

# Usporedba klasičnih i automatiziranih visokoregálnih skladišnih sustava

---

**Adamović, Zdravko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2010**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:992697>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Usporedba klasičnih i automatiziranih  
visokoregalnih skladišnih sustava

Zdravko Adamović

Zagreb, 2010. godina



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **ZDRAVKO ADAMOVIĆ**

Mat. br.: 0035159156

Naslov: **USPOREDBA AUTOMATIZIRANIH I KLASIČNIH VISOKOREGALNIH SKLADIŠTA**

Opis zadatka:

Za postizanje bolje iskoristivosti raspoloživog skladišnog prostora, poglavito u situacijama za značajno većim potrebama za skladišnim kapacitetom, na raspolaganju su i brojne i različite izvedbe skladišnih sustava. U području visokoregalnih skladišta tu se ističu visokoregalna automatizirana skladišta i klasična skladišta s visokoregalnim viličarima. Shodno potrebi njihove međusobne usporedbe, potrebno je poznavati njihove operativne karakteristike i modele oblikovanja u definiranju rješenja, kao i metodologiju analize dobijenih rješenja radi usporedbe.

U radu je potrebno:

- dati osvrt na značaj logistike i skladištenja
- dati pregled automatiziranih skladišnih sustava (*AS/RS*), uz detaljniji prikaz izvedbi, komponenti, karakteristika i područja primjene visokoregalnih automatiziranih skladišnih sustava (*unit-load AS/RS*), kao i modela oblikovanja takvih sustava
- dati pregled klasičnih skladišnih sustava, uz detaljniji prikaz izvedbi, komponenti i modela oblikovanja visokoregalnih skladišta s primjenom visokoregalnih viličara (*VNA*)
- za jedan odabrani problem napraviti idejna rješenja skladišnog sustava po oba spomenuta koncepta, priloživši sve potrebne proračune i nacрте
- objasniti metodologiju usporedbe napravljenih varijanti rješenja te provesti usporedbu
- komentirati spoznaje o razlikama oba koncepta, međusobnim prednostima i nedostacima, investicijskim i operativnim troškovima i dr.

Zadatak zadan:

11. prosinca 2009.

Rok predaje rada:

Prosinac 2010.

Zadatak zadao:

Doc.dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Dubravko Majetić

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Usporedba klasičnih i automatiziranih  
visokoregalnih skladišnih sustava

Mentor: doc.dr.sc. Goran Đukić

Zdravko Adamović

Zagreb, 2010. godina

**SADRŽAJ:**

IZJAVA.....	4
SAŽETAK.....	5
1.UVOD.....	6
2.TEORIJSKE OSNOVE SKLADIŠTA.....	8
2.1. Skladište, pojmovi, klasifikacija.....	8
2.2. Komponente skladišnog sustava.....	15
2.2.1. Skladišni objekti.....	15
2.2.2. Sredstva za odlaganje materijala.....	16
2.2.3. Sredstva za skladištenje.....	17
2.2.4. Transportna sredstva u skladišnom sustavu.....	18
2.2.5. Pomoćna i dodatna skladišna oprema.....	20
2.3. Projektiranje skladišnog sustava.....	21
3. TEORIJSKI PREGLED KLASIČNIH IZVEDBI SKLADIŠNIH SUSTAVA.....	23
3.1. Klasični skladišni sustavi.....	23
3.2. Regali u klasičnim skladišnim sustavima.....	23
3.2.1. Skladišta sa poličnim i paletnim regalima.....	24
3.2.2. Skladišta sa konzolnim regalima.....	24
3.2.3. Skladišta sa prolaznim regalima.....	25
3.2.4. Skladišta sa protočnim regalima.....	26
3.2.5. Skladišta sa pokretnim regalima.....	29
3.3. Visokoregalna skladišta.....	29
3.4. Skladišta sa uskim i vrlo uskim prolazima između regala.....	31
3.4.1. Donošenje odluka o širini prolaza.....	31
3.4.2. Tipovi međuregalnih prolaza s obzirom na širinu.....	32
3.4.3. Uštede prostora kod NA i VNA skladišnih sustava.....	33
3.4.4. Produktivnost, fleksibilnost, sigurnost i troškovi kod VNA skladišnih sustava.....	34
3.5. Transportna sredstva kod VNA skladišnih sustava.....	35
4. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI.....	39
4.1. Automatizirani skladišni sustavi sa dizalicom unutar prolaza tzv. „Crane –in-aisle AS/RS“ .....	40
4.1.1. Automatizirani skladišni sustav za jedinične terete tzv. „Unit-load AS/RS “ .....	40
4.1.2. Automatizirani skladišni sustav za jedinične terete manjih dimezija tzv. „Mini load AS/RS “ .....	43
4.1.3. Automatizirani skladišni sustav za vrlo male jedinične terete tzv. „Micro-load AS/RS “ .....	44
4.1.4. Poluautomatizirani skladišni sustavi tzv. „Person-on-board “ sustavi.....	45

---

4.2. Karuseli.....	46
4.2.1. Horizontalni karuseli.....	46
4.2.2. Vertikalni karuseli.....	47
4.3. Vertikalni podizni moduli.....	49
5. PRIMJERI PROJEKATA KLASIČNIH I AUTOMATIZIRANIH SKLADIŠNIH SUSTAVA.....	51
5.1. Projektni zadatak.....	51
5.2. Projekt klasičnog VNA skladišnog sustava.....	53
5.2.1. VNA koncept.....	53
5.2.2. Projektiranje VNA skladišnih regala.....	54
5.2.3. Grafički prikaz VNA skladišnog sustava.....	60
5.2.4. Izbor transportnog sredstva kod VNA skladišnog sustava.....	63
5.2.5. Proračun skladišnih ciklusa u VNA skladišnom sustavu.....	64
5.3. Projekt automatiziranog AS/RS skladišnog sustava.....	74
5.3.1. AS/RS koncept.....	74
5.3.2. Projektiranje AS/RS skladišnih regala.....	75
5.3.3. Grafički prikaz AS/RS skladišnog sustava.....	80
5.3.4. Izbor transportnog sredstva kod AS/RS skladišnog sustava.....	82
5.3.5. Proračun skladišnih ciklusa u AS/RS skladišnom sustavu.....	84
6. USPOREDBA PROJEKATA VNA I AS/RS SKLADIŠNIH SUSTAVA.....	93
7. ZAKLJUČAK.....	99
8. LITERATURA.....	101
9. PRILOG.....	102
9.1. Popis slika.....	102
9.2. Popis tablica.....	103
9.3. Popis oznaka i mjernih jedinica.....	103
9.4. Tehnički crteži.....	104

---

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, uz potrebnu stručnu pomoć i konzultacije s mentorom, te uz navedenu literaturu.

