



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Logistično inženirstvo
Modul: Transportna logistika

UPORABA TEHNOLOGIJE RFID PRI SKLADIŠČENJU

Mentor: Mihael Bešter, univ. dipl. inž. tehn. prom.
Lektorica: Marija Jurgele, prof. slov.

Kandidat: Stojan Jocić

Kranj, januar 2013

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Mihaelu Beštru, univ. dipl. inž. tehn. prom. za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Mariji Jurgele, prof. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

»Študent Stojan Jocić izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Mihaela Beštra, univ. dipl. inž. tehn. prom.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne 11.2.2013

Podpis: _____

POVZETEK

V skladiščnih procesih našega proizvodnega podjetja smo za avtomatično identifikacijo blaga uvedli tehnologijo RFID. Blago, palete in skladiščne lokacije so dobili nove identifikacijske oznake vsebovane na pasivnih RFID transponderjih, na katere je s pomočjo RFID bralnikov poleg njihovega branja možno tudi pisati. Nove elektronske kode produkta na blagu so edinstvene na globalni ravni in jih z bralniki zajemamo avtomatično, skupinsko in skozi celoten prerez transportne enote. Pri tem na uspešnost branja ne vplivata niti orientacija transponderjev v prostoru niti vidna linija med bralnikom in transponderjem. Radijski način prenosa podatkov skozi medij pa ima svoje fizikalne značilnosti in omejitve, ki jih moramo upoštevati pri načrtovanju prostorske razporeditve RFID portalov in pri izbiri tehnološko ustrezne opreme. UHF bralniki dolgega dosega so za branje pasivnih transponderjev Generacije 2 lahko uspešno nameščeni na vse ključne točke pri skladiščnih procesih, ne da bi pri tem sami predstavljali znatno fizično oviro. S kombinacijo uporabe mobilnih bralnikov na viličarjih in sistema za skladiščni management (WMS) pa lahko sprotno posodabljammo inventarno stanje v skladišču. Ker smo pri avtomatičnem zajemanju in prenosu podatkov v WMS ter njegovem posodabljanju razrešeni ročnega vnašanja podatkov, delamo bolj zanesljivo in z manj zaposlenimi.

KLJUČNE BESEDE

- RFID
- bralnik
- transponder
- WMS

ABSTRACT

In our production enterprise RFID technology for automatic identification of goods in warehousing processes was introduced. Goods, pallets and stock locations have got new identification code contained on passive RFID transponders, to which with the help of the RFID readers in addition to their reading is also possible to write. New electronic product codes of the goods are unique on global scale and are captured by the readers automatically, collectively and through the entire cross-section of transporting units. In doing so, the reading performance is not influenced neither by the transponder orientation in space, nor by visible line between the reader and the transponder. Radio mode data transfer through the medium has its physical characteristics and limitations that must be considered when designing the spatial distribution of RFID portals and in selection of appropriate technological equipment. UHF long range readers for reading in the case of passive transponders Generation 2 can be successfully installed on all the key points in the storage process, without this representing a substantial physical barrier. By combining the use of mobile scanners on forklifts and warehouse management system (WMS), a real-time inventory status in the warehouse can be updated. Since we are released from manual data entry by automatic data capture and transfer to WMS and its update, we work more reliably and with fewer employees.

KEYWORDS

- RFID
- reader
- transponder
- WMS

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2	PREDSTAVITEV OKOLJA.....	1
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE.....	2
1.4	METODE DELA	2
2	SKLADIŠČENJE S PODPORO SODOBNIH TEHNOLOGIJ.....	2
2.1	SKLADIŠČENJE IN VLOGA SKLADIŠČ	2
2.2	STROŠKI SKLADIŠČENJA.....	3
2.3	SKLADIŠČNE FUNKCIJE IN GIBANJE BLAGA PRI SKLADIŠČENJU	4
2.3.1	SPREJEM BLAGA	4
2.3.2	PRETOVARJANJE BLAGA.....	5
2.3.3	HRAMBA BLAGA.....	5
2.3.4	ODJEM BLAGA IZ ZALOGE PO NAROČILU ALI KOMISIONIRANJE	6
2.3.5	PAKIRANJE IN STORITVE DODANE VREDNOSTI	6
2.3.6	SORTIRANJE, RAZVRŠČANJE IN ODPREMA	7
2.4	SKLADIŠČNI SISTEMI.....	7
2.4.1	VRSTE SKLADIŠČENJA	8
2.5	SODOBNE TEHNOLOGIJE PRI SKLADIŠČENJU.....	9
2.5.1	PALETIZACIJA S POMOČJO AVTOMATIZIRANIH NAPRAV ZA PALETIZIRANJE.....	9
2.5.2	SKLADIŠČENJE BLAGA V VISOKOREGALNIH SKLADIŠČIH.....	12
2.5.3	SKLADIŠČNI INFORMACIJSKI SISTEM	14
3	RFID TEHNOLOGIJA IN NJENE PREDNOSTI	17
3.1	ZGODOVINSKI RAZVOJ RFID	17
3.2	OPREDELITEV RFID SISTEMA	18
3.3	PREDNOSTI RFID PRED ČRTNO KODO	21
3.4	KOMPONENTE RFID SISTEMA.....	23
3.4.1	RFID BRALNIK (READER)	26
3.4.2	TRANSPONDER OZIROMA RFID TAG.....	31
3.5	MODULACIJSKI ODBOJ	39
4	SIMULACIJA PRIMERA VZPOSTAVITVE SISTEMA RFID ZA PODPORO PROCESOV SKLADIŠČENJA	40
5	ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID	48
5.1	ANALIZA STROŠKOV VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID.....	48
5.2	KALKULACIJA STROŠKOV PRI UVOZU RFID OPREME	51
5.3	ANALIZA KORISTI VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID	54
6	ZAKLJUČEK	60
6.1	OCENA UČINKOV	60
6.2	POGOJI ZA UVEDBO	61
6.3	MOŽNOSTI NADALJNEGA RAZVOJA	61

7	LITERATURA.....	62
	POJMOVNIK.....	64
	KRATICE IN AKRONIMI	64
	KAZALO SLIK.....	66
	KAZALO TABEL	67

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Pri skladiščenju, ki predstavlja distribucijski del logistične verige podjetja, se srečujemo z obsežnejšimi premiki blaga. Uskladiščeno blago je nemalokrat potrebno prerazporejati na ugodnejša mesta za odjem iz zaloge. Za vse blago, ki ga skladiščimo pa moramo vedeti kje točno se nagaja ter ostale podatke o blagu. Sprejem novo prispelega blaga na skladiščenje zahteva tudi ponavljajoča se rutinska opravila identificiranja in vnosa podatkov s posledičnim generiranjem napak. Če uporabljamo tehnologijo radio frekvenčne identifikacije blaga (RFID) pri odčitavanju in zapisovanju podatkov o blagu, poslujemo bolj zanesljivo, z manj zaposlenimi in hitreje. Branje zapisa podatkovne etikete in prenos podatkov je v primerjavi s črtno kodo samodejno, brez dotika, na razdalji več metrov ter brez potrebe po usklajeni orientaciji in čisti vizualni liniji med etiketo in skenerjem. Osnovo RFID predstavlja prenos podatkov z radijskimi valovi, skeniranih z več etiket hkrati. Kljub višjim stroškom pri uvedbi RFID tehnologije pa se moramo zavedati, da obstojijo prihranki zaradi zanesljivejšega in dinamičnejšega poslovanja podjetja ter zmanjšanja števila zaposlenih.

1.2 PREDSTAVITEV OKOLJA

Delovno okolje obravnavanega problema se nanaša na fiktivno podjetje, ki se ukvarja s proizvodnjo elektromotorjev za gospodinjske aparate. Gre za srednje veliko proizvodno podjetje s sto zaposlenimi, ki svoje izdelke izvažajo na severnoameriški trg. V celoletni proizvodnji izdelamo dva milijona kosov različnih vrst elektromotorjev, ki jih ustrezno embaliramo in označimo ter jih tako pripravimo za prekomorski transport. Prostor v katerem se blago pripravlja je urejen kot visoko mehanizirano skladišče zaprtega tipa, z informacijsko tehnologijo in napravami za avtomatično zajemanje podatkov o blagu. Za zlaganje uskladiščenega blaga uporabljamo petnajst metrov visoke regale razvrščene v triindvajsetih vrstah, s šestimi vmesnimi hodniki, ki so opremljeni z vzdolžnimi tirnicami za natančno vodenje visokoregalnih viličarjev. Skladišče razpolaga s 4830 paletnimi mesti za uskladiščenje. Upravljanje skladišča je urejeno z informacijskim sistemom za skladiščni management (WMS). Zajemanje edinstvenih identifikacijskih kod blaga s tehnologijo RFID poteka samodejno, ostali podatki o blagu pa so dostopni v podatkovnih bazah. Ob majhnem asortimanu izdelkov, z opremljenostjo visokoregalnih viličarjev s škarjastim mehanizmom za dvojno globino zajema in z dinamičnostjo operacij WMS, do založitev blaga v skladišču s šestimi zaposlenimi ne prihaja.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Omejitve se v našem primeru nanašajo na podjetje, ki je neresnično in je ustvarjeno z namenom prikazovanja specifične problematike.

1.4 METODE DELA

Za izdelavo diplomske naloge bomo uporabili metodo opisovanja (deskripcije), metodo primerjanja (komparacije), metodo kalkulacije, metodo kompilacije, induktivno – deduktivno metodo, metodo raziskovanja in metodo naštevanja.

2 SKLADIŠČENJE S PODPORO SODOBNIH TEHNOLOGIJ

2.1 SKLADIŠČENJE IN VLOGA SKLADIŠČ

Z logističnega vidika je skladiščenje načrtovan proces za premoščanje časa in statusa v potrebah po blagu, pri čemer je primarno, da uskladiščeni inventar absorbira fluktuacije v potrebah in zagotavlja nemoten potek operacij v oskrbovalni verigi. Operacije kot so: prejemanje blaga, uskladiščenje, sledenje in odprema blaga, so z dodeljevanjem različnih funkcij nadzorovane s strani skladiščnega managementa, ki ima v novejših časih podporo v sodobnih informacijskih tehnologijah (IT). Kot komponenta distribucije oskrbovalne verige, je skladiščenje po pomembnosti enakovredno transportu. V skladu s ten Hompel in Schmidt (2007), neposredni razlogi za tako pomembno vlogo delovanja skladišč in distribucijskih sistemov izhajajo iz sledečega:

- potreb po pripravljenosti skladišča, da zagotovi pravočasno dostavo proizvodov, pri čemer stranka lahko zahteva takojšnjo izpolnitev svojega naročila, skladišče pa mora imeti predvideno količino na zalogi (nivo storitev za kupce);
- zagotavljanje produktivnosti najpomembnejših stopenj proizvodnega procesa je doseženo z vzdrževanjem zalog v skladišču, tako da v primeru motenj v dobavi surovin te potekajo neprekinjeno;
- zagotavljanje storitev dodane vrednosti, kot je etiketiranje. Slednje je prisotno bolj v distribucijskih skladiščih;
- zmanjšanje transportnih stroškov pri optimalnem izkoriščanju kapacitet prevoznih sredstev (popolno natovorjena), kar neposredno zmanjšuje stroške pri rokovanju z blagom ob sprejemu in odpremi blaga, tako v podjetju kot pri kupcu;

- za potrebe uravnoveženja pri spremembah v povpraševanju (nenadno – sezonsko) ali za usklajevanje časovno različno dolgih procesov proizvodnje s hranjenjem različnih polproizvodov, s čimer dobimo kontinuirano proizvodnjo;
- omogočanje istočasnih večjih nabav blaga in s tem povezanih prihrankov, ali skladiščenje zaradi spekulativnega porasta vrednosti blaga.

Vsa dejavnost potrebna za učinkovito uskladiščenje in distribucijo blaga je odvisna od zasnove skladiščnega sistema, ki se sestoji iz:

- osnovne tehnične strukture; zunanost skladišča, oprema za manipulacijo blaga in komponente skladišča;
- operacijskega in organizacijskega okvira; je v povezavi z drugimi področji – nabava, transport;
- koordinacije kontrole skladiščnega sistema; skladiščni management z znanjem vseh potrebnih procesov za tehnično in operacijsko tekoče delovanje skladišča v povezavi z ostalim sistemom.

V ožjem smislu je skladiščenje funkcija vzdrževanja (hranjenja) zaloga in omogoča delovanje številnih drugih funkcij podjetja, kot je nabava, proizvodnja in prodaja. V proizvodnem podjetju je v praksi nemogoče medsebojno uskladiti intenziteto porabe in proizvodnje nekega izdelka, niti ni mogoče medsebojno uskladiti posameznih proizvodnih operacij nekega proizvoda. V proizvodnem načrtu je predviden proizvodni proces, ki se prične z nabavo potrebnih surovin, skladiščenjem teh do začetka proizvodnje ter se nadaljuje s transportom surovin iz skladišča v proizvodni obrat, obdelavo surovin na prvem stroju, s transportom polizdelka do drugega stroja, nadaljevanjem drugega proizvodnega procesa in tako vse do izdelave končnega proizvoda, ki ga uskladiščimo na predvideno mesto, kjer ga hranimo do prodaje. Pomembnost skladiščenja se tako ne kaže samo v hranjenju zaloga, temveč tudi pri optimalnem in učinkovitem obvladovanju potrebnih tokov blaga ter kombinaciji njihove idealne količine in oblike (pakirne, transportne enote).

2.2 STROŠKI SKLADIŠČENJA

Uskladiščeno blago v zalogah največkrat predstavlja pomemben del investiranih sredstev in ustvarja stroške zaradi vezanosti kapitala, zmanjševanja vrednosti blaga ter okvar, kala in kraje. Celotni stroški skladiščenja pa predstavljajo občutno postavko v skupnih stroških in zajemajo poleg stroškov uskladiščene blaga, tudi stroške skladiščnega prostora za amortizacijo zgradb in opreme ali najemnino in stroške poslovanja skladišča za plače, vzdrževanje, zavarovanje in vodenje.

2.3 SKLADIŠČNE FUNKCIJE IN GIBANJE BLAGA PRI SKLADIŠČENJU

Poleg primarne funkcije hranjenja blaga ima skladišče vlogo tudi pri gibanju blaga. Osnovni procesi v skladišču nastanejo, ko se dostavljeno blago odloži na določeno mesto dokler se ga zopet ne potrebuje in se ga odvzame (odjem) in prestavi na mesto za odpremo. Med posameznimi glavnimi procesi, ki so pri večini skladišč kjer vzdržujemo zaloge blaga enaki (sprejem blaga, hranjenje, odjem, odprema), pride do nastanka blagovnih tokov v skladišču. Gibanje blaga zagotavlja zadostne količine zalog ter narekuje ustrezno dinamiko procesov pri zagotavljanju določene ravni distribucijskih storitev (čas dostave) v oskrbovalni verigi. Standardni skladiščni procesi so:

- sprejem blaga (raztovor),
- hramba blaga,
- odjem blaga iz zaloge po naročilu ali komisioniranje,
- pakiranje in storitve dodane vrednosti,
- sortiranje, razvrščanje in odprema.

2.3.1 SPREJEM BLAGA

Blago lahko pride v skladišče z zunanjim transportom ali pa je prevzeto od podjetja. Po predhodnem naročilu blaga, sprejememo obvestilo o dobavi, z datumom dobave. Pri sprejemu blaga, ki vključuje tudi raztovor s prevoznega sredstva, se opravi še kontrola in evidentiranje blaga. Za vsako transportno enoto, ki je prispela v skladišče, se mora pridobiti ustrezne podatke, slednje lahko dosežemo s skeniranjem ustrezne črtno kode na zunanji ovojnini ali pa to storimo ročno in podatke ustrezno dokumentiramo. Če prispele transportne enote dimenzijsko ali količinsko ne ustrezajo razpoložljivim skladiščnim mestom, jih pred sortiranjem tudi razpakiramo ali prepakiramo. Novonastalim skladiščnim enotam pa obvezno že v tej fazi pripnemo RFID tag ali nalepimo ustrezno črtno kodo, ki vsebuje vse potrebne podatke o pakirni enoti in izdelkih v njej. Tudi o teh enotah zajamemo podatke in jih shranimo. Pri nadaljnjem sortiranju, gre za razvrščanje blaga glede na njihovo mesto skladiščenja. Zatem sledi prenos (transfer) blaga, pri čemer se v skladišču običajno opravljata dve do tri različni premeščanja blaga; prenos na zeleno mesto, prenos na mesto skladiščenja ali prenos na mesto natovarjanja tovornih vozil, pri pretočnih skladiščih. Pri tem prihaja pogosto do pretovarjanja blaga.

2.3.2 PRETOVARJANJE BLAGA

Pri sprejemu blaga v skladišče je najpogosteje to blago transportirano z nekim transportnim sredstvom, ki ni primerno za vhod v skladišče in odlaganje dospelega blaga na primerno mesto. Zato rabimo neko drugo transportno sredstvo, ki bo to blago preneslo s transportnega sredstva, ki se uporablja v prometu, na transportno sredstvo, ki je primerno za gibanje v skladišču. Največkrat se pri tem uporablja čelni viličar, ki je pri odlaganju prispelega blaga na mesto uskladiščenja, blago sposoben tudi dvigniti na velike višine. Transportno opremo, ki se uporablja za tovrsten transport kosovnega blaga v skladišču, lahko delimo glede na način delovanja na:

- mehanizacijo z neprekinjenim delovanjem (valjčni, tračni transporterji), za katero je značilen kontinuiran transportni tok blaga ter predstavlja stacionarne naprave, ki jih je lahko avtomatizirati;
- mehanizacijo s prekinjenim delovanjem (viličarji, dvigala, žerjavi). To so samostojne naprave, ki delujejo od izvornega mesta do ciljnega odlagališča, medtem pa prenašajo blago. V delovnem ciklu se lahko prosto gibljejo in jim je glede na njihovo konstrukcijo, dostopna katerakoli točka znotraj delovnega področja.

Pri tej skladiščni funkciji, oziroma ob pretovarjanju blaga, je pogostost nastanka poškodb na blagu in celo poškodb zaposlenih največja in jo zato jemljemo kot kritično fazo skladiščenja. Enaka situacija se pojavlja, ko moramo blago transportirati od skladišča do kupca. Takrat je potrebno uporabiti eno transportno sredstvo (npr. viličar), da bi lahko blago vzeli iz skladišča in ga prenesli do transportnega sredstva primerne za dostavo (tovornjak). Do pretovarjanja blaga pa pride tudi, ko je blago (surovine, polizdelke) potrebno prenesti iz skladišča do proizvodnih obratov, pri čemer je blago izpostavljeno vsem tveganjem za nastanek poškodb na blagu, ali pa pri transferu končnih izdelkov iz proizvodnih obratov do skladišča.

2.3.3 HRAMBA BLAGA

Pri tem procesu zadržujemo zalogo blaga v skladišču, ki blagu zagotavlja ohranitev kakovosti in količine, ob čim nižjih stroških shranjevanja in varovanja. Pri tem procesu je pomembna izkoriščenost skladiščnega prostora, saj uskladiščeno blago, ki se nahaja na točno določenih skladiščnih mestih, ki jih v vsakem trenutku poznamo, zavzema približno polovico vsega razpoložljivega prostora v skladišču. Če identifikacija blaga še ni bila opravljena, mora biti zagotovo opravljena pri kontroli identifikacije v predskladiščnem območju. Optimalno izkoriščenost prostora dosežemo z zlaganjem blaga v višino (stelaže 15 m – 100-odstotna izkoriščenost, zlaganje v bloke – 40-odstotna izkoriščenost) in s tvorbo mešanih palet, kadar

moramo uskladiščiti volumsko manjše enote blaga, kot jo predstavlja običajna skladiščna enota (standardizirana evro paleta). Ko nam je pri vodenju evidence inventarja v skladišču na razpolago sistem skladiščnega managementa (WMS) ter samodejna identifikacija blaga (avto ID), lahko vodenje evidence razširimo tudi na blago, ki se nahaja na transportnih sredstvih in je pripravljeno za uskladiščenje ali pa smo ga odvzeli iz zaloge za tvorbo pošiljke. S tem dobimo stvarnejšo sliko o vseh zalogah in blagu lahko uspešneje sledimo, kar je pomembno predvsem v večjih skladiščnih sistemih z velikim pretokom blaga.

2.3.4 ODJEM BLAGA IZ ZALOGA PO NAROČILU ALI KOMISIONIRANJE

Pri uskladiščenju blaga, ima veliko vlogo za določanje skladiščnega mesta določenega blaga tudi oddaljenost od območja za odpremo, oziroma območja kjer izvajamo odjem iz zaloge po naročilih, saj pri pravilni razporeditvi skladiščnih mest, za blago pri procesu odjema (picking), lahko znatno skrajšamo razdalje, ki jih mora komisionar opraviti. Glede na to, da ta operacija zaposluje velik delež zaposlenih in je tudi najdražja operacija pri skladiščenju je smiselno, da te razdalje čim bolj skrajšamo. Pri tem so nam najbolj v pomoč ustrezne predhodne izkušnje (hevrstične metode) in računalniško podprta izračunavanja (algoritmi), pri čemer pa moramo vedeti, da za izračun najoptimalnejše poti tudi zelo zmogljiv računalnik porabi več dni. Pri tem v skladu s ten Hompel in Schmidt (2007) program izdela:

- sekvenco lokacij posameznih odjemov,
- izbere najmanjše možno število lokacij,
- začne z lokacijo, ki vsebuje najmanjšo količino,
- v zaporedju si sledijo najbližje lokacije,
- upošteva strategijo odjema (LIFO, FIFO, datum izdelave),
- za manjše odjeme odredi drugačno lokacijo, kot za odjem celih palet.

Za skrajšanje poti pri odjemu, je smiselno opraviti masovni odjem z združitvijo večjega števila manjših naročil, oziroma združevanje naročil. Vedeti moramo tudi kako pogosto bodo kupci določen izdelek naročali, kar nam narekuje razpored hrambe takega izdelka v bližino glavnega prehoda, na več vzporednih stranskih prehodih in čim bližje mestu odpreme. Posamezne strategije določanja skladiščnih mest blagu so različne, glede na možnosti in potrebe skladiščenja: pufer cone, coniranje, navzkrižna distribucija, naključna ali fiksna pozicija.

2.3.5 PAKIRANJE IN STORITVE DODANE VREDNOSTI

Zbiranje blaga za odpremo iz skladišča je na določenem področju v skladišču. Tu se konsolidirajo posamezne vrste blaga enega naročila v večje tovorke (transportna embalaža). S tem dosežemo boljše zaščito blaga med prevozom, racionalnejšo izkoriščenost transportnega sredstva ter racionalnejše manipulacije z blagom. Poleg

označevanja teh tovorov, se tu opravlja tudi možno podaljšanje proizvodne dejavnosti (kompletiranje komponent v ovojnino, sestavljanje izdelka).

2.3.6 SORTIRANJE, RAZVRŠČANJE IN ODPREMA

Tu se določi, katere za posamezne kupce namenjene pošiljke, se bodo transportirale na istem vozilu. Pri tem nam lahko WMS pomaga določiti, na kateri nakladalno – razkladalni ploščadi bodo pošiljke natovorjene na transportno sredstvo, za odpremo do končnega kupca.

