linearni-carove-kody.pdf>
- [25] *Barcodes: EAN/UPC* [online]. GS1, 2018. [cit. 2018-10-26].
Dostupné z: <https://www.gs1.org/standards/barcodes/ean-upc>
- [26] *Industrial RFID Tags: Products that Perform* [online]. Omni-ID, 2018. [cit. 2018-11-7]. Dostupné z: <https://www.omni-id.com/industrial-rfid-tags/#passive>
- [27] *Automotive industry* [online]. European Commission, 2018. [cit. 2018-11-27].
Dostupné z: https://ec.europa.eu/growth/sectors/automotive_en

- [28] *Automobilový průmysl* [online]. CzechInvest, 2018. [cit. 2018-11-27].
Dostupné z: <https://www.czechinvest.org/cz/Sluzby-pro-investory/Klicove-sektory/Automobilovy-prumysl>
- [29] *Car Immobilizers* [online]. Smartrac, 2018. [cit. 2018-11-28].
Dostupné z: <https://www.smartrac-group.com/car-immobilizer.html>
- [30] *UNIQUE Datasheet* [online]. Smartrac, 2018. [cit. 2018-11-28].
Dostupné z: <https://www.smartrac-group.com/unique.html>
- [31] GABA, Gurjot Singh et al. Intelligent Cars using RFID Technology. *In: International Journal of Scientific & Engineering Research* [online]. 2012, roč. 3, č. 7 [cit. 2018-11-15]. ISSN 2229-5518.
Dostupné z: <https://www.ijser.org/researchpaper/intelligent-cars-using-rfid-technology.pdf>
- [32] ALI, Abduladhem Abdulkareem a HUSSEIN, Hussein Alaa. Traffic lights system based on RFID for autonomous driving vehicle. *In: 2017 Annual Conference on New Trends in Information & Communications Technology Applications (NTICT)* [online]. Baghdad: IEEE, 2017 [cit. 2018-11-15]. ISBN 978-1-5386-2962-8.
Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7976149>
- [33] FIŘT, Jaroslav a HOLOTA, Radek. *Digitalizace a zpracování obrazu*. *In: Digitální mikroskopie a analýza obrazu v metalografii*, s. 34-38. 2002 [cit. 2018-11-15]. ISBN 80-7082-917-6.
Dostupné také z: <http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>
- [34] SEETHARAN, Achchuthan. *How Wal-Mart Used RFID Technology to Improve Their Business Strategies?* [online prezentace]. 2014 [cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/AchchuthanSeetharan/wal-mart-45668917>

- [35] WING, Robert. RFID applications in construction and Facilities Management. In: *Journal of Information Technology in Construction* [online]. 2006, roč. 11 [cit. 2018-12-02]. ISSN: 1874-4753. Dostupné z: <https://www.itcon.org/paper/2006/50>
- [36] SWEDBERG, Claire. DPR Construction Uses RFID Building-Security Solution. In: *RFID Journal* [online]. 2013 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?10471/2>
- [37] *Proximity Safety* [online]. Hong Kong RFID, 2018. [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: <https://www.hk-rfid.com/construction-industry>
- [38] Hilti ON!Track: Vstupte do světa digitalizace [online]. Hilti, 2018. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/content/hilti/EE/CZ/cs/services/tool-services/on-track.html>
- [39] *Structure information management using i-CON Spacer* [online]. Taiheiyo Cement Corporation, 2018. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/english/rd/rfid/icon/index.html>
- [40] ČESKO. Nařízení vlády č. 136/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016. Dostupné také z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=136&r=2016>
- [41] *Performance Statistics: Site Safety* [online]. [Online] Hong Kong Housing Authority, 2018. [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <https://www.housingauthority.gov.hk/mini-site/site-safety/en/publications/performance-statistics/index.html>
- [42] *RFID Strain Sensing System* [online]. Taiheiyo Cement Corporation, 2018. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/english/rd/rfid/hizumi/index.html>