---

( Zdravko Adamović )

## SAŽETAK

U radu je je dan kratki osvrt na značaj logistike u proizvodnji, te skladištenja kao značajnog procesa u logistici. Također, rad sadržava i teoretske preglede suvremenih klasičnih i automatiziranih skladišnih sustava, sa fokusom na visokoregalne skladišne sustave. S obzirom na zadatak završnog rada, detaljnije su opisane izvedbe klasičnih skladišnih regalnih sustava s vrlo uskim prolazima (VNA) i automatiziranih skladišnih sustava (AS/RS). Kao temelj usporedbe spomenute dvije izvedbe, na konkretnom primjeru projektirana su idejna rješenja (shodno danom konceptu rješenja), te su priloženi provedeni proračuni i pripadajući tehnički crteži. Na kraju su dani komentari spoznaja o razlikama oba projekta (prednosti, nedostaci, investicijski i operativni troškovi i slično), na temelju kojih je izvršena usporedba klasičnih i automatiziranih skladišnih sustava



## 1.UVOD

U suvremenom pristupu proizvodnji danas se sve više javlja potreba za ekonomičnim promišljanjem i usavršavanjem kako samih procesa proizvodnje, tako i svih ostalih procesa unutar lanaca opskrbe. Stručnjaci na tim područjima sve više nastoje racionalizirati direktne i indirektno troškove, povećati produktivnost, te ostvariti veći profit i bolju poziciju na tržištu. Trendovi proizvodnje i poslovanja u svijetu danas su slijedeći:

- stvara se višak robe i usluga
- tržište je globalno usmjereno i nema izolacije zemalja
- proizvodnja je segmentirana po različitim krajevima svijeta
- sve je veća globalna konkurencija
- javljaju se novi oblici organizacije proizvodnje
- automatizacija proizvodnih procesa

Svi gore navedeni trendovi upućuju na to da se svaka faza nabave, proizvodnje i distribucije nastoji detaljno razraditi i analizirati, nastoje se uočiti i umanjiti nepotrebni troškovi, a sve kako bi se procesi unaprijedili u svakom pogledu. Kao jedna od najznačajnijih faza u proizvodnji je logistička opskrba materijalom, sirovinama, opremom, alatima, uređajima, ljudskom radnom snagom, energijom i slično. Logistika u industrijskoj proizvodnji predstavlja jedan od temeljnih segmenata proizvodnje, bez kojeg ne bi bilo moguće ostvariti proizvodnju. U nastojanju da se prate suvremeni trendovi u proizvodnji, logistika je danas postala jedno od područja kojemu se pridaje velika pažnja. U području distribucije roba ponovno je logistika neizostavna funkcija za ostvarivanje osnovne zadaće poslovnih subjekata – dostava proizvoda i usluga kupcima.

Logistika kao znanstvena disciplina relativno je mlada i potječe iz vojnih organizacijskih sustava. Nakon II. svjetskog rata, logistika, koja je do tada bila isključivo vezana za vojne procese snabdijevanja oružjem, hranom i lijekovima, u Sjedinjenim Američkim Državama iz vojnog sektora postepeno prelazi u proizvodno-gospodarski sektor države. Razvoj američkog gospodarstva nakon II. svjetskog rata, te potreba za novim istraživanjima 70.-ih godina 20.-og stoljeća pridonijeli su oblikovanju logistike kao znanstvene discipline. U periodu od 1970. do 1980. godine logistički procesi i potprocesu sve više se nastoje definirati i unaprijediti. Do 1990. godine razvila se klasična logistika u proizvodnji i poslovanju poduzeća, koju danas poznajemo. Svi logistički procesi i potprocesu promatraju se kao cjelina, te se uvode prve optimalizacije tih procesa. Početkom 21. stoljeća, radi sve veće globalizacije i međunarodnog povezivanja i udruživanja jakih proizvodnih poduzeća javlja se novi oblik logističke potpore proizvodnih procesa, što uvelike mijenja čitavu sliku o suvremenoj logistici. Nastaju tako zvani logistički lanci, čije je glavno obilježje upravo

lančana povezanost više različitih međunarodnih poduzeća i korporacija. Najnovije obilježje suvremene logistike u drugom desetljeću 21. stoljeća je pojava globalnih logističkih mreža koje objedinjuju više logističkih lanaca na svjetskoj, globalnoj razini.

O važnosti logistike u suvremenim gospodarstvima razvijenih zemalja govori i podatak da gotovo 8.7 % BDP-a Sjedinjenih Američkih Država obuhvaćaju troškovi logistike ( točnije 910 milijardi USD ). Republika Hrvatska za troškove logistike izdvaja oko 3,3 milijarde eura godišnje. Iz tih razloga, logistički stručnjaci, kao i rukovoditelji proizvodnih odjela, te najviši menadžmenti poduzeća razmatraju eventualne mogućnosti smanjenja logističkih troškova, kao i unaprjeđenje logističkih procesa, odnosno, povećanje iskoristivosti logističkih sustava. Nova organizacijska rješenja vezna za logističke procese pri proizvodnji nastoje troškove logistike smanjiti na najmanju moguću razinu. Od novih organizacijskih rješenja danas se javljaju „ Lean production “, „ Just in time “, „ Kaizen “ i slično. No, sva ta rješenja su fokusirana uglavnom na isti logistički proces – proces skladištenja.