2.4 SKLADIŠČNI SISTEMI

Glede na potrebe po relokaciji uskladiščenega blaga se skladiščni sistemi delijo na statične in dinamične. Razvrščamo pa jih lahko tudi glede na naprave in zahteve sistema kontrole, kot tudi glede na tip konstrukcije in uporabljena transportna sredstva ter skladiščno funkcijo (Tabela 1, str. 8). Primarni parametri za izbiro ustreznega skladiščnega sistema so:

- število različnih artiklov,
- dimenzija in teža artikla,
- količina vsakega artikla,
- zahteve pretoka blaga,
- potreben prostor,
- strategije pri odjemu blaga iz zaloge (LIFO, FIFO).

Karakteristika(značilnost)	Vrsta	Opis	Splošni cilji
Tehnologija	Skladiščenje na tleh	Blago je uskladiščeno neposredno na tla in zloženo v višino po potrebi.	Poceni skladiščenje velikih količin majhnega števila artiklov.
	Skladiščenje na policah	Blago je uskladiščeno na police, večinoma z nakladalnimi pripomočki.	Neposreden dostop do velikega števila artiklov. Visoka izkoriščenost prostora.
Način	Blokovno skladiščenje	Blago je uskladiščeno neposredno drug vrh drugega, drug za drugega ali drug ob drugega.	Visoka izkoriščenost prostora in kratke operacijske razdalje.
	Linjsko skladiščenje	Blago je uskladiščeno neposredno drug vrh drugega, drug za drugega ali drug ob drugega;	Neposreden dostop do velikega števila artiklov.

		obstajajo operativni hodniki med stelažami.	
Lokacija	Statično skladiščenje	Blago ostane na isti lokaciji od uskladiščenja do odjema; ni premeščeno.	Poceni skladiščna tehnologija. Malo stresa na uskladiščnem blagu.
	Dinamično skladiščenje	Blago se po uskladiščenju premakne; mogoče je tudi uskladiščenje/odjem na isto lokacijo.	Kratke operacijske razdalje. Neposreden dostop kljub visoki volumski izkoriščenosti prostora.

Tabela 1: Diferenciacija skladiščnih sistemov

(Vir: ten Hompel Michael, Schmidt Thorsten (2007). Warehouse management, Automation and organisation of warehouse and order picking systems. Berlin Heidelberg: Springer Verlag)

2.4.1 VRSTE SKLADIŠČENJA

Opis različnih vrst skladiščenja lahko pričnemo z najpreprostejšim načinom skladiščenja, ki zahteva le čelni viličar in blago, ki je paletizirano. Pri blokovnem skladiščenju paletizirano blago zlagamo neposredno na tla ter nalagamo palete drugo na drugo do šest enot v višino. Zaradi zahtevane varnosti pri ravnanju z viličarjem blaga ne smemo zlagati več kot šest enot v globino. Tako lahko preprosto izračunamo največji blok, ki ga lahko naredimo: 12 enot × 12 enot × 6 enot. Dostopnost paletnih enot lahko povečamo z zlaganjem v vrste s širino dveh enot, druge ob drugi.

Druga vrsta skladiščenja zahteva zlaganje blaga na police (regali, stelaže). Pri takem skladiščenju lahko bolje izkoristimo dragoceni skladiščni prostor z zlaganjem v višino (do 45 m). Stelaže, ki predstavljajo vertikalno postavljene jeklene konstrukcije s prečno povezanimi jeklenimi letvami in so prirejene za sprejem paletiziranega blaga, so na podlago lahko pritrjene nepomično ali pomično (mobilno). Pri tem pa so možne tudi različne vrste izvedb prečnih letev na katere odlagamo palete in jim lahko prilagodimo višino glede na dimenzije tovora ali pa so nepomične. V praksi zaradi velike porabe časa pri takem opravi, tudi pomičnih letev ne premikamo. Stelaže so lahko organizirane podobno kot blokovna skladišča, le da je pri njih možen odjem s katere koli višine, vendar še vedno le na zunanjih pozicijah ter le spredaj ali zadaj (drive in, drive through regali). Stelaže pa so lahko razporejene v vrstah dve po dve ali štiri po štiri skupaj, med posameznimi prehodnimi hodniki, odvisno od tega s kakšno skladiščno opremo razpolagamo. Pri

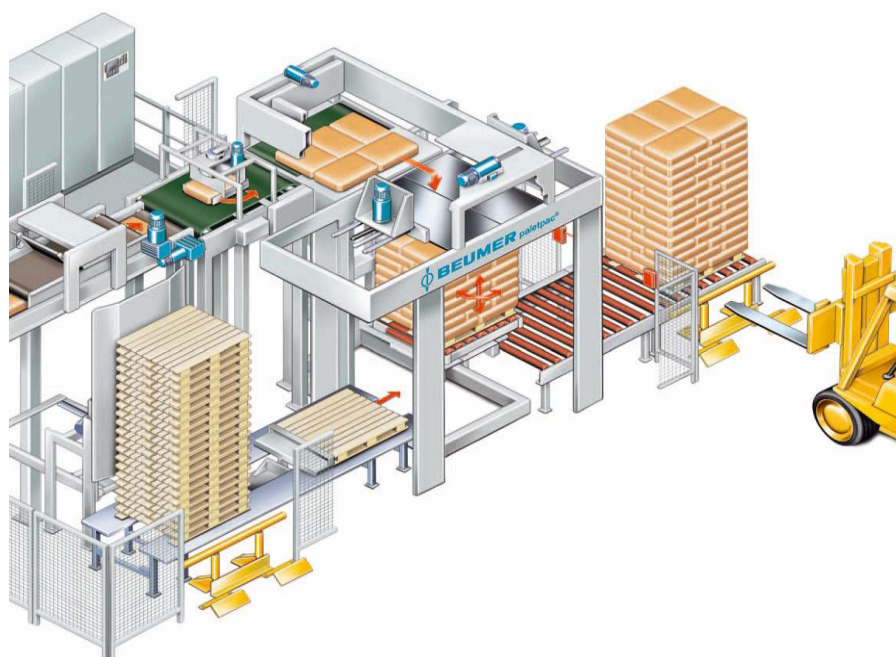
viličarjih, ki imajo škarjast ali teleskopski nastavek na vilicah za dvojno globino zajema, je možna opcija štirih vrst regalov drugega ob drugem, pri tem pa ne izgubimo dostopnosti do posamične skladiščne enote. Posamezne stelaže so lahko tudi navpično ali vodoravno pomične, kjer z različnimi mehanizmi in pogoni ustvarimo vrtenje teh polic in odjem blaga na točno določenem mestu. Primerne so za shranjevanje manjših izdelkov, ki so na tako pomičnih policah zloženi v priročnih kontejnerjih (Paternoster ali Carousel stelaže).

2.5 SODOBNE TEHNOLOGIJE PRI SKLADIŠČENJU

2.5.1 PALETIZACIJA S POMOČJO AVTOMATIZIRANIH NAPRAV ZA PALETIZIRANJE

V podjetju paletizacijo opravljamo s pomočjo avtomatiziranih naprav za paletizacijo, ki uporabljajo najsodobnejše senzorske tehnologije ter optimalne elektronske kontrolne sisteme ter so ob vsem tem tudi enostavne za upravljanje. Te naprave omogočajo izgotovitev večje tovarne enote iz posameznih paketov, s postavljanjem in zavarovanjem paketov na paletu. Končni proizvodi, ki so zapakirani v osnovno ovojnino, prihajajo na orientacijsko ploščad preko vhodne valjaste ali tračne transportne poti, kjer se upočasnijo in usmerijo s pomočjo programa za zlaganje ter tako oblikujejo sloje paketov. Oblikovani sloji se potiskajo v komoro za zlaganje na kovinsko ploščo, pod katero se postavlja prazna paleta. Paleta se po zloženem sloju paketov samodejno spušča na višino pakiranja novega sloja. Ko je zloženo predvideno število slojev oziroma, ko je dosežena določena višina, se paleta spusti na dno komore in se potisne na izhodni valjasti transportni trak, ki izroči tako zložene pakete v oddelek za povezovanje paketov. (Slika 1, str. 10) V tem primeru se tovor zavaruje z raztegljivo plastično folijo. Ko so izdelki na tekočem traku že ročno vstavljeni v osnovno plastično vrečko in v kartonsko škatlo ter ustrezno etiketirani, jih po avtomatični paletizaciji še dodatno pakiramo. Faze pakiranja že paletiziranega tovorka v elastično plastično folijo s pomočjo stroja za pakiranje so sledeče: (Slika 2 str. 10, Slika 3 str. 11, Slika 4 str. 11, Slika 5, str. 12)

- oblikovanje čepice iz plastične folije, ki se premesti na napravo za oprijem in raztezanje,
- gladek in čvrst oprijem plastične čepice, merjenje in rezanje na željeno dolžino po samodejnem zaznavanju višine tovora na paleti,
- raztezanje plastične čepice (potrebna stopnja raztezanja je določena z razsežnostjo tovorka na paleti, prožnostjo plastične folije in razsežnostjo plastične folije),
- vlečenje raztegnjenih kotov plastične čepice v smeri navzdol ter simultano krčenje plastične folije v navpični smeri – biaksialno krčenje,
- oblikovanje čvrstega spoja pod paletu.



Slika 1: Avtomatizirano paletiziranje
(Vir: Beumer tehnologija v gibanju,
http://www.beumer.com/fileadmin/user_upload/downloads/beumer_paletpac_1800_en.pdf)



Slika 2: Popolnoma avtomatiziran sistem za ovijanje
(Vir: Baumer sistem za ovijanje <http://www.beumer.com/products/packaging-systems/stretch-hooding/stretch-hoodr-m/>)



Slika 3: Faze pri pakiranju nove tovarne enote z raztegljivim polivinilom
(Vir: Baumer sistem za ovijanje <http://www.beumer.com/products/packaging-systems/stretch-hooding/stretch-hoodr-m/>)



Slika 4: Z raztegljivim polivinilom ovit tovor
(Vir: Baumer sistem za ovijanje, <http://www.beumer.com/products/packaging-systems/stretch-hooding/stretch-hoodr-m/>)



Slika 5: Sistem za raztegljivo ovijanje
(Vir: Beumer sistem za raztegljivo ovijanje,

<http://www.beumer.com/products/packaging-systems/stretch-hooding/stretch-hoodri/>)

2.5.2 SKLADIŠČENJE BLAGA V VISOKOREGALNIH SKLADIŠČIH

Sam skladiščni objekt je šestnajst metrov visoka zgradba s površino 4200 m² (70 m × 60 m) in je del proizvodnega kompleksa. Lokacija podjetja je ob glavnih prometnicah in v okolju, ki dovoljuje grajenje objektov tudi v višino. Način poslovanja podjetja, ki se je usmerilo tudi v prodajo na drobno, je znatno povečalo pretočnost blaga pri skladiščnem poslovanju. Skladišče, ki ustreza potrebam poslovanja podjetja, je organizirano kot visokoregalno (15 m), visoko mehanizirano skladišče z uporabo sodobne informacijske tehnologije za skladiščenje paletiziranih končnih izdelkov, z ozkimi hodniki med regali (1,8 m) (Slika 6, str. 13). Visoke stelaže, ki omogočajo stodontno izkoriščenost prostora (drugače 40 %), pa zahtevajo tudi specifične visokoregalne viličarje (Slika 7, str. 13), ki imajo to posebnost, da se kabina dviguje skupaj z voznikom in z bremenom na vilicah. Voznik se skupaj z vilicami dvigne na želeno višino in pri komisioniranju naloži blago z regalov na paleto, oziroma naloži celo paleto. Ti viličarji imajo ob straneh vgrajena vodilna kolesa, ki se pri vožnji med regali dotikajo vodilnih letev, ki so vgrajene pri tleh, na stranicah regalov. Tak način dopušča celo zgolj deset centimetrsko oddaljenost viličarja od regalov. Visokoregalni viličarji za ozke prehode zahtevajo kvalitetno ravno podlago in najmanj 1,8 m široke dostopne hodnike. Taki visokoregalni viličarji imajo vgrajen vrtljiv mehanizem vilic, ki omogoča obračanje vilic za devetdeset stopinj in se jim za odlaganje blaga na obe strani v hodniku, ni potrebno obračati, kar bi sicer zahtevalo večjo širino prehoda (2,8 m–3,5 m). V primeru škarjastega ali teleskopskega mehanizma za zajem blaga, ki je nameščen na vilice, je mogoča dvojna globina pri zajemanju blaga. To omogoča večjo volumsko izkoriščenost skladišča, saj pri tem lahko namestimo štiri regale enega poleg drugega, med

vsakim dostopnim hodnikom. Vse blago na paletah je označeno s fizično šifro v obliki črtne kode in z RFID privescem. Tako lahko vsak artikel s pomočjo ročnega skenerja ali RFID bralnika, tudi hitro identificiramo.



*Slika 6: Visokoregalna skladišča
(Vir: Hompel, Schmidt, 2007)*



*Slika 7: Visokoregalni viličar
(Vir: <http://www.jungheinrich.com/en/com/index-de/presse/new-products/kombi-stacker-ekx-513-515>)*

2.5.3 SKLADIŠČNI INFORMACIJSKI SISTEM

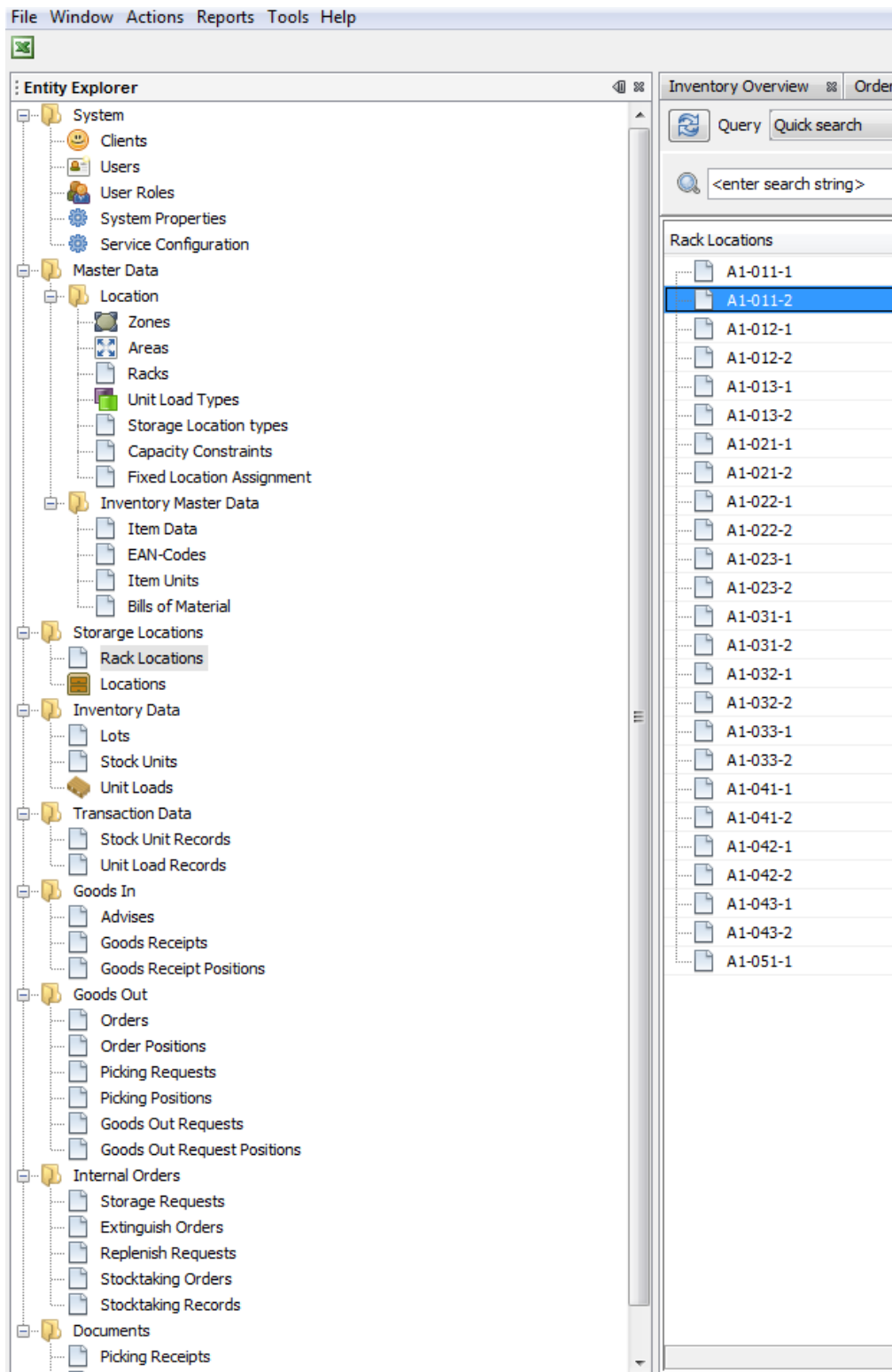
Pomemben sestavni del vsakega skladišča je tudi njegov informacijski sistem. Pri računalniški programski opremi, ki se sestoji iz namenskih uporabniških programov za sistem skladiščnega managementa (WMS), zaposluje visoko usposobljen kader, ki obvlada delo s temi programi. WMS programska oprema so programi, ki sočasno usmerjajo opremo in ljudi in zagotavljajo nadzor, omogočajo spremenljivost in preglednost skladiščnih operacij nad skladiščnim inventarjem. Ta programska oprema je učinkovita v konvencionalnih, delno avtomatiziranih ali pa tudi pri popolno avtomatiziranih distribucijskih skladiščih. WMS poveča učinkovitost in hitrost proizvodnje z manjšimi skupnimi upravljalnimi stroški. WMS je zasnovan podobno operacijskemu sistemu s katerim ni mogoče upravljati brez dodatnih WMS aplikacij. Ker sistem ni omejen s tipom skladiščenja ali logističnega procesa, je število aplikacij veliko in obsega tako ročno upravljana skladišča, kot tudi avtomatizirana in heterogena skladišča. WMS preko določenih vmesnih podatkovnih skupin – komunikacijskih vmesnikov (interfaces), komunicira z zunanjimi sistemi dobavljalca, kupca, proizvajalca in administracijo podjetja (na primer ERP – enterprise resource planning) ter preko notranjih vmesnikov, z notranjimi izmenljivimi moduli, ki vsebujejo tudi specifične računalniške programe za določene vrste aplikacij. Tak notranji vmesnik (interface) imenovan vtičnik (plug in), je sprogramiran v Java računalniškem jeziku. WMS preko celotnega nabora vtičnikov shranjenih v knjižnici, omogoča priklapljanje različnih modulov. Eden takih modulov, ki jih uporabljamo pri skladiščenju je ročni odčitovalec (skener) črtnih kod, ali pa RFID sistem za avtomatično identifikacijo izdelkov, transportnih enot in skladiščnih pozicij. Značilnost WMS sistema je, da je možno hitro prilagajanje programov tako osnovne programske opreme, kot tudi modulov za njihove specifične aplikacije. WMS je zasnovan hierarhično, s tremi nivoji delovanja in vsebuje inventarni management, lokacijski management, ter kontrolo pretoka materiala (Slika 8, str. 16). WMS pri sestavi naročil za odpremo sprejema naloge od supraordiniranega sistema ERP in določi datume dostave blaga, glede na trenutne zaloge in obseg potrebnega dela. Naročilo mora vsebovati:

- številko naročila,
- številko stranke,
- število izdelkov za dostavo posamičnega naročila,
- datum dostave na prostoru za odpremo.

Vsa prejeta naročila se preračunajo in se glede na dane možnosti najugodnejše razporedijo v skupke več naročil za posamezno komisioniranje, pri tem se sestavijo liste za odjem blaga iz zaloge z izračunano optimalno potjo in zaporedjem posamičnih postaj za odjem. V skladu s ten Hompel in Schmidt (2007), WMS pri tem po sprejemu naročil od supraordiniranega sistema:

- loči naročila na naloge iz posamičnih izdelkov ali naloge iz več izdelkov,
- določi skladiščne lokacije posamičnih izdelkov,
- določi potrebno število kontejnerjev za komisioniranje,
- izračuna potreben čas izvedbe posamezne naloge.

Ta sistem je združljiv tudi s skladiščnim kontrolnim sistemom (WCS), ki je v primeru avtomatizacije skladiščnih procesov, zadolžen za avtomatizirano hranjenje in vračanje blaga iz stelažnih regalov na odpravno mesto in obratno. Definiramo ga lahko kot sistem za premikanje tovora, ki kontrolira vse avtomatične procese in izvaja premikanje tovora v obsegu avtomatiziranega sistema.