- [43] *RFID Corrosion Environment Sensing System* [online]. Taiheiyo Cement Corporation, 2018. [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <http://www.taiheiyo-cement.co.jp/english/rd/rfid/fushoku/index.html>
- [44] *Locating and Marking System* [online]. 3M™, 2017. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://multimedia.3m.com/mws/media/6836170/3m-locating-and-marking-system-product-bulletin-lr-pdf.pdf>
- [45] ABDELNOUR, Abanob et al. Passive Harmonic RFID System for Buried Assets Localization. In: *Sensors* [online]. 2018, roč. 14, č. 11 [cit. 2018-12-07]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s18113635>
- [46] IKA DATA, spol. s r.o. a di5 architekti inženýři, s.r.o. *Koncepce zavedení BIM pro ČSOB* [dokument]. Praha : Československá obchodní banka, a.s., 2014. [cit. 2018-12-19]. Dostupné z: <http://www.bim-point.com/uzitecne-soubory-zdarma-ke-stazeni/koncepce-zavedeni-bim-pro-csob>
- [47] FUCHSÍKOVÁ, Petra a FILIP, Tomáš. *Využití technologie RFID pro potřeby facility managementu* [online prezentace]. 2015 [cit. 2018-12-09]. Dostupné z: http://www.ifma.cz/files/lectures/2015/45/B2_3_TFM2015_Vyuziti_technologie_RFID_pro_potreby_facility_managementu.pdf
- [48] KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim : Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [49] CHENG, J. C. P. a MA, L. Y. H. RFID Supported Cooperation for Construction Waste. In: LUO, Y. *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*. Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011, s. 125-128. ISBN 978-3-642-23734-8.

- [50] *Prefab in History* [online]. prefabAUS, 2018. [cit. 2018-12-06].
Dostupné z: <https://www.prefabaus.org.au/prefab-in-history/>
- [51] *The Tower* [online]. Tour Eiffel, 2018. [cit. 2018-12-06].
Dostupné z: <https://www.toureiffel.paris/en/the-monument>
- [52] *MC3190-Z RFID READER* [online]. Zebra, 2015. [cit. 2018-12-07].
Dostupné z: <https://www.zebra.com/us/en/products/rfid/rfid-handhelds/mc3190-z-handheld-rfid-reader.html>
- [53] *CL4NX* [online]. SATO, 2017. [cit. 2018-12-7].
Dostupné z: <http://www.satoeurope.com/nordic/products/industrial-printers/cl4nx.aspx>
- [54] *AD-236u7* [online]. Avery Dennison, 2018. [cit. 2018-12-07].
Dostupné z: <https://rfid.averydennison.com/en/home/innovation/rfid-inlay-designs/AD-236u7.html>
- [55] *ALN-9630* [online]. Alien Technology, 2015. [cit. 2018-12-07].
Dostupné z:
<https://www.alientechnology.com/products/tags/squiglette/>
- [56] *MC3300 Mobile Computer* [online]. Zebra, 2018. [cit. 2018-12-07].
Dostupné z: <https://www.zebra.com/us/en/products/mobile-computers/handheld/mc3300.html>
- [57] PETERKA, Jiří. Duplex, Simplex . In: *Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 1992 [cit. 2018-10-23].
Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a245c120.php3>
- [58] TIG (Tungsten Inert Gas Welding) [online] Migatronik CZ a. s., 2018.
[cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>
- [59] *Confidex Silverline Classic™* [online]. Confidex, 2018.
[cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <https://www.confidex.com/products/links-by-confidex/confidex-silverline-classic>

- [60] *Omni-ID Exo 750* [online]. Omni-ID, 2018. [cit. 2018-10-27].
Dostupné z: <https://www.omni-id.com/industrial-rfid-tags/>
- [61] *Omni-ID IQ 600* [online]. Omni-ID, 2018. [cit. 2018-10-27].
Dostupné z: <https://www.omni-id.com/industrial-rfid-tags/>

Seznam obrázků

| | | |
|----------|---|----|
| Obr. 1: | Obecné rozdělení RFID systému do vrstev [vlastní] | 12 |
| Obr. 2: | Rozdělení RFID štítků, upraveno z [4] | 14 |
| Obr. 3: | Kategorie RFID štítků podle zdroje energie, upraveno z [6] | 15 |
| Obr. 4: | Obecný diagram RFID čtečky, upraveno z [9] | 23 |
| Obr. 5: | Blokový diagram čtečky, upraveno z [9] | 23 |
| Obr. 6: | Klasifikace RFID čtecích zařízení, upraveno z [4] | 24 |
| Obr. 7: | Ruční čtecí zařízení <i>Honeywell IP30</i> [15] | 27 |
| Obr. 8: | Elektronický kód produktu o délce 96 bitů, upraveno z [11] | 31 |
| Obr. 9: | RFID štítek <i>Confidex Silverline Classic™</i> [59] | 34 |
| Obr. 10: | RFID štítek <i>Omni-ID Exo 750</i> [60] | 34 |
| Obr. 11: | RFID štítek <i>Omni-ID IQ 600</i> [61] | 35 |
| Obr. 12: | UHF RFID štítek <i>SATO Flag Tag</i> [21] | 35 |
| Obr. 13: | Přehled čárových kódů [25] | 39 |
| Obr. 14: | Struktura lineárního čárového kódu <i>EAN-13</i> [24] | 41 |
| Obr. 15: | Transpondér <i>UNIQUE</i> ve skleněném pouzdře o rozměrech 3,15 x 13,3 mm [30] | 45 |
| Obr. 16: | Model RFID systému rozpoznávání světelné signalizace, upraveno z [32] | 49 |
| Obr. 17: | Model RFID systému rozpoznávání dopravního značení, upraveno z [32] | 49 |
| Obr. 18: | RFID brána načítající UHF štítky z ochranné přilby pracovníka [36] | 53 |
| Obr. 19: | NFC štítek na kleci benzínového generátoru elektrického proudu [38] | 56 |
| Obr. 20: | Umístění distanční podložky do bedně nosné stěny [39] | 57 |