Skladište i skladišni procesi predstavljaju najskuplji logistički proces, ali ujedno pružaju i najveće mogućnosti za unaprjeđenje logističkih procesa u proizvodnji. Koliko god filozofija „ Just in time “ nastojala umanjiti i ukloniti skladišta iz procesa proizvodnje, to danas još uvijek nije potpuno moguće, što ukazuje na činjenicu da su skladišta još uvijek neophodna u proizvodnji, pa makar zbog smanjenja rizika od zastoja. Kako bi se unaprijedili skladišni procesi, umanjio faktor ljudske pogreške u skladišnom sustavu, te smanjila potrebna skladišna površina, uz iste ili veće kapacitete skladišta, danas se sve više razmišlja o uvođenju automatizacije u skladišne sustave. No, iako je automatizacija suvremeni trend u svijetu, zbog ograničenja koja ima suvremena tehnologija, ipak se mnoga poduzeća sukladno svojim potrebama odlučuju na klasične izvedbe skladišnih sustava. Također, ponekad je dovoljno u klasične skladišne sustave uvesti manje racionalizacije, poboljšanja ili unaprjeđenja, te na taj način pridonijeti povećanju iskoristivosti i produktivnosti skladišnog sustava. Eventualne manje investicije u noviju skladišnu opremu boljih performansi, karakteristika i mogućnosti, ponekad su dovoljne za unaprjeđenje postojećeg klasičnog skladišnog sustava.

Pitanje automatizacije skladišnih sustava ili eventualno unaprjeđenje postojećih skladišnih sustava aktualno je pitanje o kojem razmišljaju mnogi rukovoditelji proizvodnih i drugih odjela u poduzeću. Usporedba klasičnih i automatiziranih skladišnih sustava, kao i donošenje objektivnih zaključaka o potrebi uvođenja automatizacije u skladišne sustave, biti će glavna tema ovog završnog rada. Također, u ovom završnom radu, prikazati će se konkretni primjeri idejnih projekata za isti skladišni sustav, koji će poslužiti kao predložak na temelju kojih će se napraviti analiza i usporedba klasičnih i automatiziranih skladišnih sustava.

## 2. TEORIJSKE OSNOVE SKLADIŠTA

Jedno od najznačajnijih i najskupljih područja unutar tehničke logistike su skladišta i skladišni procesi. Niti jedan proizvodni proces ne može se ostvariti bez logističke potpore i opskrbe potrebnim materijalom, alatom, sirovinama i slično. Iz tog razloga su skladišta veoma značajna, te zaslužuju da im se posveti određena važnost, kako u praktičnom tako i u teorijskom dijelu.

### 2.1. Skladište, pojmovi, klasifikacija

Skladište je prostor za sigurno pohranjivanje, pripremu i izdavanje zaliha materijala na određeno ili neodređeno vrijeme. Materijal koji se nalazi na skladištu predstavlja vrijednost u procijenjenom novčanom iznosu kao kapital vlasnika čiji se materijal skladišti. Cilj skladišta je da osigura prostorno i vremensko uravnoteženje tokova materijala unutar samog objekta nekog poduzeća, između dva ili više objekata poduzeća, te između dva ili više različitih poduzeća unutar logističkog lanca. Funkcija skladišta je odvijanje procesa skladištenja i distribucije.

U tehničkoj nomenklaturi skladište predstavlja skladišni sustav kao tehnički organiziran i funkcionalan sustav. U skladu sa tim izrazom, skladišni sustav sadrži slijedeće komponente:

- skladišne objekte
- sredstva za odlaganje materijala
- sredstva za skladištenje
- transportna sredstva
- pomoćnu skladišnu opremu

Pod točkom 2.2. ovog poglavlja detaljnije je objašnjena svaka od navedenih komponenti skladišnog sustava.

Skladišni objekti su uglavnom građevinski objekti, zgrade, prostorije, odnosno, uređene površine koje fizički predstavljaju mjesto ne kojem će se odvijati skladišni proces.

Sredstva za skladištenje predstavljaju razni regali u koje se pohranjuje materijal, a u skladištima bez sredstava za skladištenje materijal se odlaže na pod.

Sredstva za odlaganje materijala često se nazivaju i sredstva za oblikovanje jediničnih tereta, a predstavljaju razne palete, stalke, kutije, sanduke i standardizirane kontejnere definiranih veličina i dimenzija.

Transportna sredstva su motorna i vučna vozila, razni granici, transportna sredstva za neprekidni tok materijala, te automatizirana transportna sredstva.

Pomoćna skladišna oprema je sva ona oprema koja se koristi u svrhu što boljeg funkcioniranja skladišnog sustava, za povećavanje efikasnosti sustava i procesa skladištenja, te za kontrolu, mjerenje, osiguravanje i održavanje skladišnog sustava.

Skladišni proces je proces koji se odvija u skladišnom sustavu kako bi se ispunila zadaća, te postigla svrha skladišnog sustava. Skladišni proces se sastoji od niza potprocesa i aktivnosti koji se odvijaju u skladišnom sustavu. Skladišni proces podrazumijeva ove potprocese i aktivnosti:

- istovar i preuzimanje materijala i dokumenata
- kontrola materijala u fazama preuzimanja i izdavanja materijala, te u fazi čuvanja materijala u skladištu
- sortiranje, paletizacija ( formiranje paletnih jedinica) i depaletizacija
- transport i odlaganje materijala u skladištu
- čuvanje, zaštita i održavanje materijala
- komisioniranje ( prikupljanje, sortiranje i priprema za izdavanje materijala )
- otpis i inventura materijala
- upravljanje skladištem
- pakiranje
- izdavanje
- evidentiranje svih događaja i promjena u vezi s materijalom
- održavanje skladišne i transportne opreme
- usklađivanje zadaće skladišta sa zadaćama drugih procesa u poduzeću

Skladištenje je proces unutar skladišnog sustava koji je određen drugim procesima u proizvodnji, te predstavlja dodatni trošak procesa proizvodnje i zastoje. Skladištenje je planirana aktivnost kojom se materijal dovodi u stanje mirovanja.