Slika 8: Hierarhija pri WMS
(Vir: Lasten)

3 RFID TEHNOLOGIJA IN NJENE PREDNOSTI

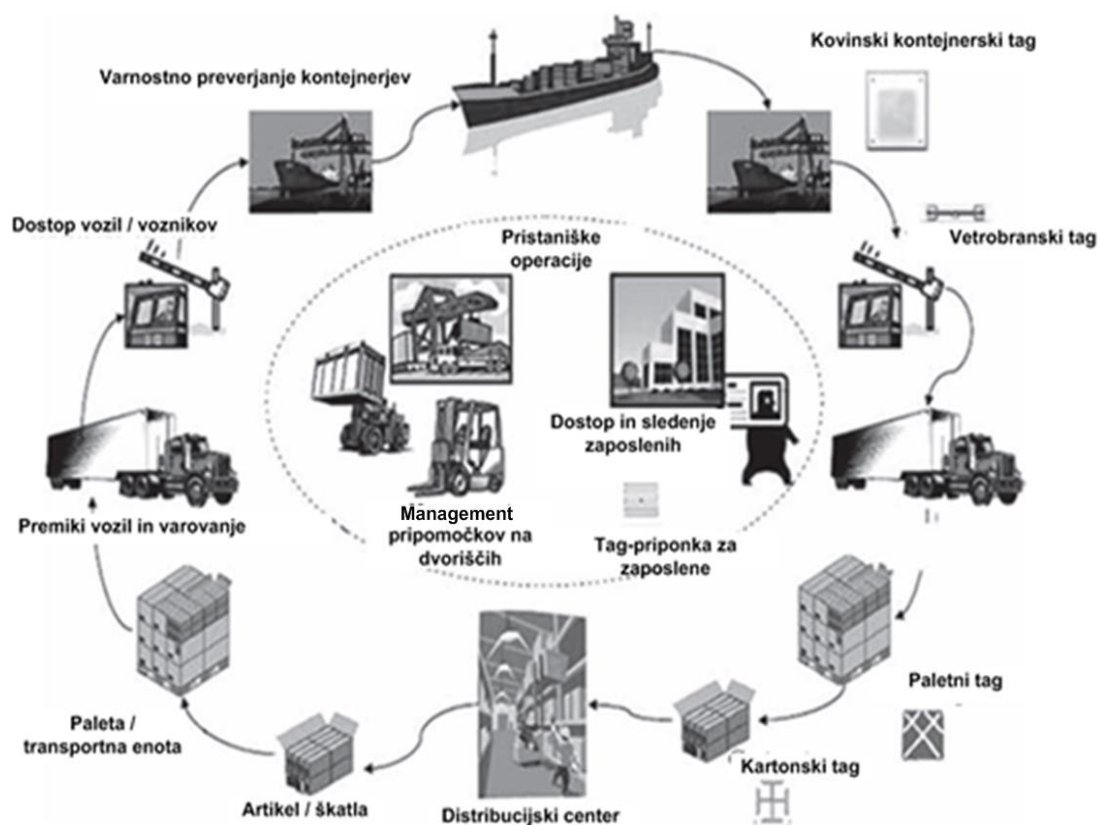
3.1 ZGODOVINSKI RAZVOJ RFID

V svojih osnovah je z razvojem RFID tehnologije povezana Maxwellova teorija o elektromagnetnih poljih iz leta 1864, ki govori o potovanju električne in magnetne energije v transverzalnih valovih s hitrostjo svetlobe, Hertzovo praktično generiranje radijskih valov iz leta 1887, Teslina iznajdba proizvodnje radijskih frekvenc in patentiranje radia, v tistem času definiranega kot brezžični prenos podatkov (patent priznan 1943), kot tudi njegovi prvi poskusi praktične uporabe brezžične radijske komunikacije z radijskim vodenjem čolna leta 1898. Bolj pa se zgodovina RFID tehnologije nanaša na razvoj radarskega inženiringa več znanstvenikov navedenih kronološko: Heinricha Hertza (1886), Aleksandra Popova (1895), Christiana Hülsmeyerja (1904), Nikola Tesle (1917), Hoyt Taylorja in Leo Younga (1922), Emila Girardeaua (1934), Rudolfa Kühnholda (1935), Roberta Watta (1935) in Roberta Pagea (1938). Za razvoj RFID je odločilna iznajdba radarja za odkrivanje letal leta 1935 s strani britanskega znanstvenika Roberta A. Watson Watta, od katerega je RFID prevzel pripadajočo tehnično proceduro. Praktično uporabo RFID lahko zasledimo pri aktivnem identifikacijskem transponderskem sistemu dolgega dosega, s katerim so bila med Drugo svetovno vojno opremljena zavezniška letala. Pri tem sistemu identificiran prijatelj ali sovražnik, je radarski signal z zemeljske postaje zadel napravo locirano na letalu, ta pa je reagirala z oddajanjem kode nazaj na radarsko frekvenco zasliševalne zemeljske postaje. S tem je bilo omogočeno ločevanje sovražnih in zavezniških letal. Ker je naprava oddajala (transmits) in reagirala (responds), se je imenovala transponder, kar je ime za RFID podatkovne nosilce še danes. Prvi transponderji so bili v velikosti kovčka in težki. Za svoje delovanje so porabili veliko energije. Z razvojem na področju polprevodniške tehnologije, integriranih vezij, mikroprocesorjev ter transmisijske tehnologije, so transponderji postajali manjši in zmogljivejši. V sedemdesetih letih dvajsetega stoletja so se pojavili v elektronskih nadzornih sistemih za izdelke, kjer so jih v trgovinah uporabljali kot preproste eno bitne transponderje za opozarjanje, če je stranka blago pozabila plačati. Transponder, ki na blagajni pri izhodu ni bil deaktiviran, je ob prehodu skozi vrata skenerja sprožil piskajoč zvok. Eno bitne transponderje v take namene uporabljamo še danes in jih v izdelke vgrajujemo v obliki priveskov že v proizvodnem procesu ali ob pakiranju v ovojnino. Leta 1973 sta Mario Cardullo in Charles Watson patentirala aktivni RFID privesek s prepisljivim (rewritable) pomnilnikom, Charles Walton pa je istega leta dobil patent za pasivni transponder za odklepanje vrat brez ključa. V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja so se transponderji pojavili v komercialnih aplikacijah za identificiranje in sledenje živali, sledenje vozil, pri elektronskem pobiranju cestnine, pri avtomatizaciji proizvodnih procesov, za sledenje pri skladiščenju, pri elektronskih

imobilizacijskih sistemih vozil, ter pri kontroli dostopa v objekte. (Slika 9, str. 18) V primerjavi s transponderji nadzornih sistemov za izdelke, potrebujejo slednji veliko večjo kapaciteto spomina za shranjevanje podatkov, kot je to nedvoumna številka EPC. Takšnemu razvoju je botrovalo patentiranje UHF RFID sistema IBM-ovih inženirjev leta 1990, ki je dobil poln zagon leta 1999.

3.2 OPREDELITEV RFID SISTEMA

RFID je generični termin, ki ga uporabljamo za opisovanje sistema, ki s pomočjo radijskih valov prenaša informacijo (edinstveno serijsko številko EPC) za brezžično identificiranje objekta ali osebe. V splošnem se ti sistemi delijo glede na:



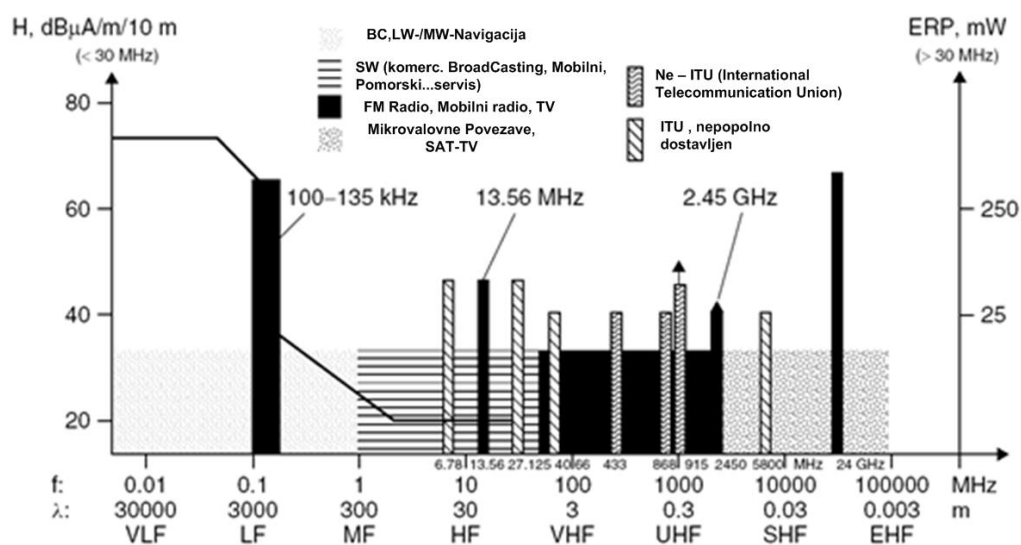
Slika 9: Integrirana preskrbovalna veriga z RFID
(Vir: Jones, Chung, 2011)

- mobilnost bralnika (stacionarni, prenosni),
- programabilnost transponderja (programabilni; vsebuje čip ali mikroprocesor, neprogramabilni (SAW, 1 bitni)),
- vrsto uporabljenega transponderja (pasivni, aktivni in pol pasivni),
- razvrstitev delovanja oziroma doseg (bližnje združevalni; 0-1 cm, oddaljeno združevalni; 0-1 m, dolgega dosega; >1 m),
- frekvenčno območje delovanja (LF, HF, UHF/ mikrovalovi),
- način obdelave informacije (samo za branje, za branje in pisanje),
- vrsto procedure pri povratnem pošiljanju podatkov od transponderja k bralniku (modulacijski odboj oziroma refleksija, bremenska modulacija, ali uporaba sub harmoničnih valov).

RFID sistem je del širše kategorije avtomatičnih informacijskih tehnologij (AIT), ki jih uporabljamo za samodejno zajemanje podatkov in se v skladu z Jones in Chung (2011) deli na: črtne kode (linearne/dvo-dimenzionalne (2D)/3D), radio frekvenčno identifikacijo (aktivna/pasivna/pol pasivna), radio frekvenčno zajemanje podatkov (WiFi, ZigBee), lokacijski sistem v realnem času (RTLS), satelitske priveske/GPS, mikro elektromehanični sistem (MEMS), kontaktne spominske gumbe, biometrijo, kartice za dostop (magnetne, pametne kartice), optično prepoznavanje znakov (OCR). S pomočjo avtomatične identifikacije (Avto ID) ali radio frekvenčne identifikacije (RFID), pri skladiščenju dobimo o označenem blagu ali napravah vse potrebne podatke na preprost in hiter način. Postopek zajemanja podatkov, ki se nahajajo elektronsko zapisani na čipu etikete ali podatkovnega nosilca drugačne izvedbe, naprimer priveska (tag, transponder), poteka s pomočjo RFID naprav za branje, na brezkontaktni način in z uporabo procedure za visokofrekvenčni transfer. Komunikacija je torej brezžična in ne potrebuje nikakršne vizualne povezave s skenerjem ter poteka samodejno, z več podatkovnih nosilcev hkrati. Najpreprostejši RFID sistem se sestoji iz najmanj ene bralne naprave in ene enote za shranjevanje podatkov, s predhodno razloženim načinom prenosa podatkov. Bralnik brezžično komunicira s podatkovnim nosilcem, ki se nahaja v njegovem dosegu in zbira podatke o objektih, na katerih so podatkovni nosilci pritrjeni. Vse naprave RFID sistema in celotno okolje v katerem izvajamo ta sodobni način identifikacije, morajo biti usklajeni z RFID tehnologijo. Branja podatkov s podatkovnih nosilcev ne ovirata niti umazanija niti visoke temperature (200°C), vendar pa na zmanjšanje delovnih učinkov sistema vplivajo elektromagnetne emisije v okolju, kovinski predmeti ter tekočine. Ker je za proces branja podatkov ključnega pomena radio frekvenčno (RF) valovanje, ki predstavlja nosilec pri prenosu podatkov, moramo biti zaradi njihovega interferenčnega vplivanja v določenem delovnem okolju, seznanjeni tudi z vsemi ostalimi napravami, ki za svoje delovanje uporabljajo radijsko tehnologijo ali pa ob svojem obratovanju elektromagnetno valovanje generirajo (električna napeljava, elektromotorji, mikrovalovne pečice, mobilni telefoni, WLAN). Področja uporabe radijsko zasnovane tehnologije v vsakdanjem in poslovnem življenju, kot tudi v industrijskih procesih, čeprav delujejo na drugih frekvencah, so zelo široka in

prednjačijo pred uporabo RFID tehnologije. V nekaterih pasovnih širinah pa se radijske frekvence posameznih služb medsebojno celo prekrivajo. Naj izpostavimo le bistvene ostale radijske sisteme, katerih skupna značilnost je generiranje in radiacija elektromagnetnih (EM) valov v okolje. To so radijske, televizijske in mobilne radijske službe (policijske, varnostne, industrijske), vojaške in letalske radijske službe ter mobilna telefonija (Slika 10, str. 20).

Pri vzpostavljanju RFID sistema v delovni proces, se moramo zato zavedati fizikalnih značilnosti nastanka in širjenja radijskih valov, njihovega medsebojnega vplivanja ter selektivnih učinkov v okolju postavljenih fizičnih objektov, na način njihovega delovanja. Glede na to, da je RFID sistem zasnovan kot radijski transponder in mora delovati tudi v legalnih okvirih, pa smemo v ta namen svobodno uporabljati le radijske frekvence rezervirane za industrijske, znanstvene in medicinske naprave. Te frekvence so v svetu klasificirane kot industrijsko-znanstveno-medicinski (IZM) frekvenčni rangi in so brezplačne. Za delovanje RFID sistema je pomemben tudi celotni frekvenčni rang pod 135 kHz z dolgo valovno dolžino (LF), ki je dosegljiv ob plačilu nizkih tehničnih stroškov. Najpomembnejši svetovno razširjeni ne-licenčni frekvenčni pasovi za delovanje RFID sistemov so od 9-148,5 kHz za nizke frekvence (LF), 13,56 MHz z le 14 kHz širokim spektrom za visoke frekvence (HF), od 865-868 MHz za ultra-visoke frekvence (UHF) in od 2400-2483,5 MHz za mikrovalove (Slika 11, str. 21).



Slika 10: Frekvenčni rangi uporabljeni pri RFID sistemih ; ERP (Equivalent radiated power), H (jakost magnetnega polja)
(Vir: Bartneck, Volker, Schoenherr, 2009)

Pred vključitvijo vzpostavljenega skladišnega RFID sistema moramo od pristojnih oblasti v državi pridobiti tudi ustrezno dovoljenje. Samo obratovanje sistema ne sme posegati v vitalne frekvenčne pasove nekaterih služb, naprimer reševalne službe.

RAZRED	FREKVENCA	VALOVNA DOLŽINA	ENERGIJA
γ	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
NUV	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μm	124 meV
FIR	3 THz	100 μm	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
HF	30 MHz	10 m	124 neV
MF	3 MHz	100 m	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF/ULF	3 kHz	100 km	12.4 peV
SLF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
ELF	30 Hz	10 Mm	124 feV
ELF	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

Slika 11: Spekter EM valovanja s frekvenco, valovno dolžino in energijo valovanja
(Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum)

Legenda: γ-gama žarki, HX-trdi X žarki, SX-mehki X žarki, EUV-ekstremno ultravijolični žarki, NUV-bližnji ultravijolični žarki, Vidna svetloba: NIR-bližnja infrardeča, MIR-srednja infrardeča, FIR-daljna infrardeča, Radijski valovi: EHF-ekstremno visoka frekvenca, SHF-super visoka frekvenca, UHF-ultra visoka frekvenca, VHF-zelo visoka frekvenca, HF-visoka frekvenca, MF-srednja frekvenca, LF-nizka frekvenca, VLF-zelo nizka frekvenca, VF/ULF-frekvenca glasu, SLF-super nizka frekvenca, ELF-ekstremno nizka frekvenca.

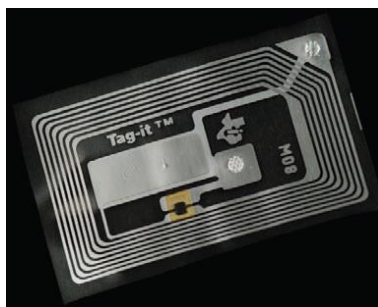
3.3 PREDNOSTI RFID PRED ČRTNO KODO

Ključna pomanjkljivost linearne črtno kode (EAN) je njena nizka kapaciteta spomina (8 bitov), ki zadostuje le za zapis trinajstih števil UPC. V mnogih primerih je to rešeno z 2D črtno kodo, ki ima večjo kapaciteto (en do sto bajtov), vendar zahteva specialne skenerje. V industriji je najbolj uporabljena 2D podatkovna Matrix koda. (Slika 12, str. 22)



Slika 12: Linearna EAN-14 in podatkovna Matrix črna koda
(Vir: Lasten)

Za namen shranjevanja še večjih količin podatkov in možnosti njihovega posodabljanja glede lokacije in kakovosti izdelka, lahko uporabljamo le RFID podatkovne nosilce različnih kapacitet in načinov delovanja (pasivni, aktivni, pol pasivni), z elektronskim zapisom podatkov (Slika 13, str. 22). Na avtomatskih proizvodnih linijah so lahko na teh podatkovnih nosilcih shranjeni celotni programi. Ker ima RFID še veliko drugih prednosti pred podatkovno Matrix kodo (Tabela 2, str. 23), širšo uporabo RFID sistema omejuje le cena silikonskega čipa, ki je potreben za izdelavo RFID podatkovnega nosilca.



Slika 13: Čip RFID

(Vir: Jones Erick C., PhD, Chung Christopher A., PhD (2011). *RFID and Auto – ID in Planning and Logistics: A practical guide for military UID applications*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group)

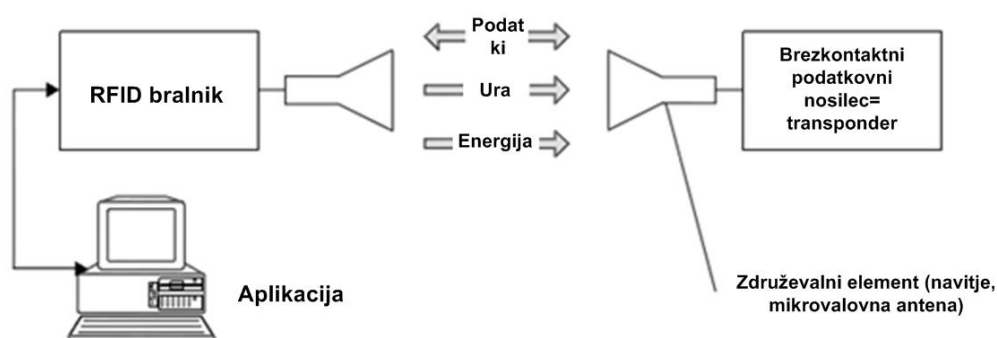
V skladu z Jones in Chung (2011) znaša danes cena za silikonski čip pet centov, kar je v preteklosti predstavljalo mejo ekonomičnosti vzpostavitve RFID sistema. S ceno čipa en cent, pa bi s takimi transponderji lahko brez izgub opremljali posamične izdelke. Z razvojem anten taga na podlagi prevodnih črnih in papirja, integriranih vezij na podlagi apliciranja polprevodniških organskih substanc na acetatni substrat ter drugih polprevodniških tehnologij (Shottky dioda), kot tudi procedur za samostojno sestavljanje pri povezovanju čipa z anteno transponderja, se lahko izdelava transponderja še dodatno poceni.

Kriterij	Podatkovna Matrix koda	RFID
Princip	Optična prepoznavna	Radijski oddajnik
Vizualna povezava	Zahtevana	Ni zahtevana
Doseg	Nizka do srednja (0-0,5 m)	Nizka do visoka (0-5 m)
Občutljivost glede	Deleža, odbojev	Deleža vode, kovin
Vpliv pokrivanja	Popolna napaka	Brez vpliva
Vpliv orientacije/pozicije	Nizek	Brez vpliva
Direktno označevanje	Možno	Ni možno
Cena na etiketo	Zelo ugodna	Ugodna
Gostota informacije	Visoka	Zelo visoka
Količina informacije v bajtih	1-100	16-64 k
Spreminjanje podatkov	Ni možno	Možno
Skupinsko zajemanje	Ni možno	Možno
Hitrost branja podatkov	Nizka (~4 s)	Zelo visoka (~0,5 s)
Neavtoriziran dostop	Zmerno	Nemogoče
Obraba	Omejeno	Ni vpliva
Strojno branje	Dobro	Dobro
Nabavna cena skenerjev	Zelo nizka	Srednja

Tabela 2: Pomembne značilnosti identifikacijskih tehnologij pri Podatkovni matrix kodi in RFID
(Vir: Lasten)

3.4 KOMPONENTE RFID SISTEMA

Sestava RFID sistema je odvisna od kompleksnosti področja, ki ga s sistemom zajemamo. V skladu s Finkenzeller (2003) RFID sistem v osnovi tvori sledeči enoti (Slika 14, str. 23):



Slika 14: Glavni komponenti RFID sta bralnik in transponder
(Vir: Finkenzeller, 2003)

- bralnik (RFID reader, transceiver), ki je lahko konstruiran za branje/pisanje ali pa samo za branje podatkov. Vedno se imenuje bralnik ter vedno vsebuje tudi anteno in mikroprocesor,
- transponder (RFID tag), ki je lociran na objektu, ki ga moramo identificirati in je nosilec podatkov (elektronska koda produkta) ter vedno vsebuje tudi anteno in mikročip. Izjema so SAW in 1 bitni transponderji za nadzorne sisteme.

Za izpolnjevanje bolj sofisticiranih zahtev, pa moramo na sistem priključiti še dodatne komponente:

- računalniški sistem s podatkovno bazo in softverom za urejanje in usmerjanje prebranih podatkov (middleware)
- bralnikov softver (aplikacijski softver) in logiko (Edgeware).

Bralniki preko anten pridobivajo podatke iz transponderjev, ki so v interogacijski coni bralnika (EM-polje). Branje transponderjev poteka simultano iz več deset transponderjev hkrati (do sto). Ko bralnik s svojim EM signalom oddanim preko antene prebudi transponder, ta začne preko lastne antene oddajati signal v nasprotni smeri. Bralnik s svojo anteno signal sprejme, ga pretvori in podatke začasno shrani v spominu bralnika. Ker poteka izmenjava informacije med bralnikom in transponderjem le preko njunih anten, ju imenujemo združitevna elementa RFID sistema. Ta elementa sta pomembna tudi pri dovajanju energije za delovanje transponderja (z indukcijo). Sam sistem je zato v primeru pasivnih transponderjev, ki nimajo lastnega napajanja, aktiven le v območju EM polja, ki ga ustvarja antena bralnika, imenovanem interogacijska cona. S simultano oddanimi kodami vseh transponderjev dobimo v bralniku množico neurejenih podatkov, potrebnih nadaljnje obdelave. Uporabno informacijo dobimo le s selekcioniranjem in združevanjem v skupine že pridobljenih podatkov iz bralnika z uporabo vmesnega softvera (middlewarea), ali pa podatke beremo na selektiven način in predhodno proceduro v znatni meri skrajšamo (bralnikov softver). (Tabela 3, str. 25)

Aplikacija↔Bralnik	Bralnik↔Transponder	Komentar
→Blockread_Address[00]		Prebere spomin transponderja [address]
	→ Request	Transponder v polju?
	← ATR_SNR[4712]	Transponder operira s serijsko številko
	→ GET_Random	Iniciacija avtentikacije
	← Random[08154]	
	→ SEND_Token1	
	← GET_Token2	Avtentikacija uspešno končana
	→ Read_@[00]	Ukaz za branje [address]
	← Data[9876543210]	Podatki iz transponderja
← Data[9876543210]		Podatki v aplikacijo

Tabela 3: Primer izvršitve bralne komande bralnikovega softvera, bralnika in transponderja.

(Vir: Finkenzeller, 2003)

Z uporabo komunikacijskega protokola (air interface protokol) je možno selekcioniranje transponderjev z izbranimi parametri, ki jim je nato dopuščeno oddajanje njihove identifikacijske kode in ostalih podatkov vsebovanih na čipu, naprimer specifikacije označenega produkta, cene, barve, datuma nabave in podobno. Zaradi hierarhičnega principa delovanja bralnika, je njegov aplikacijski softver (v računalniku), pobudnik vsake komunikacijske sekvence med njim in transponderjem in rezultira s prenosom podatkov. Ker pri selektivni komunikaciji med bralnikom in transponderjem, pri postopku selekcioniranja in izbiranja ciljnega transponderja (z binarnim iskalnim algoritmom za avtentikacijo) sistem pri komunikacijskih sekvencah ne operira s celotnim spominom vsakega transponderja, temveč le z njegovim manjšim delom (32 bitna serijska številka), postane tak sistem bolj dinamičen. Šele po uspešni izbiri ciljnega transponderja iz celotne množice transponderjev, ki se v tistem trenutku nahajajo v interogacijski coni bralnika, steče komunikacija med izbranim transponderjem in bralnikom (branje, pisanje). Selektivna komunikacija je možna z uporabo ukazov binarnega iskalnega algoritma za transponderje: REQUEST (SNR), SELECT-(SNR), READ_DATA, UNSELECT.

Antikolizijski protokol ima vlogo pri ustvarjanju vrstnega reda transponderjev za branje v primeru branja vseh transponderjev v interogacijski coni (antikolizijsko komuniciranje), ki zaradi večje pretočnosti ne smejo vsi hkrati vstopati v mikroprocesor bralnika. Bralnik kljub vsemu lahko bere le eno kodo naenkrat in sprejem dveh hkrati, povzroči kolizijo podatkov in napako v branju (error). Čeprav za zajemanje podatkov vseh transponderjev porabimo le del sekunde (0,5 s), pa se

razvrščanje vstopanja podatkov dogaja v mikrosekundnih (μs) intervalih. To je lahko doseženo le ob hitrostih komuniciranja reda hitrosti svetlobe, kar radijski valovi tudi so. Pri antikalizijem komuniciranju je tako po uspešni komunikaciji s prvim transponderjem, ta komunikacija prekinjena in izbran je naslednji transponder za komunikacijo. Poleg načina z binarnim iskalnim algoritmom obstajajo še drugi načini antikalizijskega komuniciranja, ki pa so počasnejši in bolj togi: slotted ALOHA procedura, procedura z direktnim usmerjanjem radiacijskega žarka antene bralnika na izbran tag (elektronsko kontrolirane usmerjevalne antene), ali z uporabo različnih frekvenčnih pasov pri komuniciranju med tagom in bralnikom.