| | |
|--|----|
| Obr. 21: Kontrola krycí vrstvy pomocí RFID technologie [39]..... | 57 |
| Obr. 22: Princip bezpečnostního modelu duální frekvence, upraveno z [37]..... | 59 |
| Obr. 23: Čtečka s připojeným alarmem (vlevo), štítek v ochranné přilbě (vpravo) [37] | 59 |
| Obr. 24: Štítek s tenzometrem (vlevo) a čtečka s anténou (vpravo) [42]..... | 61 |
| Obr. 25: Proces instalace štítku se senzorem do železobetonové konstrukce [43] | 62 |
| Obr. 26: Počítačem řízená čtečka s externí anténou (vlevo) a ruční čtečka (vpravo), štítek a senzor připevněný na výztužném prutu (uprostřed) [43]..... | 63 |
| Obr. 27: EMS značky – Ball Marker a Full Range Marker [44]..... | 64 |
| Obr. 28: Konstrukce zdvojené podlahy budovy <i>SHQ</i> včetně skladby [ČSOB] | 66 |
| Obr. 29: Synchronizace dat RFID štítku mezi <i>CAFM</i> systémem (<i>Archibus</i>) a <i>BIM</i> nástrojem (<i>Autodesk Revit</i>), upraveno z [47] | 66 |
| Obr. 30: Skladovací plocha s jedním ze dvou portálových jeřábů [vlastní] | 76 |
| Obr. 31: Identifikační tabulka prvku [vlastní]..... | 76 |
| Obr. 32: Informační tok při současném způsobu expedice prvků [vlastní] | 77 |
| Obr. 33: RFID štítek <i>Avery Dennison 236u7</i> [54] | 82 |

Seznam tabulek

| | | |
|----------|--|----|
| Tab. 1: | Rozdělení rádiových frekvenčních pásem [7] | 17 |
| Tab. 2: | Alokované frekvence v pásmu UHF vybraných zemí [9]..... | 19 |
| Tab. 3: | Třídy RFID štítků podle <i>EPC Global</i> [10]..... | 20 |
| Tab. 4: | Aktuálně platné normy ISO řady 18000 [13] | 32 |
| Tab. 5: | Podrobný přehled čárových kódů včetně jejich hlavních charakteristik [36] | 40 |
| Tab. 6: | Základní rozdíly mezi ČK a RFID [vlastní]..... | 43 |
| Tab. 7: | SWOT analýza pro RFID ve stavebnictví [vlastní] | 70 |
| Tab. 8: | Specifikace terminálu <i>Zebra MC3190-Z</i> [48] | 81 |
| Tab. 9: | Specifikace RFID štítku <i>AD-236u7</i> [50] | 83 |
| Tab. 10: | Přehled oslovených společností | 84 |
| Tab. 11: | Indikativní nabídka č. 1 - RFID systému identifikace [EPRIN]..... | 85 |
| Tab. 12: | Indikativní nabídka č. 2 – RFID systém identifikace [vlastní]..... | 86 |
| Tab. 13: | Indikativní nabídka č. 3 – systém identifikace pomocí čárových kódů [EPRIN] | 89 |
| Tab. 14: | Indikativní nabídka č. 4 – systém identifikace pomocí čárových kódů [vlastní] | 90 |
| Tab. 15: | Souhrn kalkulací s výhledem na pět let [vlastní] | 91 |

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1: Úrazovost vztažená na 1000 pracovníků ve stavebním průmyslu Hong Kongu [36]..... | 60 |
| Graf 2: Strategie odpadového hospodářství s integrovaným systémem na bázi RFID, upraveno z [45] | 68 |
| Graf 3: Srovnání nabídek RFID a ČK [vlastní] | 92 |
| Graf 4: Předpokládané náklady v horizontu pěti let [vlastní] | 93 |

Seznam příloh

Příloha č. 1 - Mapa areálu výrobního zařízení PREFA Pohřebačka při VCES a.s. [VCES]

Příloha č. 2 - Indikativní nabídka od společnosti EPRIN [EPRIN]

Seznam veličin

f kmitočet (Hz)