Proces skladištenja robe u za to predviđeno skladište na za to predviđena skladišna mjesta (lokacije) se može obavljati na tri različita načina :

- a) skladištenje metodom slučajnog rasporeda ( „ random “ )
- b) skladištenje na dodijeljena mjesta ( „ dedicated “ )
- c) skladištenje po zonama ( „ class-based “ )

a) Skladištenje metodom slučajnog rasporeda se odvija na način da se ulazna paletna jedinica odloži na prvo slobodno mjesto u skladištu, neovisno o vrsti robe ili unaprijed određenom kriteriju.

b) Skladištenje na dodijeljena mjesta znači postupak kojim se roba skladišti na zato predviđena mjesta koja su unaprijed određena nekim prostornim rasporedom prema definiranom kriteriju. Danas se koriste softverski paketi ( WMS ) koji u svojoj bazi podataka imaju riješen sustav definiranja lokacija za određenu vrstu robe ili već prema nekom zadanom kriteriju.

c) Skladištenje po zonama je postupak skladištenja koji podrazumijeva da se roba istih karakteristika skladišti u pripadajuće zone u skladišnom prostoru. Zone su unaprijed definirane prema kriteriju koji definira koja će se roba skladištiti u kojoj skladišnoj zoni.

Tendencija nekih današnjih proizvodnih strategija je postići procese bez skladištenja i bez potrebe za skladištem upravo iz razloga smanjivanja troškova i rješavanja zastoja. Neke od tih strategija su npr. „lean production“ – „vitka“ proizvodnja ili JIT – „Just-in-time“ – uključivanje materijala točno na vrijeme u pojedinu fazu procesa proizvodnje. No, još uvijek postoji potreba za skladištenjem kao drugim najbitnijim procesom ( prvi je transport! ) u današnjim logističkim sustavima jer skladište predstavlja određenu sigurnost za odvijanje procesa proizvodnje u slučaju da dođe do zastoja u transportu.

Klasifikacija skladišta, prema kojoj se određuju vrste i tipovi skladišta, može biti temeljena na različitim kriterijima. Raznovrsnost, brojnost i posebnost industrijskih poduzeća samo su neki od razloga za izuzetno veliki broj izvedbi skladišnih sustava.

Vrste skladišta razlikujemo prema slijedećim kriterijima:

1. kriterij: Vrste i značajke materijala:

a) prema stanju i obliku materijala postoje skladišta za:

- sipki materijal
- komadni materijal
- tekućine
- plinove

b) prema namjeni materijala postoje skladišta za:

- alate
- ambalažu
- potrošni materijal
- otpad

c) prema proizvodnji materijala postoje skladišta za:

- sirovine
- poluproizvode
- proizvode
- rezervne dijelove

d) prema pokvarljivosti materijala postoje skladišta za:

- pokvarljivi materijal
- nepokvarljivi materijal

e) prema vrsti opasnosti materijala postoje skladišta za:

- zapaljivi materijal
- eksplozivni materijal
- radioaktivni materijal

2.kriterij: Stupanj razvoja skladišnog sustava:

- ručna skladišta
- djelomično mehanizirana skladišta
- mehanizirana skladišta
- djelomično automatizirana skladišta
- automatizirana skladišta

**3.kriterij: Strategija odlaganja materijala:**

## a) prema rasporedu odlaganja postoje skladišta sa:

- unaprijed određenim rasporedom odlaganja
- slobodnim rasporedom odlaganja unutar određenog dijela skladišta
- sa slučajnim rasporedom odlaganja materijala

## b) prema principu odlaganja materijala postoje skladišta po:

- principu odlaganja u blokove
- principu odlaganja u redove

## c) prema raznovrsnosti materijala postoje skladišta sa:

- odlaganjem istovrsnog materijala na jednom mjestu
- odlaganjem raznovrsnog materijala na jednom mjestu

**4.kriterij: Model organiziranja:**

## a) prema važnosti postoje:

- glavna skladišta
- skladišta za komisioniranje
- međuskladišta

## b) prema centraliziranosti postoje:

- centralizirana skladišta
- decentralizirana skladišta
- kombinirana skladišta

**5.kriterij: Značajke građevinskog objekta**

## a) prema zatvorenosti postoje :

- zatvorena skladišta
  - otvorena skladišta
-

- natkrivena skladišta
- posebna skladišta

b) prema načinu gradnje:

- podzemna skladišta
- prizemna skladišta
- katna skladišta
- silosi

6.kriterij: Glavna zamisao izvedbe objekta:

- vodoravna ili niska skladišta
- okomita ili visoka skladišta

7.kriterij: Tehnologija skladištenja:

- podna skladišta
- regalna skladišta
- skladišta sa skladištenjem na transportno - skladišnim sredstvima

8. kriterij: Pripadnost dijelu poduzeća (funkcija)

- skladišta nabave
- skladišta prodaje
- skladišta proizvodnje
- skladišta kooperacije
- skladišta servisa
- skladišta održavanja
- skladišta laboratorija
- alatnice



## 9.kriterij: Vrsta toka materijala u skladištu

- skladište s jednosmjernim tokom materijala
- skladište s povratnim tokom materijala

## 10. kriterij: Vrsta sredstava za skladištenje:

## a) prema postojanju sredstva za skladištenje postoje skladišta:

- bez sredstva za skladištenje ( podna skladišta )
- sa sredstvima za skladištenje ( regalna skladišta )

## b) prema pokretljivosti sredstava za skladištenje postoje skladišta:

- s nepokretnim regalima
- s pokretnim regalima

## c) prema izvedbi regala postoje skladišta sa:

- poličnim regalima
- paletnim regalima
- konzolnim regalima
- prolaznim regalima
- protočnim regalima
- pokretnim regalima