3.4.1 RFID BRALNIK (READER)

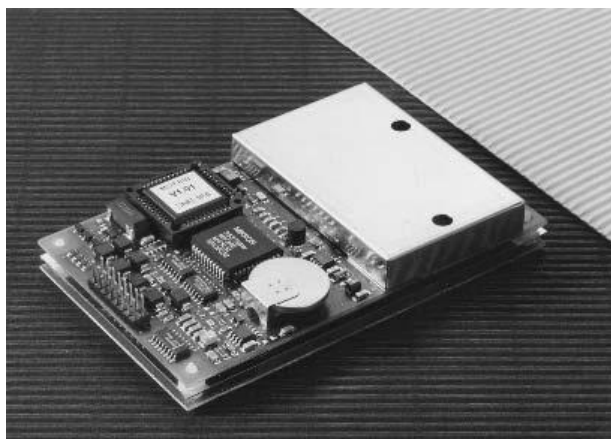
Bralniki so zadolženi za komunikacijo z RFID tagi in z računalniškim sistemom. Vedno vsebujejo anteno in mikroprocesor. (Slika 15, str. 26) Lahko so stacionarni ali prenosni. Stacionarne bralnike lahko medsebojno povežemo v omrežja za pokrivanje širšega področja. Prenosni bralniki so lahko mobilni in pritrjeni na viličar ali preprostejši ročni, imenovani skenerji. V skladu s Finkenzeller (2003) je RFID bralnik običajno sestavljen iz:

- antene, ki predstavlja povezovalni element za transponder,
- radio frekvenčnega (RF) modula za sprejemanje in oddajanje RF signala,
- kontrolne enote (Slika 16, str. 27),
- dodatnih vmesnikov za povezovanje z osebnim računalnikom (RS 232, RS 485, ethernet) in anteno (koaksialni konektor).



Slika 15: Povezovanje komponent RFID sistema
(Vir: Jones, Chung, 2011)

S to napravo je mogoče brezkontaktno branje ali zapisovanje podatkov na RFID tag. Bralnik ustvarja EM signal, ki ga preko ene ali več anten oddaja do transponderja.



Slika 16: Kontrolna enota in RF modul, ki je izoliran s tankim ohišjem.
(Vir: Finkenzeller, 2003)

Informacija v radijskih valovih služi za iskanje tagov in je hkrati vir energije za aktiviranje pasivnih tagov (induktivno-magnetno, kapacitivno-elektromagnetno). Preko iste antene, ki je z bralnikom povezana s koaksialnim kablom (tudi WiFi), se povratni EM signal od RFID taga, v bralnik tudi sprejema. Bralnik vsebuje najmanj eno anteno (do štiri), ki je običajno ločena od mikroprocesorja in RF modula v posebnem ohišju. V skladu s Finkenzeller (2003) so naloge mikroprocesorja bralnika sledeče:

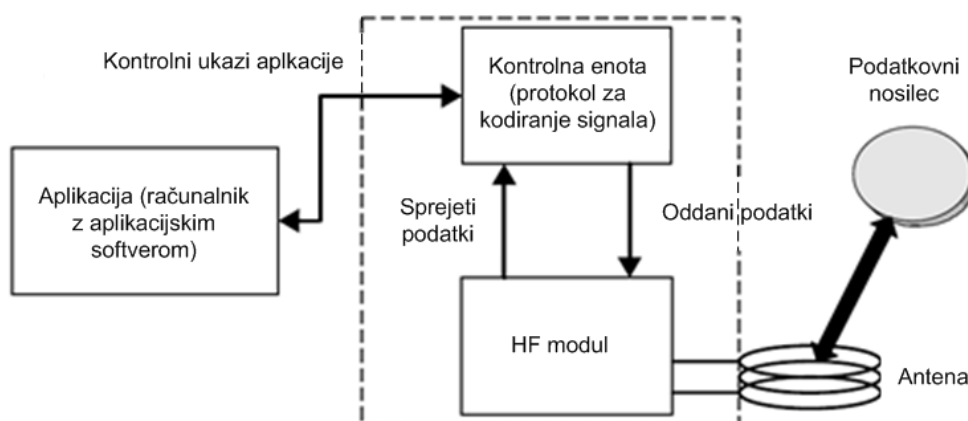
- komunikacija z bralnikovim softverom in izvrševanje ukazov bralnikovega softvera,
- procesiranje informacije, ki se izmenjuje med bralnikom in RFID tagom,
- kodiranje in dekodiranje RF signala,
- omogočanje antikolizijskega in avtentikacijskega načina komuniciranja (z uporabo algoritmov) (Slika 17, str. 28).

V skladu s Finkenzeller (2003) je naloga RF modula:

- generiranje HF valovanja, ki služi kot vir energije za aktiviranje transponderja in njegovo napajanje,
- modulacija transmisijskega signala za pošiljanje podatkov do transponderja,
- demodulacija prejetega HF signala od transponderja.

V skladu s Finkenzeller (2003) s procesiranjem informacije po določenem kodirnem sistemu (NZR, Manchester, Unipolarni PZ, DBP, Millerjev in modificiran Millerjev sistem, diferencialno kodiranje) primernem za RFID sistem, v mikroprocesorju dobimo binarni kodni signal, oziroma digitalno zapisano informacijo v obliki digitalnega toka s serijsko številko (code baseband signal). S tem kodnim signalom,

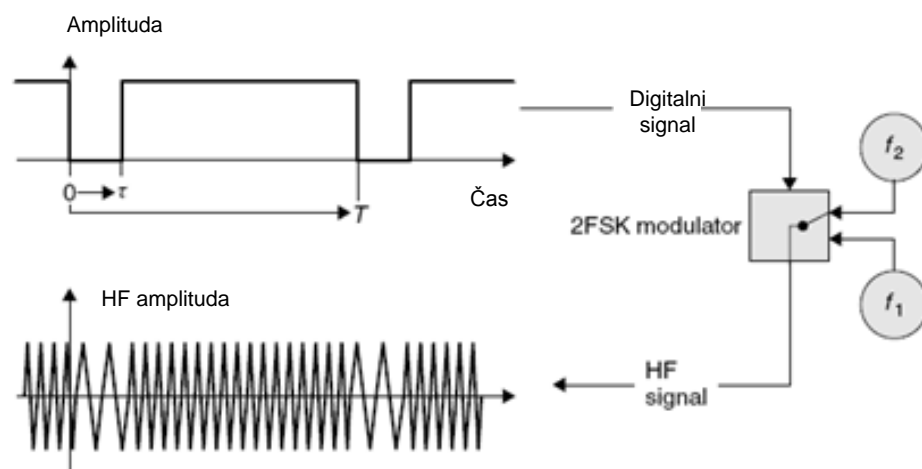
proizvedenem v digitalnem vezju, vplivamo na osnovni visokofrekvenčni (HF) signal proizveden v HF modulu, s čimer dobimo kodirano informacijo z analognim zapisom (modulacija), ki je v primerni obliki za prenos v prostoru (Slika 18, str. 29).



Slika 17: Blokovni diagram kontrolne enote in RF modula
(Vir: Finkenzeller, 2003)

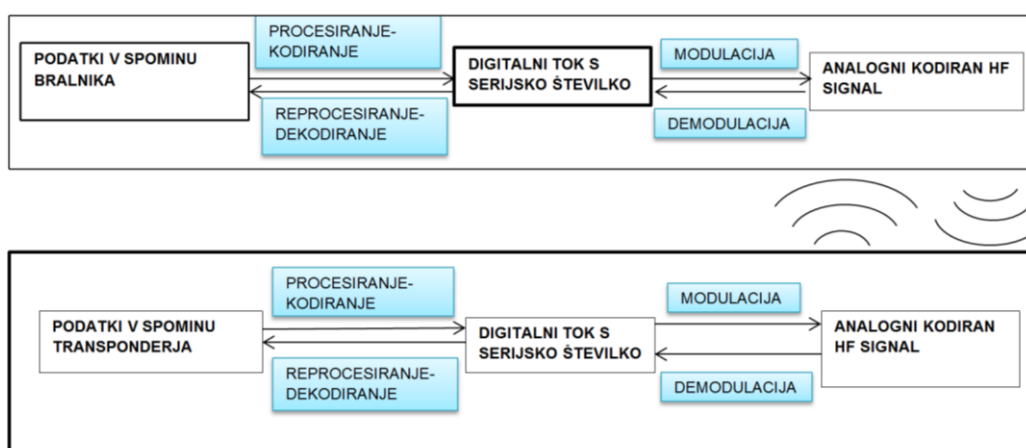
Z modulacijo spreminjamo parametre nosilnega HF signala (carrierja), to je njegovo amplitudo (moč), frekvenco ali fazo. V obratni smeri poteka demodulacija in dekodiranje, s čimer v transponderju rekonstruiramo originalno informacijo (sporočilo). V osnovi so vsi procesi modulacije, demodulacije (klasični modem) in procesiranja (kodiranja, dekodiranja) informacije, prisotni tako pri bralniku, kot pri transponderju in so identični, le da pri transponderju potekajo v obratni smeri. (Slika 19, str. 29). Za komunikacijo med bralnikom in tagom je lahko z modularnim odbojem moduliran tudi povratno-odbojni signal (modulated backscatter).

Delovanje antene je določeno z njenimi ključnimi parametri: z dobitkom (gain), polarizacijo in frekvenčnim območjem (pasovno širino). Doseg antene je večji ob večjem dobitku in ob usmerjanju polja EM radiacije (Yagi-Uda antena). V tem pogledu imajo prednost mikrovalovni sistemi, ki imajo možnost polja z oblikovanjem usmerjenega snopa, pred induktivno spojenimi sistemi, ki delujejo s širokimi, neusmerjenimi polji. Komunikacija med antenama taga in bralnika je boljša ob uskladitvi njune polarizacije. Pri linearni polarizaciji je možna vertikalna ali horizontalna polarizacija, ob cirkularni polarizaciji antene bralnika pa je orientacija taga v prostoru manj pomembna.



Slika 18: Generiranje frekvenčno moduliranega signala s preklapanjem med frekvencama f_1 in f_2 v času T z binarnim kodnim signalom – z nivojema 1 in 0 tega signala v 2FSK modulatorju.

(Vir: Finkenzeller, 2003)

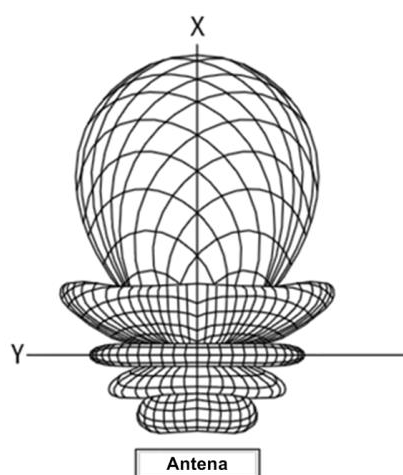


Slika 19: Diagram pretvarjanja in prenosa podatkov med bralnikom in transponderjem. Bralnik: podatki v spominu → (procesiranje-kodiranje) → digitalni tok s serijsko številko → (modulacija) → analogni kodiran HF signal. Transponder: analogni kodiran HF signal → (demodulacija) → digitalni tok s serijsko številko → (reprocesiranje-dekodiranje) → podatki iz spomina bralnika

(Vir: Lasten)

Najboljša komunikacija je ob pravokotni orientaciji površine antene taga s smerjo magnetnega polja bralnika. Tag in bralnik morata delovati tudi v istem frekvenčnem območju, pri čemer širokopasovne antene lahko delujejo v širšem frekvenčnem območju. V skladu z Jones in Chung (2011) se UHF frekvenčna območja delovanja bralnika razlikujejo od kontinenta do kontinenta (902-928 MHz: Severna Amerika, Avstralija, Koreja, Južna Afrika, 865-868 MHz: Evropa, 850-856 MHz: Japonska).

Kvaliteta bralnika se kaže pri možnostih nastavitve različnih frekvenc delovanja (HF in UHF), nastavitve različnih velikosti interogacijske cone, kot tudi nastavitve neprestanega ali prekinjenega oddajanja signala, naravnane na določene časovne intervale ali ob zaznavi gibanja v njegovi bližini (s senzorji gibanja). Kakovostni bralniki v današnjem času omogočajo nastavitve v UHF območju za doseg branja od 0,3 do pet metrov z 99,9 odstotno uspešnostjo branja. (Slika 20, str. 30) Fiksni bralniki se postavljajo na ključne točke pomembne pri gibanju blaga v skladišču. To so vhodna in izhodna vrata skladišča, kontrolne točke v conah za odjem blaga iz zaloge, postaje za paletizacijo blaga in tračni transporterji za transfer blaga v skladišču. Mobilni bralniki se postavljajo na viličarje, da lahko zajemamo podatke na terenu (Slika 21, str. 30). Taki bralniki imajo anteno običajno vgrajeno na strehi viličarja. Za povezovanje vgrajenega računalnika in mobilnega bralnika na viličarju, uporabljamo brezžično povezovanje s pomočjo komunikacijskega protokola Bluetooth. Bluetooth je tudi naprava, ki uspešno nadomešča kabel v dosegu deset metrov in deluje na mikrovalovnih frekvencah (2,4 GHz).



*Slika 20: Oblika usmerjenega EM polja bralnika
(Vir: Sweeney, Patrick, 2005)*



*Slika 21: Mobilni bralnik za viličarja
(Vir: Jones, Chung, 2011)*

Z ročnim spreminjanjem parametrov za selektivno zajemanje podatkov na vgrajenem računalniku viličarja, lahko selektivno preberemo najprej kode objektov na paleti in ob prispetju na skladiščno lokacijo za blago, še kodo skladiščne lokacije. Računalnik potem samodejno ustvari povezavo (link) med blagom in skladiščno lokacijo ter podatke brezžično posreduje skladiščnemu informacijskemu sistemu (WMS), ki samodejno posodobi kraj nahajanja uskladiščenega blaga. Samodejni prenos informacije iz vgrajenega računalnika viličarja, na računalnik RFID sistema, je omogočen z brezžično WiFi povezavo in internetnim protokolom.

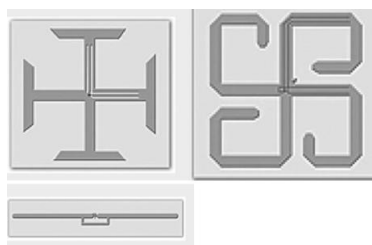
3.4.2 TRANSPONDER OZIROMA RFID TAG

Transponderji oziroma RFID tagi so mobilni podatkovni nosilci, ki jih pričvrstimo ali nalepimo na objekte, ki jih nameravamo označiti. Lahko jih pričvrstimo neposredno na artikel, transportno embalažo, paletu ali kontejner. Da tagi lahko izpolnjujejo svojo osnovno funkcijo in oddajajo shranjene podatke, morajo vsebovati naslednje elemente:

- anteno,
- elektronsko integrirano vezje (mikročip), običajno dimenzij manjših od 1×1 mm,
- substrat, ki drži anteno in mikročip skupaj ter ustvarja podlago za pričvrščevanje na artikel.

Izdelani so kot elektronske naprave, ki poleg mikročipa vsebujejo tudi mikroelektronske polprevodniške naprave (mikrodioda) ter veliko medsebojno povezanih tranzistorjev. Čip predstavlja srce taga podobnega mikroprocesorju, katerega funkcija je oddajanje edinstvene identifikacijske številke pridobljene iz spomina čipa, s pomočjo svojega enostavnega logičnega vezja. Tagi so različnih načinov delovanja, oblik in velikosti (Slika 22, str. 31). Njihova osnova delitev je glede na način shranjevanja podatkov:

- vsebujejo mikročip,
- izkoriščajo fizikalne efekte (vsebujejo resonančne elemente): 1 bitni, SAW tagi.



Slika 22: Pasivni tagi za LF, HF, UHF in mikrovalovne frekvence branja
(Vir: Jones, Chung, 2011)

Glede možnosti, da jih z bralnikom beremo ali pa na njih tudi pišemo:

- samo za branje (tagi imajo edinstveno kodo zapisano že industrijsko v ROM-u),
- napiši enkrat beri mnogokrat (WORM). Imajo OTP-ROM za enkratno programiranje,
- bralno pisalni oziroma prepisljivi (rewritable). Imajo EEPROM, FRAM, SRAM (1B - 64 KB), RAM; začasni spomin, ki se zbriše, ko je tok izključen, zato potrebuje baterijo.

Glede na način delovanja jih delimo na:

- pasivne,
- aktivne,
- pol pasivne.

Glede na komunikacijski protokol:

- Generacija 1.0 (64 bitna koda),
- Generacija 2.0 (96 bitna koda, globalni, interoperabilnost opreme, antikolizijski protokol, geslo, bolj zanesljivo delovanje),
- Class 0 (predprogramirani, samo za branje v UHF),
- Class 1 (podatke lahko enkrat napišemo - WORM v HF in UHF),
- Class 2, 3, 4 (bralno/pisalni) pri pasivnih (2), pol pasivnih (3) in aktivnih tagih (4).

Glede na frekvenčno območje komuniciranja z bralnikom:

- LF,
- HF,
- UHF,
- mikrovalovi.

Glede na substrat oziroma ohišje taga:

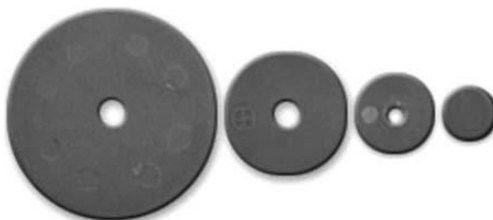
- trde,
- mehke.

Tagi senzorje, ki delujejo po enakem principu kot SAW tagi, zaradi selektivnega učinka sprememb temperature, premikanja, stiskanja, raztezanja ali prisotnosti določenih kemičnih substanc, na hitrost površinskega akustičnega vala (SAW) na piezoelektričnem kristalu (litium niobat (LiNbO_3), kvarc (SiO_2), litium tantalat (LiTaO_3)), lahko uporabljamo kot oddaljene senzorje. Primerjave oddajnih signalov senzorja z določenimi referenčnimi vrednostmi (razlike v pozicijah faz signalov),

nam omogočajo merjenje posamičnih fizikalnih velikosti. Tako jih v logistiki lahko uporabljamo za nadzor temperature pri hladnih logističnih verigah, ali za nadzor nepooblaščenega premikanja pri varovanju kontejnerjev pred krajo. Delujejo v mikrovalovnem (2,45 GHz) območju EM valovanja. Ločimo različne vrste tagov senzorjev:

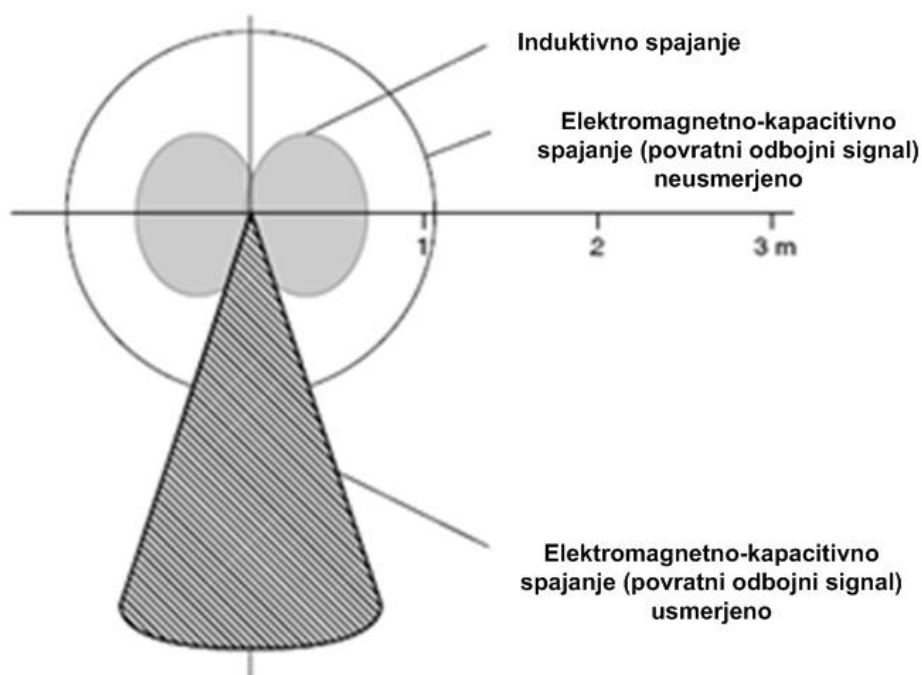
- temperaturni senzorji (od -200 do 300/400/1000°C),
- senzorji tlaka,
- senzorji premikanja,
- senzorji pospeška,
- senzorji prisotnosti kemičnih substanc (CO).

V splošnem med posameznimi RFID tagi obstajajo velike razlike v obliki in dimenziji, na kar vplivata dizajn in velikost antene. (Slika 23, str. 33) Velikostni rang je od enega milimetra do več deset centimetrov, oblike so lahko kubične, cilindrične, sploščene v obliki diskov s perforacijami ali brez. Razlike so tudi v ceni, ki narašča z večanjem kapacitete spomina, z dodajanjem mikroprocesorja ali baterije tagu. Te so pri aktivnih tagih potrebne za avtonomno delovanje vseh procesov v tagu, pri pol pasivnih tagih pa le za napajanje mikročipa. Energijo, ki je potrebna za tvorjenje in oddajanje lastnega HF signala, pol pasivni tagi še vedno pridobivajo s pomočjo indukcije iz bližnjega (do enega metra) ali s kapacitivnostjo, iz oddaljenega EM polja oziroma, delujejo po principu moduliranega povratno - odbojnega signala.



*Slika 23: Pasivni Trovan tagi serije 1000 za označevanje palet
(Vir: Jones, Chung, 2011)*

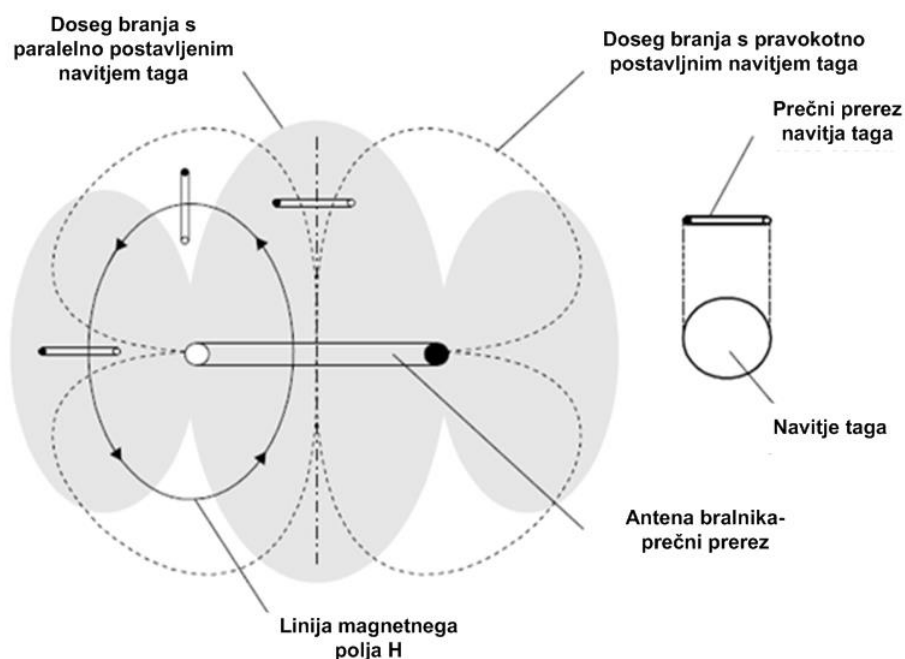
V tem pogledu imajo v skladu s Finkenzeller (2003) prednost mikrovalovni sistemi, ki imajo možnost polja z oblikovanjem usmerjenega snopa, pred induktivno spojenimi sistemi, ki delujejo s širokimi, neusmerjenimi polji. (Slika 24, str. 34) Na ta način pridobljeni električni tok, se mora nato s pomočjo elektronike izravnati in regulirati v napajalno napetost za čip (3V).



Slika 24: Primerjanje relativnih interogacijskih con pri različnih sistemih
(Vir: Finkenzeller, 2003)

Vsi tagi, tako aktivni kot pasivni, se morajo za svoje delovanje nahajati v interogacijski coni bralnika¹ (Slika 25, str. 35), vendar je minimalna vložena moč P_{\min} za aktiviranje aktivnega taga veliko manjša, kot je za aktiviranje pasivnega taga. To sledi iz dejstva, da je pri aktivnem tagu napajalna napetost vedno dovolj visoka (baterija) in se doseg omejuje le na detekcijo HF polja (Shottky detektor), ki prebudi (aktivira) tag iz spečega v aktivno stanje. Pasivni tag pa se aktivira šele, ko je prejel P_{\min} , ki je zadostna za ustvarjanje stabilne napetosti (3V) za delovanje čipa.

¹ Interogacijska jakost (E_{\min}) polja je v skladu s Finkenzeller (2003) minimalna jakost polja, ki je potrebna, da aktivira transponder ali ga preskrbi z zadostno energijo za delovanje. Določa tudi občutljivost taga.

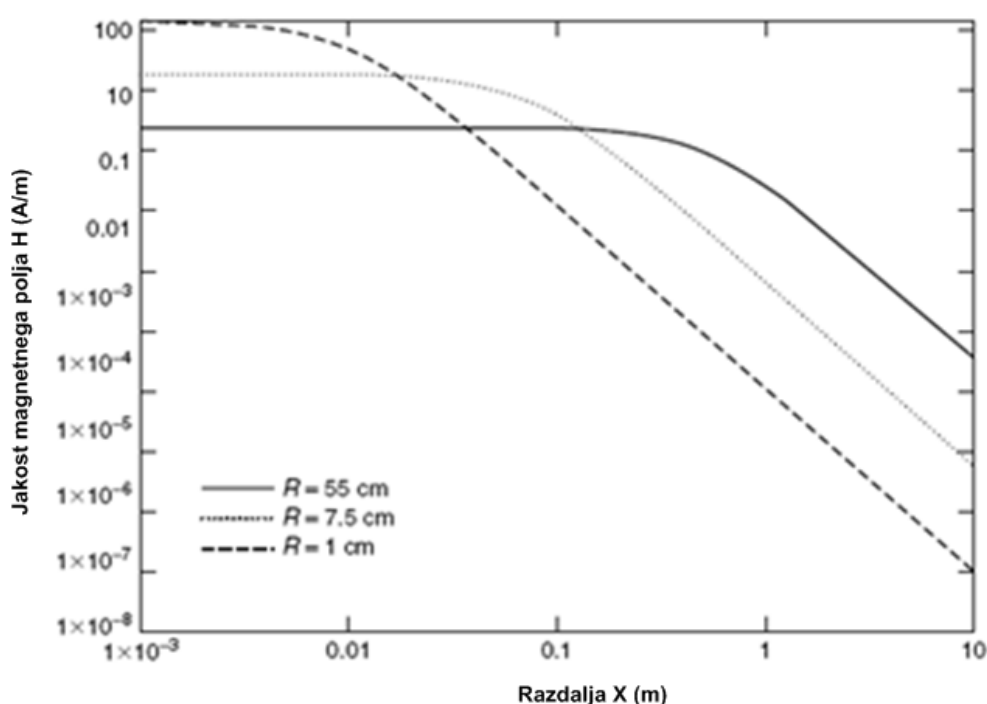


Slika 25: Interogacijska cona bralnika pri različnih postavitvah navitja taga
(Vir: Finkenzeller, 2003)

Pri tem moramo vedeti, da v skladu s Finkenzeller (2003) obstoji konstantna jakost bližnjega HF polja bralnika le do določene oddaljenosti X_m ; mejna vrednost znotraj bližnjega HF polja, od koder pada sorazmerno s tretjo potenco razdalje (X^3). Ta mejna razdalja je pri antenah s cirkularno polarizacijo, ki so v obliki navitja, sorazmerna z radijem navitja (R) in je enaka njegovi dvojni vrednosti ($2R$) (Slika 26. str. 36). Optimalni radij (R) transmisijske antene je tako dvokratnik želene maksimalne razdalje branja.

Najbolj razširjena je uporaba pasivnih tagov, katerih življenjska doba je omejena le s sposobnostjo ohranjanja zapisa podatkov v spominu taga, oziroma z veljavnostjo hitro posodabljaljivih se komunikacijskih protokolov. Elektronsko izbrisljiv, programljiv, le bralni spomin taga (EEPROM od 16 bajtov do 18 Kbajtov) je dominanten način shranjevanja podatkov na tagih in ga uporabljamo pri induktivno povezanih RFID sistemih, ki so na trgu zastopani v devetdeset odstotkih. Obstajata še feromagnetni bralno pisalni spomin (FRAM) in statični bralno pisalni spomin (SRAM), ki je pogost pri mikrovalovnih sistemih, za katere so značilni zelo hitri cikli zapisovanja, za delovanje pa potrebujejo baterijo. Običajno je retencijska doba zapisa za EEPROM in FRAM spominske celice deset let, po tem času pa se zahteva ponoven vnos podatkov. Neomejena doba uporabe je le pri laserskem zapisu podatkov v spomin ROM-a. Pri EEPROM-ih je življenjska doba taga 10000 pisalnih ciklov, medtem, ko znaša življenjska doba litijevih baterij v aktivnem tagu od dva do pet let. Tako so najcenejši tagi pasivni in vsebujejo le z laserjem zapisano

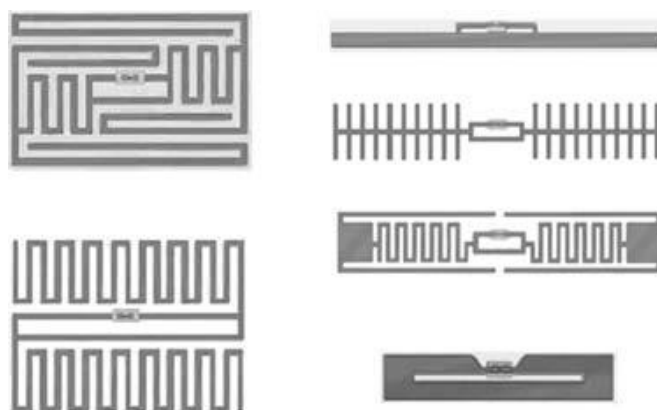
edinstveno serijsko številko (96 bitno) v ROM-u taga, ki je le za branje in je sami ne moremo spremeniti. Pri teh tagih, ki svoje podatke oddajajo neprestano, je tudi prenos podatkov le v smeri od taga do bralnika. Permanentno kodirani podatki samo za branje, so lahko na nosilcih za masovne cenovno občutljive aplikacije, ki zahtevajo majhno količino informacij. Nadaljnje informacije pa so shranjene v centralni podatkovni bazi. Pasivni tagi so tudi manjših dimenzij (zrno riža) in lažji. Ker jih je možno hermetično zapreti v kovinska, steklena ali plastična ohišja, so primerni za apliciranje na objekte v neprijaznem okolju. Lahko so izdelani v obliki polimernih inlejev velikih trideset do sto milimetrov (Slika 27, str. 37), ki jih potem sami apliciramo med različne predmete in izdelamo lastne tage (etikete).



Slika 26: Potek jakosti magnetnega polja (H) v bližnjem polju cilindričnih navitij, ko se povečuje razdalja X
(Vir: Finkenzeller, 2003)

Glavne pomanjkljivosti pasivnih tagov so manjši doseg (nekaj metrov) in manjša kapaciteta spomina (od 96 bit do 64 KB), glede na aktivne tage. Uporabljajo se za kontrolo dostopa in sledenje živali ter za označevanje izdelkov s tagi, ki jim je EPC vnesena že med industrijskim procesom izdelave čipa. Pri dražjih tagih, napiši enkrat beri mnogokrat, je možen enkratni vpis edinstvene kode EPC in nadaljnje vpisovanje in popravljanje podatkov, ni več možno. Na tagih, na katere je poleg njihovega branja možno tudi večkratno pisati, so vgrajene EEPROM, SRAM (za mikrovalovni sistem) ali FRAM spominske celice in so najdražji med pasivnimi tagi. Ti tagi lahko vsebujejo tudi kriptografsko funkcijo za zaščito pred neavtoriziranim

dostopom do njihovih podatkov. To je lahko doseženo s preprostim mehanizmom z vnašanjem gesla ali z uporabo dveh tajnih ključev, ki sta shranjena v ROM-u taga in bralnika ter se nikoli ne prenašata po mediju. Z ustrezno enkripcijo podatkov je zagotovljena visoka varnost (za vozovnice javnega prometa, imobilizacijski sistem). Za ustrezno delovanje kriptografske funkcije varnostno zahtevnejših tagov (pametne kartice), morajo ti vsebovati tudi mikroprocesor.



Slika 27: RFID inleji za UHF bralnike, ki so lahko enojni dipol ali dvojni dipol z omnidirekcijsko polarizacijo, za omogočanje branja, neodvisnega od orientacije taga v prostoru

(Vir: Jones, Chung, 2011)

Glavne pomanjkljivosti aktivnih tagov so njihova visoka cena (10-100 \$), krajša doba operativnosti in večja fizična velikost. Prednosti pa so večja kapaciteta spomina (8MB) močnejši oddajni signal taga in s tem daljši doseg (več 100 m). Pri aktivnih tagih (Slika 28, str. 38) je doseg bralnika določen z jakostjo EM valovanja, ki je potrebna le za komunikacijo med bralnikom in tagom in ne tudi za njegovo oskrbo z energijo.



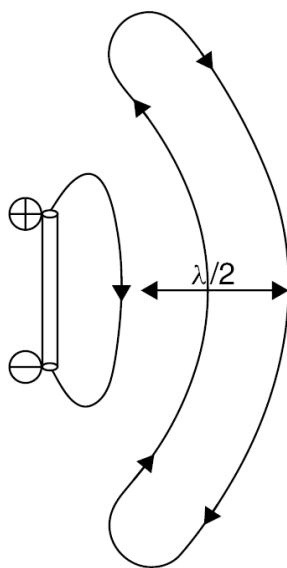
Slika 28: Aktivni tag za uporabo na kontejnerjih, dimenzij 16 x 5 x 3 cm
(Vir: Jones, Chung, 2011)

Napajanje čipa in proizvodnja HF valovanja za oddajanje serijske številke taga je iz lastne baterije. Doseg branja se tako največkrat omejuje le s senzibilnostjo bralnika. Ta se nanaša na minimalno jakost EM polja ustvarjenega z radiacijo antene taga, ki je še dovolj močno, da inducirana napetost (U) na površini antene bralnika, ustvari zadosten signal za njegovo branje brez napak. V veliki meri na zmanjšanje dosega vplivajo EM motnje okolice.

Vpliv taga na domet bralnika je odvisen od različnih faktorjev:

- od pravilnosti pozicije taga,
- minimalne razdalje med več tagi,
- hitrosti taga v interogacijski coni; mora biti taka, da lahko transmitira vse potrebne podatke (za devetindevetdeset odstotno gotovost branja osmih pasivnih tagov je v skladu s Finkenzeller (2003) potrebno 2,7 s).

Resoniranje površine antene se pojavi kot posledica sprejetega ali oddanega RF valovanja. Z usklajevanjem kompatibilnosti konstrukcijskih značilnosti anten bralnika in taga, je možno usklajevanje resonančnih frekvenc njunih anten in s tem spreminjanje dosega taga. To dosežemo s spreminjanjem njene kapacitivne in induktivne impedance. Tage lahko pred programiramo, tako da obstojijo velike razlike v razdalji branja med tagom in bralnikom. Bralno - zapisovalna razdalja RFID sistema pa mora biti nastavljena na najdaljšo zahtevano razdaljo. V veliki meri je to odvisno od zakonsko določenih omejitev za največjo dovoljeno moč (P) bralnikov pri določenih frekvencah radijskih valov. Običajno te vrednosti znašajo od dva do pet vatov (W). Za jakost magnetnega polja (H) velja, da je sorazmerna z močjo električnega toka s katerim proizvajamo RF valovanje. Od jakosti magnetnega polja (H) pa je odvisen dobitok G (gain) antene, ki določa doseg bralnika. V skladu s Finkenzeller (2003) je za jakost magnetnega polja (H) tudi značilno, da od meje bližnjega magnetnega polja naprej ($\lambda/2\pi$) (Slika 29, str. 39), pada sorazmerno s kvadratom razdalje (X^2). Povprečne razdalje za branje teh tagov so okrog sto metrov. Če hočemo na tage tudi pisati, so potrebne večje jakosti magnetnega polja in s tem tudi krajše razdalje.



*Slika 29: Bližnje in oddaljeno elektromagnetno polje pri tvorbi EM valovanja na anteni dipolu. Meja med bližnjim in oddaljenim elektromagnetnim poljem je pri $\lambda/2\pi$, pri čemer je λ valovna dolžina EM valovanja
(Vir: Finkenzeller, 2003)*

3.5 MODULACIJSKI ODBOJ

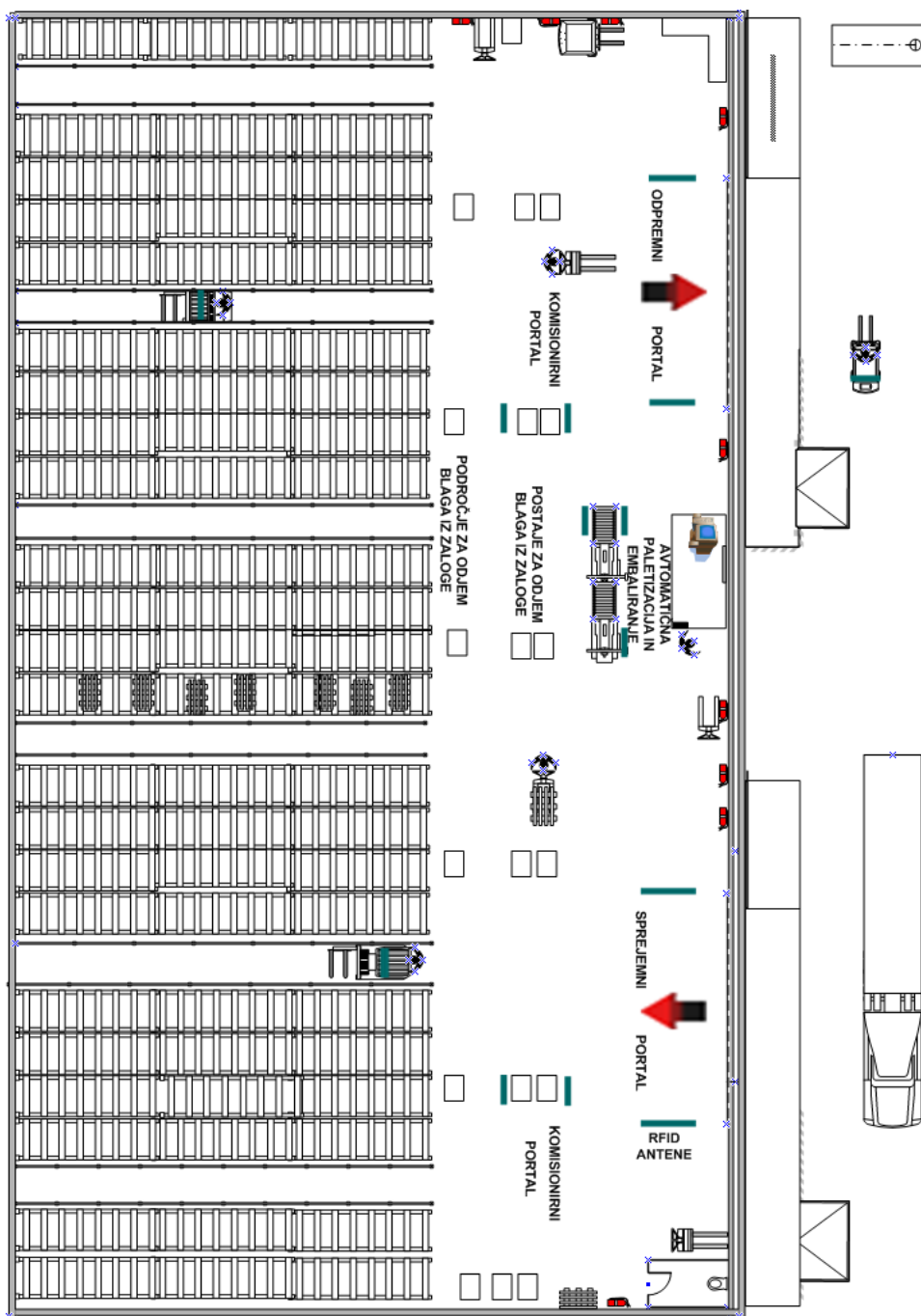
S spreminjanjem vnosne impedance taga v času, s pomočjo informacije, ki jo moramo prenesti, je odbit signal bralnika spremenjen v času s podatki, se pravi, da je moduliran. Celoten pojav za nastanek moduliranega povratno - odbojnega signala imenujemo modulacijski odboj (modulated backscatter). Ta vrsta komunikacije je prisotna pri pasivnih in pol pasivnih tagih, kjer se polovica energije signala s površine antene taga odbije nazaj, druga polovica pa se absorbira in po pretvorbi v stabilno napetost, služi za aktiviranje taga ter tvorjenje digitalno kodiranega signala (EPC). Na reflektirano polovico signala, ki služi kot nosilec bodoče informacije (EPC), vpliva digitalno kodiran signal iz mikročipa, ki preko spreminjanja vnosne impedance taga, kodira informacijo na odbitem signalu. Prenosni signal v mediju, predstavlja le v bralniku generiran HF signal. Komunikacija med tagom in bralnikom pa poteka le, dokler je v mediju prisoten izvorni signal iz bralnika.

4 SIMULACIJA PRIMERA VZPOSTAVITVE SISTEMA RFID ZA PODPORO PROCESOV SKLADIŠČENJA

Pri vzpostavitvi sistema RFID se moramo zavedati težavnosti povezovanja posamičnih komponent sistema v operativno celoto, ki v veliki meri ni izvedljivo na preprost način "razpakiraj in postavi". Kar je ustrezno za ročne RFID skenerje z majhnim dosegom približno 0,5 m, ki se uporabljajo predvsem pri komisioniranju posamičnih artiklov, ni uporabno pri projektnem pristopu reševanja sistemskih problemov. V skladu z Jones in Chung (2011) so ključne faze pri vzpostavitvi sistema RFID: izračun povrnitve investiranega kapitala (ROI), izbira pravilne RFID tehnologije, predvidevanje RFID tehničnih problemov ter potreb informacijske tehnologije (upravljanje podatkovnih baz, integracija z računalnikom WMS) in izdelava poizkusnega projekta. V projektni fazi oblikovanja RFID sistema, najprej naredimo oceno realnih operacij skladiščenja z analizo in situ. Dobiti moramo realno sliko o toku materiala in informacij. Pri tem se poslužujemo različnih tehnik: izdelovanje diagramov in map pretoka blaga, zbiranja podatkov o operacijah na različnih lokacijah, dialoga z managerji in tehniki o problemih in prednostih RFID sistema. (Slika 30, str. 41) Pri analizi in situ ocenjujemo opremo, okolico in človeški faktor.

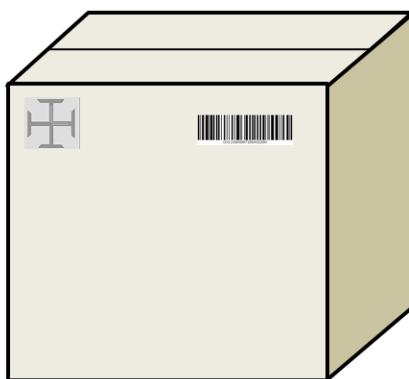
Dober projekt zahteva predhodno razumevanje koncepta RFID sistema z njegovim načrtovanjem. Pri oblikovanju RFID sistema in izboru ustrezne tehnološke opreme moramo upoštevati videz skladiščnega prostora in trenutne oziroma predvidene materialne in vzporedne podatkovne tokove. Skladiščni prostor mora biti razdeljen na oddelke za posamične operacije skladiščenja ob upoštevanju dimenzij, ki so potrebne za postavitev RFID tehnologije in ob uporabi različne tehnološke opreme za izvajanje operacij (paletni voziček, čelni viličar); sprejem, hramba, komisioniranje, inspekcija, sortiranje, razvrščanje, pakiranje, odprema, nakladalna klančina. S predhodnim preizkušanjem delovanja le dela operacij sistema (s simulacijo), zagotovimo njegovo funkcionalnost. Dodajanje posamičnih RFID bralnikov pri implementaciji je postopno in se izoblikuje v morebitno vzporedno izvajanje vseh operacij sistema za zajemanje podatkov (črna koda, RFID), ki ima lahko določeno prehodno obdobje. S tem zagotovimo kontinuiran tok poslovanja v primeru pojava težav pri obratovanju. Ob poznavanju pravilne postavitve in nastavitve ustreznih bralnikov za avtomatično identifikacijo paletiziranih elektromotorjev (visoka vsebnost kovin), moramo poznati tudi ustrezen način postavljanja tagov na kartonsko ovojnino takega blaga. Tagi se pazljivo postavljajo na zunanje ali notranje kartonske površine sekundarne embalaže. Nalepljeni so vzporedno s stranicami kartonske ovojnine nekoliko pod vrhnjim robom, med kovinskim objektom in tagom pa mora biti nekaj praznega prostora. Če je možno, jih ob zlaganju na palete orientiramo tako, da so kasneje obrnjeni proti antenam. Tagov ne postavljamo na zgornje ploskve škatel. Če

ob aplikaciji taga na embalažo zaradi neustreznega ravnanja zlomimo kontakt med mikročipom in anteno, postane tag neuporaben in ga moramo zamenjati. (Slika 31, str. 42). Uspešnost branja tagov je zmanjšana pri vsebnosti vlage ali kovin v ovojnini.