## 11.kriterij: Zadatak u proizvodnom sustavu:

- ulazna skladišta
- proizvodna skladišta
- izlazna skladišta

## 12. kriterij: Značajke jedinica skladištenja:

- statična
  - dinamična
-

## 13. kriterij: Veličina skladišta:

- mala
- srednja
- velika

## 14. kriterij: Rješenja zaštite:

- visoko zaštićena
- zaštićena
- nezaštićena

## 2.2. Komponente skladišnog sustava

Kao što je navedeno pod točkom 2.1. skladišni sustav je definiran vrstom i značajkama materijala, te svojim komponentama. Svaka od navedenih komponenti ( skladišni objekti, sredstva za odlaganje materijala, sredstva za skladištenje, transportna sredstva i pomoćna skladišna oprema) utječe na funkcionalnost, efikasnost i iskoristivost skladišnog sustava, te definira tip i vrstu pojedinog skladišta. Prilikom projektiranja skladišta svaka od tih komponenti treba biti detaljno razrađena, proračunata i definirana, kako bi skladišni sustav optimalno funkcionirao.

### 2.2.1. Skladišni objekti

Pod pojmom skladišnog objekta podrazumijevaju se građevine, prostorije, skladišne hale, spremnici, silosi, rezervoari i ostali građevinski i tehnički objekti koji fizički odjeljuju prostor skladišnog sustava od nekih drugih objekata unutar većeg proizvodnog sustava kojem skladišni sustav pripada. Zidovi skladišnih objekata predstavljaju fizičku granicu između skladišnog sustava i okoline. Skladišni objekt ima osnovnu funkciju definirati prostor skladišnog sustava, osigurati uvijete za funkcioniranje skladišnog sustava i spriječiti vanjskim utjecajima da nepredvidivim poremećajima negativno utječu na skladišni sustav. Značajke skladišnih objekata definirane su u fazi projektiranja skladišnog sustava.

Dimenzije, oblik, konstrukcija, vrsta građevinskog materijala, rasvjeta, klimatizacija i ostale značajke skladišnog objekta se određuju pri projektiranju skladišnog sustava prema materijalu za skladištenje i traženom kapacitetu, a na temelju financijskih, pravnih, urbanističkih, ekoloških i drugih ograničenja. Skladišni objekti su vanjski „ kostur “ skladišnog sustava bez kojeg ne bi bilo moguće odvijanje skladišnog procesa.

Skladišni objekt se projektira na cijeloživotni vijek skladišnog sustava, jer se gotovo nikad pri rekonstrukciji skladišnog sustava ne mijenja skladišni objekt, osim u svrhu održavanja, čišćenja, popravka i slično, dok se sve ostale komponente skladišnog sustava mogu mijenjati.

### 2.2.2. Sredstva za odlaganje materijala

Materijal koji prolazi kroz skladišni sustav ili miruje u skladišnom sustavu predstavlja osnovni subjekt i glavno polazište pri projektiranju, održavanju i funkcioniranju skladišnog sustava. Tok materijala predstavlja i tok kapitala. Pod pojmom materijala podrazumijevaju se sirovine, tvari i artefakti koji pri prolasku kroz skladišni sustav čine jedinični teret. Jedinični teret je tehnički pojam koji označava uređenu jedinicu materijala oblikovanu pomoću nekog sredstva za odlaganje, odnosno, oblikovanje materijala.



Slika 1. Europaleta

Sredstva za odlaganje, koja se još nazivaju i sredstva za oblikovanje jediničnih tereta su ona sredstva koja služe da se materijal organizira u jedinične terete kako bi bilo omogućeno lakše rukovanje, skladištenje, odlaganje, komisioniranje, mjerenje, kontroliranje, transport i automatizacija ostalih skladišnih procesa i potprocesa. Sredstva za oblikovanje jediničnih tereta su slijedeća:

- ravna paleta dimenzija 800 x 1200 mm, tzv. Europaleta, nosivosti 10 kN. Slika 1. prikazuje standardnu drvenu europaletu.
- kutijaste palete 800 x 1200 x 970 mm tzv. „box- palete“, i s okvirom
- paleta - nosač dijelova 600 x 800 mm
- stalak 6058 x 2438 mm
- sanduk za naslagivanje 395 594 mm
- ISO kontejner 6058 x 2438 mm

Jedinični tereti mogu biti oblikovani i u drugačijim formama i oblicima. Ponekad se jedinični tereti definiraju kao snopovi cijevi, paketi limova i slično, pri čemu se ne koriste standardna sredstva za oblikovanje i odlaganje jediničnih tereta.

Jedinični tereti su između ostaloga veoma bitni za povezivanje raznih procesa i potprocesa u proizvodnji, prodaji, opskrbi, te općenito u logistici i logističkim lancima.

### 2.2.3. Sredstva za skladištenje

U većini skladišta gdje postoje sredstva za skladištenje, ta sredstva se uglavnom nazivaju skladišni regali. U skladištima gdje nema skladišnih sredstava materijal se na sredstvima za odlaganje odlaže direktno na pod, a takvi sustavi se nazivaju podna skladišta. Činjenica je da podna skladišta imaju manje investicijske troškove, te skladišna oprema ne zauzima eventualni skladišni prostor za materijal, no podna skladišta također imaju i nekih nedostataka koji ih u pojedinim situacijama čine neprihvatljivim. Složeni problemi s rukovanjem, slabe mogućnosti automatizacije skladišnog sustava, kao i manja ukupna iskoristivost volumena skladišnog prostora nedostaci su koji utječu na to podna skladišta ponekad nisu adekvatna. Regalna skladišta umanjuju i rješavaju neke od osnovnih nedostataka podnih skladišta. U ovom završnom radu dalje će se govoriti upravo o regalnim skladišnim sustavima, a podna skladišta neće se detaljnije obrađivati.

Regalni skladišni sustavi su najčešći industrijski skladišni sustavi za pohranjivanje komadnog materijala. Osnovne prednosti regalnih skladišnih sustava nad podnim izvedbama skladišta leže u većoj iskoristivosti skladišnog prostora u smislu iskorištenja i treće dimenzije – visine. Prilikom procesa skladištenja u regalnom skladišnom sustavu materijal se odlaže u za to predviđene skladišne lokacije koje se nalaze na određenim visinama. Unutrašnjost skladišnog objekta je puno bolje volumenski iskorištena nego kod podnih skladišta. Osim povećanja iskoristivosti unutarnjeg volumenskog kapaciteta skladišnog objekta, prednost regalnih skladišnih sustava također leži u dostupnosti skladišnog materijala. Budući da svaki jedinični teret ima svoju odgovarajuću skladišnu lokaciju u skladišnom regalu, ta lokacija je u svakom trenutku dostupna za odlaganje i izuzimanje pomoću skladišnog transportnog sredstva. Kod podnih skladišnih sustava, osobito kod slaganja u blokove, određena skladišna jedinica nebi uvijek bila jednako dostupna za izuzimanje ako bi se njena lokacija nalazila okružena drugim skladišnim jedinicama. Dostupnost svih skladišnih lokacija u svakom trenutku, kod regalnih skladišnih sustava također omogućuje odlaganje i izuzimanje jediničnih tereta prema različitim strategijama skladištenja. Dok se kod podnih skladišnih sustava uglavnom skladišti samo u zonama ( „class- based“ ), kod regalnih skladišnih sustava je omogućeno i skladištenje metodom slučajnog rasporeda ( „random“ ) i skladištenje jediničnih tereta na dodijeljena mjesta ( „dedicated“ ). Dodatna prednost regalnih

skladišnih sustava je otvorena mogućnost za investiranje u automatizaciju skladišnih procesa (jednostavnija automatizacija), implementaciju novih transportnih sredstava većih učinkovitosti (dizalice, roboti), korištenje potrebnih softverskih paketa ( WMS ), te eventualna poboljšanja uvjeta za skladištenje, zaštitu materijala i nadzor.

Kako je navedeno pod točkom 2.1. ovog poglavlja, postoje različite izvedbe skladišnih sustava koji su klasificirani prema više različitih kriterija, a 10. kriterij po redoslijedu nabrajanja je kriterij klasifikacije skladišnih sustava prema vrsti sredstava za skladištenje. Prema izvedbi, dakle, razlikuju se slijedeći regali prema kojima se naziva i odgovarajući skladišni sustav :

a) Polični regali – materijal se odlaže u regalnu skladišnu jedinicu izravno na policu koja je predviđena za odlaganje jediničnog tereta.

b) Paletni regali – materijal se odlaže u regalnu skladišnu jedinicu uz upotrebu posebne opreme i općenito pomoću transportnog sredstva.

c) Konzolni regali – komadni materijal sa jednom ili dvije karakteristične izmjere se odlaže na konzolne nosače u regalima na za to predviđene skladišne lokacije.

d) Prolazni regali – skladišni regali koji imaju prolaze sa nosačima paleta. Koristi se uglavnom za veće količine istovrsnih materijala.

e) Protočni regali - koristi se za dinamično skladištenje materijala, gdje istovrsni jedinični tereti protječu kroz regal.

f) Pokretni regali – regali koji imaju pogon, te se skladišne jedinice kreću zajedno sa ili bez materijala u obliku jediničnog tereta.

Vrste regala, njihova primjena, način upotrebe i svrha pojedinih izvedbi objasniti će se detaljnije u 3. poglavlju ovog rada.

#### 2.2.4. Transportna sredstva u skladišnom sustavu

Kao komponente svakog skladišnog sustava transportna sredstva čine njegov najvažniji dio u smislu funkcionalnosti, iskoristivosti i efektivnosti, a vrlo često i u smislu vrijednosti, odnosno cijene. Transportna sredstva mogu se razvrstati prema vrsti materijala, tehnologiji skladištenja, zadaći u procesu, stupnju automatizacije i prema nizu drugih kriterija, no općenito je uvriježeno govoriti o transportnim sredstvima s obzirom na slijedeću klasifikaciju :

A – motorna vozila

A<sub>1</sub> – ručna vozila

B – granici

C – transportna sredstva za neprekidni tok materijala

D – automatizirana transportna sredstva

Motorna vozila (A) su transportna sredstva koja imaju vlastiti motorni pogon, a uglavnom se nazivaju viličari. Motorni pogon može biti električni motor ili motor s unutarnjim izgaranjem (benzinski ili dizel motori). Postoje razni tipovi i izvedbe viličara ovisno o njihovoj funkciji, namjeni i vrsti skladišnog sustava. Također postoje i druga transportna sredstva u ovoj skupini (A), koji se ne nazivaju viličarima, jer imaju neku drugu namjenu i funkciju. To su razna vučna vozila, prikolice, dizala i slično.

Ručna vozila ( $A_1$ ) su transportna sredstva koja nemaju vlastiti pogon, već se kretanje takvog vozila ostvaruje na način da njime upravlja čovjek gurajući ili vukući takvo transportno sredstvo. To su razne izvedbe kolica, tački, pokretnih košara, podizača i ručnih viličara.

Granici (B) su transportna sredstva za dizanje i prostorno premještanje jediničnih i drugih tereta. Vertikalno gibanje se ostvaruje pomoću vitla ili ovjesne dizalice, a horizontalno gibanje se ostvaruje kretanjem cijelog ili samo dijela granika. Postoje razne izvedbe poput zidnih, stupnih, kabelnih, ovjesnih, mosnih, portalnih i drugih vrsta granika.