Slika 30: Shema postavitve bralnikov (zelene črte) pri skladiščanju
(Vir: Lasten)

Za označevanje skladiščnih pozicij na regalih uporabimo UHF pasivne tage, ki imajo v skladu s Finkenzeller (2003) ustrezno kovinsko ohišje, ki omogoča nemoten sprejem signala in so prirejeni za aplikacijo na kovino. Izbira bralnikov za RFID sistem, ki delujejo na principu mikrovalov, bi bila neprimerna zaradi močnega odboja takih RF valov od kovinskih površin elektromotorjev. Pri izbiri HF bralnikov, ki imajo sicer najboljšo penetracijo skozi objekte (magnetno polje), pa bi imeli premajhen doseg za njihovo postavitve na več metrske interogacijske cone. Najustreznejši so UHF bralniki (865-868 MHz) s kombinacijo pasivnih tagov Class 1 Gen 2 (nizka cena, hitro branje). Bralnike lahko najprej postavimo le ob vhodnih vratih (sprejemni portal) in s tem pri sprejemu blaga zagotovimo optimizacijo najkritičnejšega dela skladiščenja. Kasneje, ko smo bolj seznanjeni z novo tehnologijo in poznamo vse težave pri zanesljivem branju tagov, pa postopno dodajamo bralnike tudi na ostale interogacijske cone (distribucijski portal, portal za odjem iz zaloge, naprava za avtomatično paletizacijo) ter vgrajujemo mobilne bralnike na viličarje.



*Slika 31: Pravilna postavitve taga (levo) na kartonsko embalažo
(Vir: Lasten)*

Pri oceni simulirane opreme (Tabela 4, str. 45), ki jo potrebujemo, določimo tip in število bralnikov in pripadajočih anten ter število in tip tagov, primernih za tip produkta, ki ga označujemo. V skladu z Jones in Chung (2011) za produkte, ki vsebujejo kovino naprimer, niso primerni pasivni RFID tagi Gen 1. Ocenimo tudi stroške opreme in tečajev za zaposlene. V našem primeru potrebujemo šest stacionarnih UHF bralnikov dosega do pet metrov (šest s štirimi antenami), tri mobilne UHF bralnike za viličarje in tri ročne UHF skenerje za komisioniranje. Pri oceni števila anten posameznega bralnika smo upoštevali pozitivno korelacijo med številom anten in uspešnostjo branja pri povečanem pretoku blaga skozi interogacijsko cono. Vsakemu stacionarnemu bralniku smo s koaksialnim kablom priključili štiri pripadajoče antene, razen pri postaji za paletizacijo, kjer je na vhodnem valjčnem transporterju postavljen bralnik s po dvema antenama in prav tako na mestu ovijanja s PVC folijo, enak bralnik.

Število apliciranih tagov smo pri blagu omejili na sekundarni nivo embaliranja in število embaliranih paletiziranih enot, pri tehničnih sredstvih pa na število skladiščnih pozicij in število palet. Tako potrebujemo za 4830 skladiščnih pozicij (deset paletnih mest v višino in enaindvajset mest v dolžino, s triindvajset vrstami regalov) polno zasedenih z blagom skupno 130410 UHF tagov. 9660 tagov Class 2 Gen 2; 4830 za skladiščne pozicije, 4830 za palete in 120750 tagov Class 1 Gen 2; 4830 za paletizirane enote, 115920 za sekundarno embalažo pri modularnem načinu zlaganja 6 × 4 na eno EUR1 paleto. Pri ocenah opreme celotnega RFID sistema, pa moramo upoštevati tudi nabavo ustreznega softvera na posameznih nivojih njegovega delovanja ter ustrezne količine PoE ethernet kablov za prenos podatkov in dostavo energije do bralnikov. Za povezovanje anten z bralnikom, bomo namesto WiFi uporabili zanesljivejše koaksialne kable. Integracija softvera posameznih segmentov RFID sistema, ki omogoča avtomatično zajemanje edinstvenih kod izdelkov, avtomatično vnašanje teh podatkov v podatkovne baze ter avtomatično posodabljanje inventarnega stanja WMS sistema s podatki iz podatkovnih baz, predstavlja kompleksno nalogo tudi za strokovnjake s področja računalništva. Za bolj zanesljivo delovanje sistema, pa je mnogokrat najustreznejša izbira hardvera in softvera (bralnik, aplikacijski softver) istega proizvajalca. Pri integraciji softvera moramo zagotoviti usklajeno delovanje med:

- vmesniškim softverom (middlewareom); za filtriranje, združevanje in pravilno usmerjanje prebranih podatkov iz bralnika do podatkovnih baz in programov glavnega WMS računalnika,
- aplikacijskim softverom bralnika (Edgeware); za vnašanje parametrov in upravljanje z bralnikom,
- WMS-om; za upravljanje vseh skladiščnih operacij.

Sama programska oprema lahko predstavlja znatno finančno postavko v skupnih stroških. V skladu z WMS information Globalspec.com (januar 2013) so lahko že pri WMS-u stroški nabave programske opreme od 30000 \$ do 2,5 milijonov \$, v skladu z Jones in Chung (2011), pa znaša cena vmesniškega softvera (middleware) v povprečju 25000 \$. Aplikacijski softver bo dobavljen skupaj z bralniki originalnega proizvajalca in bo všet v ceno bralnikov. Za vzpostavitev RFID sistema lahko pri nabavi softvera; WMS, vmesniškega softvera, aplikacijskega softvera in operacijskega sistema (Linux), uporabljamo tudi vire, ki so javno dostopni in so brezplačni (open source software). Za kalkulacijo stroškov našega primera se bomo iz teh virov oskrbeli le v primeru operacijskega sistema (Linux). Vračunali pa bomo delo računalniških strokovnjakov. Tudi UHF frekvence (865-868 MHz) delovanja RFID sistema bodo v okviru brezplačnih IZM frekvenčnih rangov. Za ustvarjanje omrežja LAN bomo uporabljali tudi preklopnike (switch) in usmerjevalnike (routerje) ter brezžične točke dostopa AP (access points) - WiFi naprave.

Pri ocenah simuliranega okolja identificiramo in ustvarimo fizične in logične bralne cone oziroma portale, tako da ne ovirajo operacij skladiščenja. Ocenjujemo tudi vire EM motenj povzročenih zaradi električnih napeljav ali ostalih naprav, ki proizvajajo EM valovanje. Tudi večji kovinski objekti, naprimer viličarji v bližini bralnika, so lahko vzrok takšnim motnjam. Določimo minimalne razdalje med vhodnimi in izhodnimi vrati na katerih so ločeno postavljeni bralniki oziroma, cone medsebojno izoliramo z različnimi materiali, ki odbijajo RF valove bralnikov (kovinski ščitniki). Izberemo antene z usmerjenim RF poljem in pravilno nastavimo doseg bralnika. Nastavitve dosega EM valovanja posameznih strani portala, morajo segati le do polovice razdalje med nasprotni stoječimi antenami. Z generiranjem HF valovanja v nasprotni smeri bi zaradi interference valov obeh strani portala, oslabili HF valove nasprotni strani. Na vsak portal smo postavili en bralnik s po dvema antenama na vsaki strani. V skladu z Jones in Chung (2011) so pogoji, ki jih moramo zagotoviti za doseganje več kot devetdeset odstotne uspešnosti branja:

- pravilna postavitve tagov,
- pravilna razdalja in pozicija med več antenami istega portala,
- zadosten čas zadrževanja blaga na portalih (tri sekunde),
- spremeniti pozicijo anten, ko so ostale omejitve nespremenjene.

Antene na obeh straneh portala so postavljene navpično in vzporedno, nastavljene na isto višino od tal, z medsebojno oddaljenostjo treh metrov. S pravilno kombinacijo postavitve portalov, mobilnih in ročnih bralnikov ter sprotnim sledenjem skladiščnega blaga s posodabljanjem lokacij v realnem času in povezanostjo RFID in WMS sistema, se lahko izognemo pomanjkljivosti, ki izhaja iz majhnega dosega anten bralnika (pet metrov). Dobljena realna slika nahajanja blaga v času, pa je zadosti natančna za dinamično upravljanje s skladiščnim inventarjem (FIFO, LIFO, JIT, rok uporabnosti). Stacionarni bralniki so ločeno postavljeni na vhodnih in izhodnih vratih skladišča, na stroju za embaliranje paletiziranega blaga z zunanjo PVC folijo ter na referenčnih točkah con za odjem blaga iz zaloge. Vsak premik blaga z določene lokacije, ki ga zazna bralnik, ustvari samodejno posodobitev lokacije v WMS sistemu. To se doseže s samodejnim ustvarjanjem povezave (linka) med kodami blaga in lokacijo bralnika.

Komponente RFID sistema	Vrsta opreme	Model	Štev. anten	Količina [kos],[m]	Nabav. vred. \$	Skupna vsota €
Bralniki	Stacionarni UHF	Mingwah MS-9814H	4	6	5.700	18.152
	Mobilni UHF	Vanch VI-82	1	3	4.260	
	Ročni UHF	Mingwah MSP7000U	1	3	3.000	
	Prenosni industrijski računalniki	Motorola VC5090	/	3	10.800	
Tagi	UHF Class 2 Gen 2	za kovino	/	9.660	3.864	12.177
	UHF Class 1 Gen 2	Smart label	/	120.750	12.075	
Softver	Skladiščni informacijski sistem	WMS	/	1	50000	57.300
	Vmesniški softver	Texas Instruments	/	1	25000	
	Aplikacijski softver	Mingwah	/	1	0	
	Operacijski sistem	Linux	/	1	0	
LAN	PoE kabli	POE Cat.5	/	125 m	210	756.00
	Koaksialni kabli	Aircell 7	/	20 m	103	
	Usmerjevalnik (ruter)	Asus WL-330N3G	/	1	65	
	Preklopnik (switch)	D-LINK DGS-1016D	/	3	510	
	Brezžična AP (WiFi)	Linksys WAP610N	/	1	101	

Tabela 4: Tabela komponent RFID sistema in nabavnih vrednosti opreme
(Vir: Lasten)

Simuliran potek skladiščnih funkcij se ob uporabi sistema RFID nekoliko spremeni. Po prevzemu blaga iz podjetja ter primarnem embaliranju in označevanju izdelkov s črtno kodo, sledi sekundarno embaliranje končnih izdelkov. Nato skladiščni delavec na vhodnem valjčnem transporterju stroja za paletizacijo, ročno aplicira pasivne tage in črtno kodo na sekundarno embalažo. Ko je škatla opremljena z RFID etiketo, se pomakne po traku naprej mimo anten bralnika, ki so postavljene na obeh straneh valjčnega transporterja. Tu se na tag zapiše ustrezna EPC koda, škatla pa se pomakne naprej do drugega para anten, kjer se potrdi pravilnosti zapisa EPC kode.

Po uspešni potrditvi se EPC avtomatsko shrani v centralni podatkovni bazi in WMS, transportna enota pa se pomakne naprej v oddelek za avtomatično paletizacijo. Novonastala paletizirana enota, ki vsebuje štiriindvajset pravilno označenih škatel, se nato pomakne v oddelek za ovijanje, ki je prav tako opremljen z RFID bralnikom. Po končanem obdajanju paletizirane enote s PVC folijo, ki poteka ob hkratnem skeniranju tovorka, se nanjo ročno aplicira pasivni tag in črtna koda ter z bralnikom zapiše ustrezna EPC koda. Tudi pravilnost zapisa teh podatkov se preveri z bralnikom in po uspešni potrditvi, sledi njihov avtomatski prenos v podatkovno bazo in WMS. Z naknadnim ročnim skeniranjem črtne kode, pa se vzpostavi povezava med črtno in EPC kodo tovorka, ki se prav tako shrani v WMS. Bralnik postavljen na stroju za avtomatično embaliranje v PVC folijo, omogoča dobro penetracijo RF valov skozi celoten prerez paletiziranega blaga, kar je omogočeno zaradi daljšega zadrževanja v interogacijski coni, pri rotacijsko zasnovanih napravah, pa tudi zaradi obračanja palete za 360°. Na ta način dobimo visoko verjetnost pravilno prebranih tagov v interogacijski coni. Ko so podatki o paletizirani enoti ustrezno shranjeni, jo viličar premakne na ustrezno področje hrambe. Pri mobilnem bralniku na viličarju, se morajo za branje taga določene skladiščne pozicije, pred katero se viličar nahaja, ročno vnesti parametri za branje (selektivno iskanje z algoritmom) skladiščne lokacije, ki mora biti uvrščena na predhodno sestavljeno listo v spominu bralnika. Med prebrano kodo pozicije in kodami paletiziranega blaga, ki ga viličar transportira, se ustvari avtomatična povezava (link). Podatki se začasno shranijo v spominu vgrajenega računalnika viličarja in se kasneje s pomočjo brezžične WiFi povezave prenesejo v centralni računalnik, kjer se stanje WMS avtomatično posodobi. V primeru, da blago premikamo z viličarjem, ki ne vsebuje mobilnega bralnika, pa moramo naloženo blago zapeljati skozi komisionirni portal, da tovor skeniramo. S tem posodobimo informacije o blagu v WMS, preko mobilnega terminala pa smo obveščeni o ustreznosti vrste in količine izdelkov na paleti, kot tudi kam blago odložiti.

Pri ostalih funkcijah skladiščenja smo z uporabo sistema RFID prav tako razrešeni veliko ročnega dela nastalega bodisi zaradi prekladanja blaga bodisi zaradi vnašanja podatkov v skladiščni informacijski sistem. Pri sprejemu blaga v skladišče z zunanjim transportom, se elektronske dobavnice preverjajo avtomatsko. Na sprejemnem portalu se opravi skeniranje vseh RFID etiket na blagu v nekaj sekundah, brez potrebnega razkladanja palet in ročnega skeniranja črtnih kod. WMS nas takoj opozori o odstopanjih dejanskega stanja in stanja na dobavnici. Obveščeni smo tudi, če obstaja za dospelu blago morebitno takojšnje naročilo in ga tako brez uskladiščenja lahko nemudoma premaknemo na prostor za odpremo. Pri sprejemu vrnjenega poškodovanega blaga, slednjega z RFID hitro identificiramo, WMS pa nas usmerja, da ga lahko takoj ustrezno obravnavamo. S tem znatno povečamo količino blaga, ki ga na sprejemnem portalu lahko sprejmemo. Pri sprejemu nato, po začetnem pregledu, blago odložimo na rezerviran prostor za dospelu blago, del pa ga prenesemo na področje za bolj natančen pregled kvalitete.

Pri transportiranju blaga v skladišču, WMS viličarju, opremljenim z mobilnim bralnikom, brezžično posreduje ustrezno lokacijo za njegovo uskladiščenje. Ko viličar blago odloži pred ustreznim regalnim hodnikom v predskladiščni coni, je blago pripravljeno za prevzem z visokoregalnim viličarjem. V primeru, da čelni viličar ni opremljen z bralnikom, moramo blago zapeljati skozi enega izmed RFID portalov v komisionirni coni, za ustrezno skladiščno lokacijo, pa smo obveščeni po mobilnem terminalu. Visokoregalni viličar je za pravilno uskladiščenje blaga prav tako opremljen z mobilnim bralnikom in vgrajenim računalnikom. Po uskladiščenju se zopet ustvari samodejna povezava med kodami paletiziranega blaga in skladiščno pozicijo, ki se brezžično prenesejo v WMS. V primeru neskladja kod blaga in lokacije, WMS o tem takoj obvesti voznika, ki lahko nemudoma ustrezno ukrepa. Zaradi večje storilnosti, vsak visokoregalni viličar pokriva le tri regalne hodnike. Zaradi dobljene večje preglednosti inventarja ob uporabi RFID, je strategija uskladiščenja lahko tudi postavitve blaga na ključne pozicije.

Ob elektronskem prejetju naročila za določeno blago, tega odjamemo iz zaloge po določeni strategiji odjema: FIFO, LIFO, prednostno, najkrajša transportna pot, glede na porabo časa. WMS izdela komisionirno listo za več naročil hkrati in preko mobilnega bralnika kontrolira visokoregalni viličar, ki naloži blago s skladiščne pozicije. Ob odjemu napačne paletizirane enote takoj opozori voznika, s čimer se v znatni meri zmanjša število napak. Tudi pri komisioniranju posamičnih izdelkov s pomočjo mobilnega terminala/UHF bralnika, se napačno odvzeti izdelki korigirajo s strani WMS. Pri izpolnjevanju celotnega naročila, pa se po skeniranju tovora na komisionirnem vozičku v komisionirnem portalu, avtomatsko preveri korektnost celotnega naročila. Paletizirane enote posamezne pošiljke, ki smo jih odvzeli iz zaloge, se odložijo na odpremno ploščad takoj, pri različnih izdelkih pa se mora na konsolidacijski točki v skladišču, najprej združiti posamezne vrste blaga v eno pošiljko. Za tako blago WMS izdela idealno prostorsko razporeditev na posamični paleti. Po ročnem združevanju izdelkov v sekundarno transportno embalažo in aplikaciji pasivnih tagov na njihove zunanje ploskve, se proces nadaljuje z zapisom EPC koda, apliciranjem črtne kode, avtomatsko paletizacijo in embaliranjem v PVC folijo. Na stroju za embaliranje se, z bralnikom pripadajočega portala in WMS-om, preveri korektnost celotnega tovorka, na ročno aplicirano RFID etiketo folije pa se zapiše edinstvena elektronska koda. Celoten tovorek po posredovanju WMS ustrezno postavimo na odpremno ploščad, kjer se pošiljke posameznih naročil združijo za odpremo na ustreznem transportnem sredstvu. Točnost procesa pošiljanja je s pomočjo sistema RFID zopet izboljšana, saj smo s prehodom blaga skozi odpremni portal in s sprotim avtomatskim preverjanjem usklajenosti skladiščnice, tovarnega lista in naloženega blaga s strani WMS, mnogokrat razrešeni kasnejših reklamacij strank.

Pri oceni človeškega faktorja moramo upoštevati zadovoljstvo pri delu tehničnega osebja, ker neupoštevanje njihovih stališč lahko privede do sabotaž ob

implementaciji sistema. Skladišče posluje v treh izmenah s šest zaposlenimi na izmeno, kar zadostuje za upravljanje dveh visoko regalnih viličarjev, dveh električnih in enega dizelskega čelnega viličarja ter vodenje skladiščnih operacij.

5 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID

5.1 ANALIZA STROŠKOV VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID

Vzpostavljanje sistema RFID je potekalo postopno in je zaposlovalo dva tehnično usposobljena strokovnjaka, ki sta delo opravila v šestih mesecih. Stroški vzpostavitve RFID sistema pri skladiščenju v našem podjetju v višini 169493,18 €, so obsegali stroške tehnološke opreme, stroške dela strokovnjakov ter stroške izobraževanja zaposlenih v skladišču za delo z RFID tehnologijo. (Tabela 5, str. 49) Pri stroških uporabe RFID smo upoštevali stroške vzdrževanja opreme za zagotavljanje nemotenega delovanja sistema v obdobju enega leta.

Vrsta stroškov za izračun	Prikaz izračuna	Skupna vsota v Evrih Σ€
UHF RFID Bralniki	$950 \times 6 = 5.700 \$$ $1.420 \times 3 = 4.260 \$$ $3.600 \times 3 = 10.800 \$$ $1.000 \times 3 = 3.000 \$$ $5.700 + 4.260 + 10.800 + 3.000 = 23.760 \$$ $23.760 \times 0,764 = 18.152,64 €$	18.152,64
transponderji	$0,40 \times 9.660 = 3.864 \$$ $0,10 \times 120.750 = 12.075 \$$ $3.864 + 12.075 = 15.939 \$$ $15.939 \times 0,764 = 12.177,40 €$	12.177,40
Oprema brez softvera	$23.760 + 15.939 = 39.699 \$$ $39.699 \times 0,764 = 30.330,04 €$	30.330,04
Softver	$50.000 + 25.000 = 75.000 \$$ $75.000 \times 0,764 = 57.300 €$	57.300,00
LAN	$(5 \times 32) + (20 \times 3,95) + 50 + (3 \times 130) + 77 = 756 €$	756,00
Celotna tehnološka oprema po uvozu s Kitajske	$40.237,18 + 57.300 + 756 = 98.293,18 €$	98.293,18
Delo strokovnjakov	$40 \times 250 = 10.000 €$ $30 \times 1.920 = 57.600 €$ $10.000 + 57.600 = 67.600 €$	67.600,00
Izobraževanje zaposlenih	$200 \times 18 = 3.600 €$	3.600,00

Skupni stroški vzpostavitve RFID	$98.293,18 + 67.600 + 3.600 = 169.493,18$ €	169.493,18
Letni stroški uporabe tehnologije RFID	$(10.000 \times 24) + 10.000 = 34.000$ $34.000 \times 0,1 = 3.400$ \$ $3.400 \times 0,764 = 2.597,60$ €	2.597,60

Tabela 5: Izračun posameznih stroškov nabave, uporabe in dela strokovnjakov (Vir: Lasten)

Stroški tehnološke opreme so predstavljali vsoto stroškov bralnikov, transponderjev, mobilnih računalnikov, lokalnega omrežja (LAN) in softvera. Stroški bralnikov so obsegali vsoto stroškov šestih stacionarnih UHF bralnikov s po štirimi antenami dosega pet metrov, treh mobilnih UHF bralnikov za viličarje s tremi prenosnimi industrijskimi računalniki ter treh ročnih UHF skenerjev. Za vso opremo uvoženo s kitajskega tržišča, stanejo v skladu z direktorijem Made in China.com (januar 2013), UHF stacionarni bralniki s funkcijo branja in zapisovanja z dvema paroma pripadajočih anten, ločenih za sprejem in oddajanje signala, 950 \$ na enoto. Za šest stacionarnih bralnikov smo potrebovali 5700 \$. Dodatne antene v primeru poškodb opreme ob obratovanju stanejo deset odstotkov nabavne cene bralnika (100 \$). Mobilni UHF bralnik s prilagodljivo frekvenco na 868 MHz, za branje tagov s komunikacijskim protokolom Class 1 Gen 2, stane 1420 \$; model VI-82 z dva do tri metrskim dosegom branja (Vanch Intelligence Technology Co, LTD). Za tri mobilne bralnike smo plačali 4260 \$. Rabili smo tudi 10800 \$ za tri pripadajoče mobilne računalnike Motorola VC5090, s ceno izdelka 3600 \$/kos. Cena UHF ročnega skenerja na kitajskem trgu je 1000 \$. Za tri ročne skenerje smo porabili 3000 \$. Skupaj je bila nabavna cena za vse bralnike s pripadajočimi mobilnimi računalniki, 23760 \$.

Stroški transponderjev; pasivni UHF transponderji Class 2 Gen 2, prirejeni za aplikacijo na kovino, stanejo po 0,40 \$/kos. Za označevanje skladiščnih pozicij in palet smo potrebovali 3864 \$, za 9660 tagov. Za označevanje paletiziranih enot in transportnih embalaranj na sekundarnem nivoju, rabimo cenejše, po 0,1 \$/kos, Class 1 Gen 2 UHF tage, s 96 bitnim spominom. Za 120750 takih tagov, smo porabili 12075 \$. Skupaj je bila nabavna cena za vseh 130410 tagov, 15939 \$.

Stroški softvera se nanašajo na ceno WMS-a, ki je v skladu z WMS information Globalspec.com (januar 2013) 50000 \$ (30000 – 2,5 mio \$), ceno vmesniškega softvera (middleware), ki v skladu z Jones in Chung (2011) znaša v povprečju 25000 \$ in na ceno bralnikovega softvera (edgware), ki ga običajno dobavimo od proizvajalca bralnikov ob njihovi nabavi. Ves softver mora biti združljiv z ERP sistemom za načrtovanje resursov podjetja.

V skladu s slovensko internetno trgovino enaA.com (januar 2013) se stroški LAN v višini 756 €, nanašajo na stroške nakupa stopetindvajsetih metrov PoE kabla, dvajsetih metrov koaksialnega kabla, enega usmerjevalnika, treh preklopnikov in ene brezžične točke dostopa (WiFi).

V skladu z Vasco.si (januar 2013) računalniškim inženiringom so stroški dela računalniških strokovnjakov, ki so obsegali 250 ur dela za integracijo posameznih komponent softvera, pri ceni štirideset evrov na uro, znašali 10000 €. Za zahtevno nalogo smo najeli računalniške programerje, ki obvladajo delo z računalniškimi strojnimi jeziki kot so Java, C, C++, C-sharp. Za obseg dela dveh RFID strokovnjakov opravljenega v šestih mesecih, pri ceni trideset evrov na uro, smo morali plačati 57600 €. Vsak strokovnjak je opravil 160 ur na mesec, oziroma 960 ur v šestih mesecih. Za oba smo plačali 1920 ur, oziroma 57600 €. Skupna vsota za plačilo RFID in računalniških strokovnjakov je znašala 67600 €.

Stroški izobraževanja zaposlenih za upravljanje z novo tehnologijo so znašali 200 € na izobraževalni tečaj. Za osemnajst zaposlenih v skladišču, ki delajo v treh izmenah (šest na izmeno), smo porabili 3600 €.

Stroški uporabe 2597,6 € za obdobje enega leta, se nanašajo na apliciranje novih tagov, ki jih potrebujemo za označevanje novonastalih proizvodov na nivoju sekundarnega embaliranja ter paletiziranih enot. Ob hitrosti proizvodnje en milijon kosov letno in številu pakiranja sto kosov elektromotorjev na eno paleto, s štiriindvajsetimi modularnimi enotami na paleto, rabimo 34000 tagov letno. Ker rabimo ob sekundarnem nivoju transportnega pakiranja, za 10000 paletiziranih enot blaga 24000 tagov in 10000 tagov za paletizirane enote, skupaj rabimo 34000 tagov letno. Skupna nabavna vrednost teh tagov je 2597,6 €. Stroški uporabe RFID se nanašajo tudi na stroške nastale pri poškodbah opreme na antenah, bralnikih ali transponderjih, ki jih moramo ustrezno zamenjati. Pri obratovanju lahko večkrat pride tudi do težav z informacijsko tehnologijo bodisi zaradi prezasedenosti omrežja izhajajoče iz premajhnih kapacitet opreme bodisi zaradi nestrokovnega ravnanja z opremo, pri čemer moramo pomanjkljivosti ustrezno odpraviti. Poslovna politika podjetja je določila tudi nove pogoje poslovanja in od svojih poslovnih partnerjev zahteva, da je dobavljeno blago označeno z ustreznimi pasivnimi tagi, ki so usklajeni z minimalnimi tehnološkimi zahtevami za svoje delovanje. S tem so stroški zaradi nepravilne opremljenosti dostavljenega blaga, odpravljeni.

5.2 KALKULACIJA STROŠKOV PRI UVOZU RFID OPREME

Uvoz RFID bralnikov in tagov s Kitajske smo opravili po pošti z letalsko pošiljko China Post. Podatki o pošiljki so predstavljeni v tabeli. (Tabela 6, str. 51)

Podatki o pošiljki	
Relacija	Shanghai (China) - Ljubljana (Slovenija)
Število tovorkov	21
Vrsta blaga	stroji za avtomatsko obdelavo podatkov, pomnilniki
Dimenzije [cm]	30×30×15/3, 35×35×20/3, 25×15×10/3, 40×30×10/6, 40×44×70/2, 20×22×70/2, 40×40×40/2
Bruto teža [kg]	162,40
Volumska teža [kg]	126,65
Teža za plačilo [kg]	184,00

*Tabela 6: Podatki o letalski pošiljki
(Vir: Lasten)*

Tranzitni čas iz Shanghaja (Kitajska) do Ljubljane (Slovenija) je znašal petnajst dni. Za uvoženo blago smo plačali 40237,18 €. Stroški prevoza blaga, v vrednosti 30330,04 €, embalaranega v enaindvajset paketov, so znašali 1914,93 €. Za stroške špediterskih storitev pa smo za dvignjeno blago na Carinski pošti Slovenije v Ljubljani, plačali 6702,45 €. Pri izračunu volumske teže smo zaradi omejitev, ki se nanašajo na pošiljke pri letalskem transportu, vzeli za kriterij določevanja volumskega kilograma, mero 5000 cm³/kg. (Tabela 7, str. 52) Pri prevozu, nižja volumska teža nima vpliva na obračunavanje dejanske bruto teže za prevoz. Toge smo razporedili v pakete težke; 2×16, 2×4, 2×36 kg. Bralnike in mobilne računalnike pa v pakete težke; 3×1,5, 3×8,5, 3×0,8, 6×3 kg. Ker je volumska teža posameznih paketov (tagi za aplikacijo na kovino) večja od dejanske teže, jo pri teh paketih upoštevamo pri izračunu cene prevoza. Namesto 16/2 kg računamo 24,64/2 kg ter namesto 4/2 kg računamo 6,16/2 kg. Tako pri teh tagih plačamo volumsko težo 61,6 kilogramov namesto dejanske teže štirideset kilogramov.

Stroški prevoza so bili 1914,93 €. Pri prevozu s China Post (letalski paket) je za pošiljanje v cono tri (Slovenija) za prvih en kilogram teže paketa pri paketu nad dva kilograma potrebno plačati 157,50 ¥, za vsak nadaljnji kilogram pa 72,50 ¥ ter strošek deklaracije 8 ¥ za celotno pošiljko. En kitajski Juan ¥ je vreden 0,161 \$. En ameriški Dolar \$ pa je vreden 0,764 €. (Tabela 8, str. 54) Za pošiljanje blaga iz Shanghaja v Ljubljano je bilo potrebno Kitajskemu podjetju najprej plačati nabavno vrednost blaga 30330 € in stroške transporta blaga 1914,93 €. Sami smo imeli še

dodaten strošek pri transakciji denarja preko Western Uniona v višini štirih odstotkov vsote transakcije, tako da je znašal naš strošek do prispetja blaga v Slovenijo 33534,73 €, vrednost blaga za carinski postopek v Sloveniji pa je znašala 32244,93 €.

Vrsta teže za izračun	Prikaz izračuna	Skupna vsota v [kg]
Bralniki – bruto	$(3 \times 1,5) + (3 \times 8,5) + (3 \times 0,8) + (6 \times 3) = 50,4 \text{ kg}$	50,40
Bralniki – volumska	$(30 \times 30 \times 15 \times 3) + (35 \times 35 \times 20 \times 3) + (25 \times 15 \times 10 \times 3) + (40 \times 30 \times 10 \times 6) \div 5.000 = 39,45 \text{ kg}$	39,45
Tagi – bruto	$(100 \times 0,4) + (120 \times 0,6) = 112 \text{ kg}$ $40 + 72 = 112,00 \text{ kg}$	112,00
Tagi – volumska	$((40 \times 44 \times 70 \times 2) + (20 \times 22 \times 70 \times 2)) \div 5.000 = 61,6 \text{ kg}$ $(40 \times 40 \times 40 \times 2) \div 5.000 = 25,6 \text{ kg}$ $61,6 + 25,6 = 87,20 \text{ kg}$	87,20
Celotna pošiljka – bruto	$50,4 + 112 = 162,40 \text{ kg}$	162,40
Celotna pošiljka – volumska	$39,45 + 87,2 = 126,65$	126,65
Celotna pošiljka – za plačilo	$50,4 + 72,0 + (24,64 \times 2) + (6,16 \times 2) = 184,00 \text{ kg}$	184,00

*Tabela 7: Izračun volumske in bruto teže pošiljke pri letalskem prevozu
(Vir: Lasten)*

Za stroške špediterskih storitev smo Pošti Slovenije morali plačati dodatnih 6702,45 €. Stroški so sestavljeni iz stroškov uvoznega carinjenja pošiljke vrednosti 32244,93 €, pri čemer je blago po kombinirani nomenklaturi (KN) oznake 84714100 in poimenovanja "drugi stroji za avtomatsko obdelavo podatkov" ter blago oznake 85423290 in poimenovanja "drugi pomnilniki", oproščeno carinske stopnje dajatve (%), iz stroškov carinskega postopka za uvoz blaga v vrednosti nad 2003 €, z izpolnitvijo enotne upravne listine za uvoz (EUL) in iz uporabe bančne garancije, za znesek dvajsetih odstotkov uvoznega DDV deklarirane vrednosti blaga. Plačati smo morali še pet nadaljnjih postavk in dvajset odstotni DDV za špediterske storitve, plačilu katerega ne podleže plačilo uvoznega DDV-a.

Špediterske storitve Pošte Slovenije vsebujejo sledeče stroške:

• Carinski postopek za uvoz blaga (EUL) v vrednosti nad 2003 €	35,00 €
• DDV za uvoz blaga 20 % od vrednosti 32244,93 €	6448,99 €
• Vsaka nadaljnja postavka	3 €
• Bančna garancija 2.5 %	161,22 €
• DDV	42,03 €
• Carinska stopnja (%) za blago KN oznake 84714100 in 85423290	prosto

Tako smo za pošiljko, ki smo jo dvignili na carinski Pošti Slovenije v Ljubljani, plačali za celotne stroške nakupa, transporta in carinjenja, 40237,18 €.

Vrsta stroškov za izračun	Prikaz izračuna	Skupna vsota v Evrih Σ€
Prevoz	$(157,50 + 72,5) \times 3 = 690 \text{ ¥}$ $(157,50 + (8 \times 72,5)) \times 3 = 2.212,5 \text{ ¥}$ $157,50 \times 3 = 472,5 \text{ ¥}$ $(157,50 + (2 \times 72,5)) \times 6 = 1.815 \text{ ¥}$ $(157,50 + (24 \times 72,5)) \times 2 = 3.795 \text{ ¥}$ $(157,50 + (6 \times 72,5)) \times 2 = 1.185 \text{ ¥}$ $(157,50 + (35 \times 72,5)) \times 2 + 8 = 5.398 \text{ ¥}$ $690 + 2.212,5 + 472,5 + 1.815 + 3.795 + 1.185 + 5.398 = 15.568 \text{ ¥}$ $15.568 \times 0,161 = 2.506,45 \text{ \$}$ $2.506,45 \times 0,764 = 1.914,93 \text{ €}$	1.914,93
Izračun vsote za nakazilo kitajskemu podjetju	$950 \times 6 = 5.700 \text{ \$}$ $1.420 \times 3 = 4.260 \text{ \$}$ $3.600 \times 3 = 10.800 \text{ \$}$ $1.000 \times 3 = 3.000 \text{ \$}$ $5.700 + 4.260 + 10.800 + 3.000 = 23.760 \text{ \$}$ $0,40 \times 9.660 = 3.864 \text{ \$}$ $0,10 \times 120.750 = 12.075 \text{ \$}$ $3.864 + 12.075 = 15.939 \text{ \$}$ $23.760 + 15.939 = 39.699 \text{ \$}$ $39.699 \times 0,764 = 30.330 \text{ €}$	30.330
Naši stroški za blago do prispetja v Ljubljano oz. ob transferju	$30.330,00 + 1.914,93 = 32.244,93 \text{ €}$ $32.244,93 \times 1,04 = 33.534,73 \text{ €}$	33.534,73
Izračun špediterskih storitev Pošte Slovenije	$35 + 6.448,99 + 161,22 + 15 + 42,24 = 6.702,45 \text{ €}$	6.702,45
Izračun 20 % uvoznega DDV	$32.244,93 \times 0.2 = 6.448,99 \text{ €}$	6.448,99

Izračun nadaljnjih postavk	$5 \times 3 = 15 \text{ €}$	3.600,00
Izračun bančne garancije	$0,025 \times 6.448,99 = 161,22 \text{ €}$	161,22
Izračun skupne vsote za plačilo brez DDV	$35 + 6.448,99 + 161,22 + 15 = 6.660,21 \text{ €}$	6.660,21
Izračun davčne osnove	$6.660,21 - 6.448,99 = 211,22 \text{ €}$	211,22
Izračun DDV	$0,2 \times 211,22 = 42,24 \text{ €}$	42,24
Izračun skupne vsote za plačilo Pošti Slovenije skupaj z DDV	$6.660,21 + 42,24 = 6.702,45 \text{ €}$	6.702,45
Izračun stroškov uvoza	$33.534,73 + 6.702,45 = 40.237,18 \text{ €}$	40.237,18

*Tabela 8: Izračun stroškov pri uvozu RFID opreme s Kitajske
(Vir: Lasten)*

5.3 ANALIZA KORISTI VZPOSTAVITVE IN UPORABE RFID

Koristi pri vzpostavitvi RFID naraščajo v sorazmerju z nivojem označevanja ovojnine s tagi. Pri paletnem nivoju označevanja so koristi najmanjše, večje so pri nivoju na sekundarni transportni embalaži ter največje na nivoju posamičnega izdelka. Po izračunih strokovnjakov bi morala cena taga pasti na en cent, da bi bilo označevanje na nivoju izdelka smotno. Vendar na ekonomsko upravičenost takega označevanja vpliva tudi vrednost izdelka, ki ga označujemo (televizor, zavoj žvečilnih gumijev). Vzpostavitev RFID pripomore k boljšem poslovanju in poteku dela, ker obstaja:

- možnost shranjevanja, spreminjanja in posodabljanja podatkov na tagu med različnimi fazami procesa,
- večja stopnja avtomatičnosti pri zajemanju podatkov,
- odpravljeno ročno skeniranje in vnašanje podatkov,
- simultana identifikacija več s tagom označenih izdelkov v interogacijski coni,
- sto odstotna gotovost zajemanja podatkov, ki olajša sprejemanje odločitev,
- zmanjšanje ročnega dela s posledičnim zmanjšanjem potreb po delovni sili.

Po Bhattacharya, Chu in Mullen (2007) so glavni dejavniki za vzpostavitev RFID sistema:

- koristi uporabe RFID (92,68 %),
- zahteve korporacij (2,85 % - Wal Mart zahteva označevanje na nivoju palet),
- trend zmanjšanja cen tagov in bralnikov (2,03 %),
- iniciative za globalno standardizacijo EPC (2,03 %),

- boj proti ponarejanju (0,41 %).

Koristi uporabe sistema RFID pri skladiščnem poslovanju podjetja se začnejo kazati postopoma, kratkoročno v obdobju enega do petih let, dolgoročno pa v obdobju daljšem od petih let. Posamezne koristi bodo vidne v skladu z njegovim postopnim vzpostavljanjem, kot tudi z obsegom in stopnjo izpolnjevanja zahtev različnih nalog.

Koristi se nanašajo na izboljšanje:

- strateških odločitev,
- procesov pri skladiščenju,
- koristi v ekonomskem vidiku

ter se kažejo bodisi kot direktne ali indirektne kvantificirajoče koristi (količinsko opredeljive) bodisi kot nekvantificirajoče koristi (količinsko neopredeljive). Koristi uporabe RFID pri skladiščenju lahko razdelimo na različne kategorije:

- povečanje obračanja zalog (obstojećih zalog, novih zalog),
- povečanje produktivnosti (enotnost procesov, višja stopnja avtomatizacije),
- znižanje operativnih stroškov skladiščenja (prihranki stroškov, izogibanje stroškom),
- zmanjšanje količine potrebne opreme (skladiščne površine, zmanjšanje zahtevkov).

Pri ekonomskem vidiku koristi RFID pri skladiščenju, je sama povrnitev investiranega kapitala (ROI) še vedno sporna, vendar se povračilo najbolj očitno pričakuje pri povečanju produktivnosti dela in zmanjšanju količine tehnološke opreme skladišča (zmanjšanje potreb skladiščnega prostora), pri zmanjšanju stroškov zaposlenih, zmanjšanju zalog in kraj v skladišču, izboljšanju točnosti procesov in vidnosti zalog, pri skladiščenju kot komponenti distribucije oskrbovalne verige, pa tudi pri celotnem izboljšanju procesov v oskrbovalni verigi.

Posamične koristi uporabe RFID so odvisne tudi od nivoja označevanja transportne embalaže produktov. Koristi uporabe RFID pri skladiščenju s sekundarnim nivojem označevanja transportne embalaže so:

- povečanje produktivnosti dela; poslovanje je hitrejše in z manj zaposlenimi. Pri sprejemu blaga eliminiramo fizično preverjanje dobavnic in etiket na blagu. Pri skladiščnih procesih so ponavljajoča ročna skeniranja črtnih kod in prekladanja blaga v ta namen odpravljena, olajšano je vračanje poškodovanega blaga, izboljšana kontrola kvalitete (tudi popolnost pošiljke), blago hitreje odložimo, manj je napak pri postavljanju blaga na pravilen kraj,

- zmanjšanje stroškov delovne sile; pri pasivnih RFID sistemih lahko znižamo stroške delovne sile skladišča za štirideset do petdeset odstotkov (Tabela 9, str. 57),
- boljša izkoriščenost skladiščne opreme in prostora s pomočjo WMS (prisotno pri označevanju viličarjev s pasivnimi tagi),
- izboljšanje strateških odločitev; z uporabo RFID postanejo določene stopnje pri aktivnostih vidne v času njihovega opravljanja in jih lahko zlahka optimiziramo,
- spremenjeni modeli in metode poslovanja; JIT, LIFO, FIFO,
- boljše načrtovanje pošiljk in naročanje blaga,
- povečana pretočnost; v primeru takojšnjih naročil dobavljenega blaga lahko opravimo takojšen premik na ploščad za odpremo in si tako prihranimo čas in prostor pri skladiščenju,
- višji nivo storitev strankam zaradi petinštirideset odstotnega skrajšanja odzivnega časa skladišča,
- višji nivo varnosti; ker palet pri identifikaciji ni potrebno razpakirati, ne prihaja do poškodb blaga in zaposlenih, s posledičnimi stroški zaradi absentizma in odškodninskih zahtevkov zaradi uničenja ali zmanjšanja vrednosti blaga,
- zmanjšanje napak (80 %); zaradi eliminacije človeškega faktorja pri vnašanju podatkov v informacijski sistem je zmanjšano generiranje napak, s posledično zmanjšanimi stroški zaradi odškodninskih zahtevkov ob reklamacijah pri napačno dostavljenem blagu, kot tudi zaradi izgube strank pri slabšem nivoju storitev. Z uporabo WMS-a v trenutku dobimo informacije ali vse dobavljeno blago ustreza naročilu ter kam premakniti dobavljeno blago. Tudi pri odjemu blaga iz zaloge in pri njegovi odpremi, nas WMS sprotno korigira o pravilno izbranih artiklih in količinah. V primeru napačnega razporejanja na vozila, nas pri prehodu blaga skozi izhodni RFID portal, WMS o tem nemudoma obvesti. Z možnostjo sprotnega odpravljanja napak prihranimo ogromno kasnejšega dela in stroškov zaradi reklamacij,
- večja zanesljivost zaradi sto odstotne uspešnosti branja elektronskih kod,
- izboljšana točnost in preglednost; zaradi večje točnosti in preglednosti zalog ter posedovanja informacij o lokaciji blaga, v realnem času lahko: zmanjšamo zaloge za štiri procente (z zmanjšanjem varnostnih zalog), s čimer znižamo stroške povezane z vzdrževanjem zalog, optimiziramo večino operacij skladiščenja in tako povečamo pretok blaga, zmanjšamo število zaposlenih,
- fizično štetje zalog in uskladitev zalog je odpravljeno,
- skrajšanje časa tekoče inventure s pet dni na polovico dneva (90 %),
- kraje in neoperativne zaloge (blago ukradeno s strani zaposlenih ali založeno na neznan kraj) v skladišču in celotni oskrbovalni verigi so zmanjšane,
- sledenje in izsleditev pošiljk.

Naloga	Strošek dela [%]	Ocenjeni prihranki z RFID [%]
Sprejem	5	80-100
Uskladiščenje/polnitev	20-30	20
Komisioniranje	30-50	50
Odprema	5	80-100
Preverjanje	20-40	80-100
Celotno		40-50

*Tabela 9: Prihranki stroškov distribucijskega centra zaradi uporabe RFID
(Vir: Capone et al., 2004)*

Fiktivno podjetje s sto zaposlenimi, ki se ukvarja s proizvodnjo elektromotorjev za gospodinjске aparate in jih izvaža na severnoameriški trg, proizvede dva milijona izdelkov letno. Letni stroški poslovanja skladišča znašajo 300000 €. Z zmanjšanjem stroškov delovne sile skladišča za petinštirideset odstotkov, ob povprečni plači 1500 €/mesec, so prihranki pri poslovanju skladišča zaradi uvedbe tehnologije RFID, 72000 €/leto. Tako pri skladiščenju povrnemo stroške investicije RFID v treh letih. Skladišče podjetja z notranjo površino 4200 m² (70 × 60 m) in 4830 regalnimi skladiščnimi mesti, je zaradi povečanja proizvodnje začelo poslovati s sto odstotno zasedenostjo in je za sprejem blaga potrebovalo nove skladiščne površine v obsegu petnajstih odstotkov obstoječih površin. Prostorsko stisko smo ob uvedbi tehnologije RFID učinkovito odpravili s povečanjem obračanja zalog za petdeset odstotkov - s 4,14 krat na 6,21 krat (v tekstu štiri krat, šest krat), s čimer smo prihranili pri količini potrebne skladiščne opreme (skladiščne površine) v vrednosti triintridesetih odstotkov regalnih površin, oziroma 1609 regalnih skladiščnih mest. Na ta način smo zagotovili petnajst odstotkov prostih površin skladišča, potrebnih za sprejem blaga, ki bi jih drugače morali zagotoviti z grajenjem novih prostorov, hkrati pa nam je ostalo osemnajst odstotkov površine, ki jo lahko izkoristimo tudi za nadaljnje povečevanje proizvodnje. Koristi uporabe RFID zaradi možnosti štiri odstotnega zmanjšanja zalog (z zmanjšanjem rezervnih zalog), so v višini 48000 €. Celotni stroški financiranja zaloge znašajo na leto povprečno dvanajst odstotkov vrednosti zaloge. S povprečno lastno ceno elektromotorja dvajset evrov in obsegom letne proizvodnje dva milijona izdelkov, dobimo vrednost letne proizvodnje štirideset milijonov evrov. Pri štirikratnem obračanju zalog letno lahko izračunamo, da je povprečna vrednost izdelkov, ki jih imamo na zalogi deset milijonov evrov. Za financiranje zaloge ob dvanajst odstotni letni obrestni meri, porabimo 1,2 milijona evrov na leto. Z izračunom ugotovimo, da s štiri odstotnim zmanjšanjem zalog - zaradi zmanjšanja rezervnih zalog, lahko prihranimo 48000 €/leto. (Tabela 10, str. 59)