Transportna sredstva za neprekidni tok materijala ( C ) su sredstva koja se služe transport materijala u obliku jediničnih tereta, ali također i za sipke materijale, ovisno o izvedbi. Ova transportna sredstva se nazivaju još i transporteri i konvejeri. Različite izvedbe ovih konvejera biti će korištene ovisno o potrebnoj snazi, vrsti materijala, potrebnoj brzini transportiranja, namjeni i količini transportnog tereta. Proračun ovih transportnih sredstava zahtijeva stručno znanje iz područja mehanike, konstrukcija, te tribologije i ostalih znanstvenih disciplina u strojarstvu. U praksi se susreću razne izvedbe konvejera poput trakastih konvejera, valjčanih konvejera, pužnih konvejera, gravitacijskih konvejera, pneumatskih konvejera, vibracijskih konvejera itd. U ovu grupu transportnih sredstava spadaju i razna druga sredstva za transport poput kliznih i kuglastih staza, elevatora ovjesnih konvejera i slično, koja se također često primjenjuju u realnim skladišnim sustavima za unutarnji transport materijala.

Automatizirana transportna sredstva ( D ) su transportna sredstva u skladišnom sustavu koji je djelomično ili potpuno automatiziranog tipa. U ovu skupinu transportnih sredstava za automatizirani unutarnji transport materijala u skladišnom sustavu spadaju razne računalno vođene dizalice, razna automatizirana vozila, robotske „ruke“, električna vozila i uređaji i slično. Detaljnije o automatiziranim skladišnim sustavima govoriti će se u 4. poglavlju ovog rada.

Transportna sredstva i njihova primjena u skladišnom sustavu, kao i odabir pojedine izvedbe transportnog sredstva ovisiti će uglavnom o materijalu kojeg se skladišti, ali i o drugim

---

zahtjevima koje skladišni sustav mora zadovoljavati - protok materijala, kapacitet skladišnog sustava, stupanj automatiziranosti, cijena i slično.

#### 2.2.5. Pomoćna i dodatna skladišna oprema

Uz osnovne komponente skladišni sustav također mora sadržavati u određenoj mjeri i neke druge elemente koji su nužni za kvalitetno i ispravno funkcioniranje i odvijanje skladišnog procesa.

Pomoćna skladišna oprema direktno je povezana sa funkcijom skladišta , a u ovu skupinu se ubrajaju:

- pogonski uređaji
- komunikacijsko – informacijski sustav ( npr. WMS )
- sredstva za sastavljanje i rastavljanje jediničnih tereta
- sredstva za određivanje težine i izmjera ( vage i drugi mjerni uređaji )
- sredstva za prijevoz preko neravnina
- sredstva za pretovar
- sredstva za pakiranje
- pomoćna sredstva za rad u skladištu ( stube, ljestve ..)
- sredstva za zahvat materijala
- sredstva za vezu sa okruženjem

Implementacijom i ispravnim korištenjem ovih pomoćnih sredstava mogu se poboljšati skladišni procesi i postići uštede u vremenu i energiji, te na taj način pridonijeti većoj iskoristivosti i funkcionalnosti ukupnog skladišnog sustava.

Dodatna skladišna oprema je također bitna komponenta skladišnog sustava kojom se postižu odgovarajući uvjeti rada u skladištu i čuvanja materijala. Tu se ubrajaju:

- protupožarni uređaji
- sigurnosno - zaštitni uređaji
- uređaji za klimatizaciju
- uređaji za grijanje
- uređaji za rasvjetu i električne instalacije
- uređaji za održavanje čistoće
- sredstva zaštite na radu
- sanitarno – higijenski uređaji

### 2.3. Projektiranje skladišnog sustava

Projektiranje skladišnog sustava je kompleksna interdisciplinarna, slijedna, usporedna i iterativna djelatnost koja rezultira rješenjem (ili rješenjima) projektnog zadatka. Projektnim zadatkom obuhvaćeno je niz karakteristika koje skladišni sustav treba imati u pogledu tehnologije, konstrukcija, organizacije, upravljanja, pomoćne i dodatne skladišne opreme i slično. Treba naglasiti da projektiranje skladišta nije jedna deterministička djelatnost, već je to vrlo kompleksna i stohastička djelatnost koja iziskuje široko stručno znanje, iskustvo i lucidnost projekatana.

Pri projektiranju skladišnog sustava koriste se razne metodologije rješavanja problema skladištenja. Svako rješenje problema skladištenja temelji se na bilanci materijala, definiranim tokovima materijala i rasporedu objekata unutar poduzeća. Jedan od osnovnih koraka u projektiranju skladišnog sustava je i izbor lokacije skladišta pri čemu se treba voditi računa o niz različitih ograničenja. Kao osnovne faze pri projektiranju okvirno se mogu navesti slijedeće :

1. definiranje polaznih podataka
2. oblikovanje zona skladišta
3. rješenje svake zone
4. dimenzioniranje tehničkih rješenja
5. specifikacije i troškovnici, izrada dokumentacije
6. analiza vrijednosti

Pri projektiranju se koriste razni alati i analize koje pomažu projektantima za optimiziranje raznih procesa i dobivanje približnih statističkih podataka koji su nužni za postizanje kvalitetnog rješenja.

Određivanje radnog ciklusa i vremena trajanja pojedinih aktivnosti u procesu skladištenja veoma je važan parametar za oblikovanje tehničkih rješenja svakog skladišta. Također, vrijeme radnog ciklusa je područje koje je interesantno upravo pri uvođenju novih manjih racionalizacija koje mogu veoma poboljšati ukupni transportni proces i osigurati uštede u vremenu i cijeni pri funkcioniranju skladišnog sustava. Općenito se radni ciklusi klasificiraju u dvije osnovne podijele: jednostavni i složeni radni ciklus. Jednostavni radni ciklus se sastoji od vremena potrebnog da se dođe do skladišne lokacije, vremena rukovanja materijalom (izuzimanje ili odlaganje) i vremena povratka sa ili bez materijala do komisionog mjesta u skladištu ( ulaza ili izlaza ). Složeni radni ciklus sadrži i više aktivnosti što znači da se u jednom ciklusu može obaviti i odlaganje i izuzimanje dva ili više jediničnih tereta. Postoji niz heurističkih i statističkih metoda za određivanje vremena radnog ciklusa.



Određivanje površine skladišta također je bitna djelatnost pri projektiranju skladišnog sustava, a podrazumijeva proračun niza manjih površina koje su namijenjene za različite svrhe. Ukupna skladišna površina se sastoji od površina za materijal, površine za prolaze i putove, površine za prijem, površina za otpremu, površina za radnike i površina za pomoću i dodatnu opremu.