Vrsta koristi za izračun	Prikaz izračuna	Skupna vsota koristi [€], [skladiščnih. mest]
Zmanjšanje stroškov zalog za 4 %	<p>Vrednost proizvodnje: $2.000.000 \times 20 = 40.000.000 \text{ €}$</p> <p>Število obratov zalog v letu: 4 x</p> <p>Povprečna vrednost izdelkov na zalogi: $40 \text{ mio} \div 4 = 10 \text{ mio €}$</p> <p>Letna obrestna mera (cena kapitala, obresti): 12 %</p> <p>Letni strošek financiranja zaloge: $10 \text{ mio} \times 0,12 = 1,2 \text{ mio €}$</p> <p>Zmanjšanje zalog za: 4 %</p> <p>Vrednost zmanjšanja zalog: $0,04 \times 10 \text{ mio} = 400.000 \text{ €}$</p> <p>Letni prihranek zaradi zmanjšanja zalog: $400.000 \times 0,12 = 48.000 \text{ €}$</p>	48.000 €
Zmanjšanje stroškov delovne sile za 45 %	<p>Število zaposlenih v skladišču: 10</p> <p>Zmanjšanje potreb po zaposlenih: 45 %</p> <p>Zmanjšanje števila zaposlenih: $10 \times 0,45 = 4,5 \rightarrow 4 \text{ zaposl.}$</p> <p>Višina mesečne plače zaposlenega: 1500 €</p> <p>Vrednost zmanjšanja števila zaposlenih: $4 \times 1.500 \times 12 = 72.000 \text{ €}$</p>	72.000 €
Zmanjšanje reklamacij kupcev za 7,89 %	<p>Višina reklamacij kupcev: 0,02 %</p> <p>Vrednost reklamacij kupcev: $40 \text{ mio} \times 0,002 = 80.000 \text{ €}$</p> <p>Zmanjšanje reklamacij kupcev za: 7,89 %</p> <p>Vrednost zmanjšanja reklamacij kupcev: $80.000 \times 0,0789 = 6.312 \text{ €}$</p>	6.312 €
Zmanjšanje napak pri izpolnjevanju naročil za 40 %	<p>Višina napak pri izpolnjevanju naročil: 0,02 %</p> <p>Vrednost proizvodnje: 40 mio €</p> <p>Vrednost napak pri izpolnjevanju naročil: $40 \text{ mio} \times 0,002 = 80.000 \text{ €}$</p> <p>Zmanjšanje napak pri izpolnjevanju naročil za: 80 %</p> <p>Vrednost zmanjšanja napak pri izpolnjevanju naročil: $80.000 \times 0,4 = 32000 \text{ €}$</p>	32.000 €
Zmanjšanje neoperativnih zalog in škode na blagu za 0,5 %	<p>Zmanjšanje neoperativnih zalog in škode na blagu: 0,5 %</p> <p>Povprečna vrednost izdelkov na zalogi: 10 mio €</p> <p>Vrednost zmanjšanja neoperativnih zalog in škode na blagu: $10 \text{ mio} \times 0,005 = 50.000 \text{ €}$</p>	50.000 €
Povečano obračanje zalog za 50 %	<p>Število paletiziranih enot letne proizvodnje: $2.000.000 \div 100 = 20.000 \text{ pal. enot}$</p> <p>Število regalnih skladiščnih mest: 4830 skl. mest</p> <p>Število obratov zalog v letu: $20.000 \div 4.830 = 4,14 \text{ x} \rightarrow 4 \text{ x}$</p> <p>Povečanje obračanja zalog za: 50 %</p> <p>Število obratov zalog v letu ob povečanju: $(4,14 \div 2) + 4,14$</p>	1.609 skladiščnih mest

	$= 6,21 \times \rightarrow 6 \times$ Število potrebnih skladiščnih mest: $20.000 \div 6,21 = 3.220,61 \rightarrow 3.221$ skl.mest Število prihranjenih skl. mest: $4830 - 3221 = 1609$ skl. mest Odstotek prihranjenih skl. mest: $1.609 \div 4.830 = 0,33 = 33 \%$	
Skupaj	$48.000 + 72.000 + 6.312 + 32.000 + 50.000 = 208.312 \text{ €}$	208.312 €, 1.609 skladiščnih mest

*Tabela 10: Izračun posameznih koristi po uvedbi sistema RFID
(Vir: Lasten)*

Zmanjšanje stroškov, ki jih lahko uvrstimo k ekonomskemu vidiku koristi uporabe RFID in jih lahko tudi neposredno izračunamo, so tudi prihranki zaradi zmanjšanja neoperativnih zalog in škode na blagu, v obsegu 0,5 % zalog, ki skupaj znašajo 50000 € na letni ravni ter prihranki zaradi zmanjšanja reklamacij kupcev, ki se s povprečno 0,2 % reklamacij glede na letno proizvodnjo, zmanjšajo za 7,89 %, s prihrankom 6312 €/leto. Prihranki 32000 €/leto nastanejo tudi zaradi štirideset odstotnega zmanjšanja napak pri izpolnjevanju naročil, računanih od zneska, nastalega zaradi povprečno 0,2 % napak na ravni letne proizvodnje. Pri petinštirideset odstotnem skrajšanju odzivnega časa skladišča, ki je opredeljen kot čas od trenutka, ko je podjetje sprejelo naročilo za blago do trenutka, ko je blago na nakladalni klančini pripravljeno za odpremo, s štiriindvajset na štirinajst ur, prihranimo deset ur. To pripomore k višjemu nivoju opravljanja storitev strankam. Tako z uvedbo RFID in z nivojem označevanja na sekundarni embalaži, skupno prihranimo 208312 €/leto in vrednost triinštridesetih odstotkov površine regalnih skladiščnih mest (1609 skladiščnih mest). Obstajajo pa še ostale koristi, ki jih ne moremo neposredno stroškovno ovrednotiti, pa vendar nedvomno pripomorejo k boljšemu poslovanju skladišča in večjim prihodkom:

- manjkrat smo brez zalog,
- povečana vidnost zalog,
- večja zanesljivost informacij,
- skrajšanje časa tekoče inventure za devetdeset odstotkov s pet dni na dvanajst ur,
- izboljšanje procesov celotne oskrbovalne verige,
- sledenje pošiljkam.

6 ZAKLJUČEK

6.1 OCENA UČINKOV

V poslovanju skladišča z notranjo površino 4200 m² in s 4830 lokacijami za uskladiščenje blaga, prvotno opremljenega le s tehnologijo za branje črtne kode, smo se v sistemu avtomatičnega zajemanja podatkov z modernizacijo usmerili k njegovemu bolj učinkovitemu delovanju ob uporabi tehnologije RFID. Čeprav je bila implementacija in uporaba te tehnologije s skupnimi stroški 169493,18 €, oziroma 2597,6 €/leto, ob nivoju označevanja blaga na sekundarni embalaži še vedno draga, smo s tendenco zniževanja tržne cene pasivnih tagov na en cent na tag, že blizu meje za ekonomično poslovanje RFID sistema tudi pri nivoju označevanja na posamičnem artiklu. Po končanem prehodnem obdobju in ob paralelni uporabi obeh sistemov za avtomatično identifikacijo, bomo v našem podjetju predvidoma poslovali le še s tehnologijo RFID. Pri kritičnih ocenah za povračilo stroškov investicije, je bila pomembna novo usmerjena poslovna politika podjetja, ki je za uspešno poslovanje s podjetji, postavila pogoj opremljanja njihovih prodajnih izdelkov s pasivnimi RFID tagi Gen 2. Koristi pridobljene zaradi uvedbe tehnologije RFID pri skladiščenju, v skupni višini 208312 €/leto ter sprostitev 1609 regalnih skladiščnih lokacij, kot tudi ostale koristi pri poslovanju, so sledeče:

- prihranek pri zmanjšanju potrebne skladiščne površine: skladiščni objekt in pripadajoče zemljišče za 1609 regalnih skladiščnih lokacij,
- prihranek pri zaposlenih: 72000 €,
- prihranki zaradi zmanjšanja napak pri izpolnjevanju naročil: 32000 €,
- prihranek zaradi zmanjšanja reklamacij kupcev: 6312 €,
- prihranek zaradi skrajšanega odzivnega časa skladišča za petinštirideset odstotkov s štiriindvajset na štirinajst ur ter višji nivo storitev strankam,
- prihranek pri stroških zalog: 48000 €,
- prihranek zaradi zmanjšanja neoperativnih zalog in škode na blagu: 50000 €,
- skrajšanje časa tekoče inventure za devetdeset odstotkov s pet dni na dvanajst ur,
- manjkrat smo brez zalog,
- povečana vidnost zalog,
- večja zanesljivost informacij,
- sledenje pošiljkam,
- izboljšanje oskrbovalne verige,
- izpolnjevanje predpisov korporacij.

Dodaten zagon je nedvomno dala tudi možnost nadgradnje že obstoječe informacijske tehnologije pri strojni in programski opremi, kot tudi zagotavljanje

njene kompatibilnosti pri nadgradnjah v prihodnosti. Pozitivna dejavnika sta bila tudi uvoz cenovno ugodnejših RFID bralnikov in tagov s Kitajske ter zmanjšanje napora za izpolnjevanje nalog skladiščenja.

6.2 POGOJI ZA UVEDBO

Pri uvajanju tehnologije RFID pri skladiščenju sta sodelovala dva tehnična RFID strokovnjaka ter strokovnjak s področja računalništva. Samo uvajanje tehnologije je potekalo transparentno, v zakonskih okvirih uporabe UHF frekvenc, s seznanjenostjo vseh zaposlenih in njihovo aktivno vključenostjo v strokovne izobraževalne programe. Zadostna motiviranost zaposlenih je pomembna tudi pri preprečevanju sabotiranja na udarce občutljive, pravilno umerjene opreme. Ob končani vzpostavitvi RFID sistema smo v zaprtem skladiščnem prostoru dobili pet RFID platform, ki pokrivajo področje vhodnih in izhodnih vrat, področje za odjem blaga iz zaloge ter enoto za avtomatično paletizacijo in embaliranje. Mobilna RFID oprema se nahaja na obeh visokoregalnih viličarjih ter na enem čelnem viličarju. Za potrebe komisioniranja posameznih izdelkov, skladišče razpolaga tudi s tremi ročnimi UHF skenerji.

6.3 MOŽNOSTI NADALJNEGA RAZVOJA

Pasivni RFID sistem se lahko uporabi tudi v primeru uporabe transportnih trakov za transfer blaga pri skladiščenju. Z namestitvijo anten UHF bralnika na obeh straneh in nad transportnim trakom, se omogoči samodejno branje vsakega taga, ki gre skozi tako interogacijsko cono. V primeru sortiranja blaga pa se to, glede na svojo destinacijo, lahko samodejno usmerja na želen odpravni prostor. V primeru varovanja blaga v kontejnerjih, se slednji opremijo s SAW senzorji občutljivimi na gibanje, pri čemer vsako nepooblaščno premikanje kontejnerja sproži alarm. V primeru povečanja skladiščnega kompleksa, se z aktivnim ali pasivnim lokacijskim RFID sistemom v realnem času (RTLS) lahko opravlja tudi sledenje skladiščne opreme, s čimer se dobi realna slika kraja njihovega nahajanja v vsakem trenutku. S pomočjo WMS se oprema učinkoviteje razporeja na nove naloge. Z enakim sistemom so lahko opremljena tudi vozila, ki dostavljajo blago in na parkiriščih čakajo na najprimernejšo razkladalno ploščad za njihov raztovor. Za upravljanje s sistemom RTLS nam je na razpolago računalniški program, ki ima na razpolago pregled krajev nahajanja vseh označenih vozil na topografski karti nadzorovanega območja. Tako se lahko ta vozila učinkovito razporeja glede na njihovo lokacijo in trenutno razpoložljiva delovna sredstva.

7 LITERATURA

- Bartneck, N., Klaas, V., Schoenherr, H. (2009). *Optimizing processes with RFID and Auto ID: Fundamentals, problems and solutions, example applications*. Erlagen: Publics Kommunikations Agentur GmbH, GWA.
- Finkenzeller, K. (2003). *RFID handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, second edition*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd
- Hartpence, B. (2011). *Packet guide to core network protocols*. Sebastopol, CA 95472, USA: O'Reilly Media, Inc.
- Jones, E. C., Chung, C. A., (2011). *RFID and Auto – ID in Planning and Logistics: A practical guide for military UID applications*. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Manzini, R. (2012). *Warehousing in the global supply chain: Advanced models, tools and applications for storage systems*. London: Springer – Verlag London Limited.
- Miles, S. B., Sarma, S. E., Williams, J. R. (2008). *RFID Technology and applications*. New York: Cambridge University Press.
- Rida, A., Yang Li, Tenzeris, M. (2010). *RFID – Enabled sensor design and applications*. Boston, London: Artech house.
- Sweeney, Il, Patrick, J. (2005). *RFID for dummies*. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- Symonds, J., Ayoade, J., Parry, D. (2009). *Auto – Identification and Ubiquitous Computing Applications: RFID and smart technologies for information convergence*. Hershey, New York: Information Science Reference (an imprint of IGI Global).
- Hompel, M., Schmidt, T. (2007). *Warehouse Management: Automation and organisation of warehouse and order picking systems*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
- Wood, D. F., Barone, A. P., Murphy, P. R., Wardlow, D. L. (2002). *International Logistics Second Edition*. New York, NY 10019: AMACOM, a division of American Management Association.
- Bhattacharya, M., Chu Chao-Hsien, Mullen, T. (2007). *RFID implementation in retail industry: current status, issueses, and chalenges*. College of information sciences and technology, The Pennsylvania State University, http://tmullen.ist.psu.edu/pubs/dsi_draft_2007.pdf, dosegljivo 11. 1. 2013.
- *Bralno-pisalni UHF bralnik s štirimi antenami*, <http://sdmwrfid.en.made-in-china.com/product/nezxTowHYXrl/China-Four-Antenna-RFID-Reader-and-Writer-MS-9814H-.html>, dostopno 11. 1. 2013.

- Capone, G. et al. (2004). *The RFID-Enabled Warehouse*, http://www.sap.com/solutions/business-suite/scm/rfid/pdf/WP_RFID_Enabled_Warehouse.pdf, dosegljivo 11. 1. 2013.
- *Industrijski mobilni vgradni računalnik*, http://www.alibaba.com/product-free/125139333/MOTOROLA_VC5090.html, dostopno 11. 1. 2013.
- *Informacije sistema skladiščnega managementa WMS*, http://www.globalspec.com/learnmore/industrial_engineering_software/enterprise_plant_management_software/warehouse_management_systems_wms, dostopno 11. 1. 2013.
- *Mobilni RFID bralnik za viličarja*, http://www.alibaba.com/product-gs/614648027/Buy_cheap_Forklift_RFID_Reader.html, dostopno 11. 1. 2013.
- *Pasivni UHF RFID tag za kovino*, <http://china-rfid.en.made-in-china.com/product/YqbxFUMCMsWe/China-UHF-RFID-Tag-for-Metal.html>, dostopno 11. 1. 2013.
- *Pasivni UHF RFID tag etiketa*, <http://trustags.en.made-in-china.com/product/WeUEbDFOpwkZ/China-Smart-Label.html>, dostopno 11. 1. 2013.
- *Pošta Slovenije informativni ceniki*, <http://www.posta.si/seznam-dokumentov/799/Informativni-ceniki>, dostopno 11. 1. 2013.
- *Prenosni ročni UHF skener*, <http://sdmwrfid.en.made-in-china.com/product/NMzQEnwxJSYW/China-UHF-Mobile-RFID-Reader-WiFi-15-Years-Accept-Paypal.html>, dostopno 11. 1. 2013.
- *Taobao English; mednarodno pošiljanje*, <http://taobaofocus.com/order/shipping-fees-from-china>, dostopno 11. 1. 2013.
- *Vasco računalniški inženiring, cenik programske ure*, <http://www.vasco.si/?viewPage=5>, dostopno 11. 1. 2013.

POJMOVNIK

Analiza in situ: analiza nečesa, kar se dogaja na dotičnem mestu delovanja, brez sprememb poteka delovnih faz ali uporabljene opreme

Air interface protokol: komunikacijski protokol med tagom in bralnikom

Code baseband signal: kodni signal v osnovnem pasu

Ethernet: vrsta komunikacijskega protokola za prenos podatkov v lokalnem omrežju

Drive in: razporeditev regalov po načinu zapelji noter

Drive through: razporeditev regalov po načinu zapelji skozi

Edgware: bralnikova programska oprema in logika

EUR 1 paleta: standardna ravna lesena paleta dimenzij 800 × 1200 mm

Linux: vrsta računalniškega operacijskega sistema

Modulated backscatter: modulacijski odboj

Middleware: vmesna programska oprema

Open source software: javno dostopna programska oprema

Plug in: vtičnik je priključni modul, ki predstavlja program za razširjanje funkcij neke programske aplikacije

Router: usmerjevalnik

SAW tag: Surface Acoustic Wave RFID tag je pasivni transponder, ki ne potrebuje čipa za svoje delovanje

Slotted ALOHA procedura: način časovno določenega antikolizijskega komuniciranja z več vrati za sprejem podatkov v bralnikov mikroprocesor

WiFi: vrsta protokola za brezžično komunikacijo v lokalnem omrežju

ZigBee: vrsta protokola za brezžično komunikacijo v lokalnem omrežju s pretakanjem podatkov med posameznimi napravami

KRATICE IN AKRONIMI

2D/3D: dvo Dimenzionalno, tri Dimenzionalno

AIT: Avtomatične Informacijske Tehnologije

AP: Access Points; točke dostopa

DBP: Differential Bi-Phase encoding; diferencialno bi-fazno kodiranje

EAN: European Article Number; Evropska izdelčna številka

EEPROM: Electric Erasable and Programmable Read Only Memory; Električno izbrisljiv in programabilen spomin le za branje

EM: Elektro Magnetno

EPC: Eletronic Product Code; elektronska koda produkta

ERP: Enterprice Resource Planning; načrtovanje virov podejetja

FIFO: First In First Out; prvi noter prvi ven

FRAM: Ferroelectric Random Access Memory; feroelektrični začasni spomin

FSK: Frequency Shift Keying; označevanje z menjanjem frekvence

GPS: Globalni Pozicijski Sistem

IBM: International Business Machines Corporation; Mednarodna korporacija za poslovne stroje
IZM: Industrijsko znanstveno medicinski
JIT: Just In Time; ravno ob pravem času
LIFO: Last In First Out; zadnji noter prvi ven
LAN: Local Area Network; lokalno področno omrežje
MEMS: Mikro ElektroMehanični Sistemi
Mbps: Mega bit per second; mega bit na sekundo
NZR: Non Return to Zero encoding; kodiranje brez povratka na ničlo
OCR: Optical Character Recognition; optično znakovno prepoznavanje
OTP ROM: One Time Programmable ROM; ROM za enkratno programiranje
PoE: Power over Ethernet; napajanje preko ethernet kablov
RADAR: RADio Detection And Ranging; radijsko zaznavanje in določanje oddaljenosti
RF: Radio Frekvenčno
RFID: Radio Frekvency IDentification; radio frekvenčna identifikacija
ROI: Return Of Investment; povrnitev investicije
ROM: Read Only Memory; samo bralni spomin
RTLS: Real Time Location System; lokacijski sistem v realnem času
SAW: Surface Acoustic Wave; površinski akustični val
SNR: Serial Number; serijska številka
SRAM: Static Random Access Memory; statični začasni spomin
UPC: Universal Product Code; univerzalna koda produkta
WCS: Warehouse Control System; skladiščni kontrolni sistem
WLAN: Wireless Local Area Network; brezžično lokalno omrežje
WMS: Warehouse Management System; sistem skladiščnega managementa
WORM: Write Once Read Many; zapiši enkrat beri mnogokrat
€: oznaka za denarno enoto evro
\$: oznaka za denarno enoto ameriški Dolar
¥: oznaka za denarno enoto kitajski Juan

KAZALO SLIK

Slika 1: Avtomatizirano paletiziranje	10
Slika 2: Popolnoma avtomatiziran sistem za ovijanje.....	10
Slika 3: Faze pri pakiranju nove tovarne enote z raztegljivim polivinilom	11
Slika 4: Z raztegljivim polivinilom ovit tovor.....	11
Slika 5: Sistem za raztegljivo ovijanje.....	12
Slika 6: Visokoregalna skladišča	13
Slika 7: Visokoregalni viličar	13
Slika 8: Hierarhija pri WMS.....	16
Slika 9: Integrirana preskrbovalna veriga z RFID.....	18
Slika 10: Frekvenčni rangi uporabljeni pri RFID sistemih ; ERP (Equivalent radiated power), H (jakost magnetnega polja).....	20
Slika 11: Spekter EM valovanja s frekvenco, valovno dolžino in energijo valovanja. (Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum).	21
Slika 12: Linearna EAN-14 in podatkovna Matrix črna koda	22
Slika 13: Čip RFID.....	22
Slika 14: Glavni komponenti RFID sta bralnik in transponder	23
Slika 15: Povezovanje komponent RFID sistema	26
Slika 16: Kontrolna enota in RF modul, ki je izoliran s tankim ohišjem.....	27
Slika 17: Blokovni diagram kontrolne enote in RF modula	28
Slika 18: Generiranje frekvenčno moduliranega signala s preklapanjem med frekvencama f_1 in f_2 v času T z binarnim kodnim signalom – z nivojema 1 in 0 tega signala v 2FSK modulatorju.....	29
Slika 19: Diagram pretvarjanja in prenosa podatkov med bralnikom in transponderjem. Bralnik: podatki v spominu→(procesiranje-kodiranje)→ digitalni tok s serijsko številko→(modulacija)→ anlogni kodiran HF signal. Transponder: analogni kodiran HF signal→(demodulacija)→digitalni tok s serijsko številko→(reprocesiranje-dekodiranje)→podatki iz spomina bralnika	29
Slika 20: Oblika usmerjenega EM polja bralnika.....	30
Slika 21: Mobilni bralnik za viličarja	30
Slika 22: Pasivni tagi za LF, HF, UHF in mikrovalovne frekvence branja	31
Slika 23: Pasivni Trovan tagi serije 1000 za označevanje palet.....	33
Slika 24: Primerjanje relativnih interogacijskih con pri različnih sistemih.....	34
Slika 25: Interogacijska cona bralnika pri različnih postavitvah navitja taga.	35
Slika 26: Potek jakosti magnetnega polja (H) v bližnjem polju cilindričnih navitij, ko se povečuje razdalja X	36
Slika 27: RFID inleji za UHF bralnike, ki so lahko enojni dipol ali dvojni dipol z omnidirekcijsko polarizacijo, za omogočanje branja, neodvisnega od orientacije taga v prostoru	37
Slika 28: Aktivni tag za uporabo na kontejnerjih, dimenzij 16 x 5 x 3 cm.....	38
Slika 29: Bližnje in oddaljeno elektromagnetno polje pri tvorbi EM valovanja na anteni dipolu. Meja med bližnjim in oddaljenim elektromagnetnim poljem je pri $\lambda/2\pi$, pri čemer je λ valovna dolžina EM valovanja	39
Slika 30: Shema postavitve bralnikov (zelene črte) pri skladiščenju	41
Slika 31: Pravilna postavitev taga (levo) na kartonsko embalažo.....	42

KAZALO TABEL

Tabela 1: Diferenciacija skladiščnih sistemov	8
Tabela 2: Pomembne značilnosti identifikacijskih tehnologij pri Podatkovni matrix kodi in RFID	23
Tabela 3: Primer izvršitve bralne komande bralnikovega softvera, bralnika in transponderja.	25
Tabela 4: Tabela komponent RFID sistema in nabavnih vrednosti opreme	45
Tabela 5: Izračun posameznih stroškov nabave, uporabe in dela strokovnjakov. ...	49
Tabela 6: Podatki o letalski pošiljki	51
Tabela 7: Izračun volumnske in bruto teže pošiljke pri letalskem prevozu	52
Tabela 8: Izračun stroškov pri uvozu RFID opreme s Kitajske	54
Tabela 9: Prihranki stroškov distribucijskega centra zaradi uporabe RFID	57
Tabela 10: Izračun posameznih koristi po uvedbi sistema RFID	59