Osnovne izmjere skladišta se određuju prema različitim kriterijima poput duljine redova skladišnih lokacija, visine regala za odlaganje, prosječna duljina puta do skladišne lokacije, volumen za materijal i niz drugih parametara koji utječu na kapacitet skladišta i protok materijala kroz skladište.

Komisioniranje je naziv za niz aktivnosti za pripremu materijala u skladištu, za raspodjelu materijala u skladišnom prostoru, te otpremu materijala korisnicima. Projektiranje skladišnog sustava treba rezultirati rješenjem načina odgovarajućeg i optimalnog procesa komisioniranja.

Zaštita skladišta, zaštita materijala koji se skladišti, te zaštita radnika pri radu u skladišnom sustavu također treba biti obuhvaćena projektiranjem skladišnog sustava.

Budući da je projektiranje skladišnog sustava prilično dugotrajan i opsežan proces koji obuhvaća niz postupaka i rješenja, te zahtijeva angažman više različitih stručnjaka na području projektiranja tehničkih sustava, u ovom radu se neće detaljno razrađivati izvedbeni projekti nekog skladišnog sustava, ali će se prikazati neki osnovni segmenti idejnih projekata za konkretni skladišni sustav.

### 3. TEORIJSKI PREGLED KLASIČNIH IZVEDBI SKLADIŠNIH SUSTAVA

Skladišta su u praksi najčešće klasičnih izvedbi. Kako bi se u praksi moglo razumjeti funkcioniranje klasičnih skladišnih sustava, potrebno je teoretski obuhvatiti osnovne osobine klasičnih izvedbi skladišnih sustava. Također, radi raznolikosti klasičnih skladišta, treba poznavati različite izvedbe skladišnih regala, kao i širine međuregalnih prolaza u klasičnom skladišnom sustavu.

#### 3.1. Klasični skladišni sustavi

U današnjim industrijskim postrojenjima, klasični skladišni sustavi su sustavi koji podrazumijevaju funkcioniranje, skladištenje, komisioniranje i ostale skladišne procese opisane u prethodnom poglavlju na način koji obuhvaća međusobnu interakciju između klasičnih komponenti sadržanih u skladišnom sustavu. Klasične komponente skladišnih sustava koje se pretežito koriste danas u industriji su komponente koje se međusobno ne razlikuju mnogo po svojim osobinama od navedenih komponenti u 2. poglavlju ovog završnog rada, već predstavljaju određeni ne pisani „standard“ među projektantima klasičnih skladišnih.

Poduzeća koja se bave proizvodnjom i distribucijom pojedinih skladišnih komponenti predstavljaju popularne brendove uglavnom poznate i provjerene kvalitete. Poduzeća koja se bave izgradnjom i projektiranjem skladišnih objekata, poduzeća za proizvodnju skladišne opreme, regala i pomoćne opreme, poduzeća koja izrađuju i distribuiraju skladišna transportna sredstva, poduzeća za proizvodnju skladišnih računalnih programa, konzalting firme za projektiranje i organizaciju skladišnih sustava, i slično, imaju svoje mjesto na tržištu u današnjoj industriji.

Klasični skladišni sustavi se, dakle, razlikuju ovisno o proizvođaču, veličini investicije, potrebi, namjeni, inovativnim rješenjima pojedinih podsustava i mnogim drugim osobinama, no u osnovi svih skladišnih sustava su gotovo iste komponente. Najbitnije komponente klasičnih skladišnih sustava su regali i transportna sredstva, tzv. viličari. Ovisno o tipu i izvedbi skladišnih regala, kao i o vrsti transportnog sredstva razlikovati će se klasični skladišni sustavi.

#### 3.2. Regali u klasičnim skladišnim sustavima

Klasifikacija skladišnih sustava s obzirom na sredstva za skladištenje prikazana je u poglavlju 2.2.3. ovog završnog rada. Slijedi detaljniji opis pojedinih vrsta regala i njihove primjene u klasičnim skladišnim sustavima.

### 3.2.1. Skladišta sa poličnim i paletnim regalima

Skladišni sustavi sa poličnim regalima su sustavi čiji se proces uskladištenja i izskladištenja odvija po principu odlaganja jediničnih tereta izravno na za to predviđeno mjesto u regalu – policu. Regali su konstruirani na taj način da se svaka skladišna lokacija za odlaganje i izuzimanje nalazi u regalu na određenoj polici u dimenzioniranim gabaritima, na određenoj visini u regalu, te sa mogućnošću odlaganja na sredstvo za oblikovanje jediničnog terete ( palete, sanduci ... ) ili bez sredstva za odlaganje. Police su element regala kojega čine razni ulošci izrađeni od drveta ili kovine, a najčešće su to čelični limovi. Čelični limovi se najčešće koriste upravo iz razloga što je omjer mase i čvrstoće kod čelika adekvatan primjeni kod izrade nosivih konstrukcija skladišnih regala. Ulošci koji se postavljaju na regale vezani su na nosače regala i oblikuju punu uložnu površinu, najčešće u vodoravnom položaju.

Skladišni sustavi sa paletnim regalima su sustavi kod kojih se jedinični teret odlaže ili izuzima u skladišne lokacije isključivo uz primjenu transportnog sredstva – viličara. Skladišne lokacije su konstruirane na taj način da je paletni regal predviđen za to da se jedinični teret odlaže zajedno sa sredstvom za oblikovanje ( npr. palete ) unutar skladišne lokacije u paletnom regalu.

I kod poličnih i kod paletnih regala raspored regala u skladištu je najčešće oblikovan u redove unutar zatvorenog skladišnog objekta. Kod ovakvog rasporeda regala moguć je izravni pristup svakoj jedinici skladišta, što je osigurano time što se na jednu paletu ili policu po njenoj dubini odlaže najčešće jedan jedinični teret. Ovakav princip odlaganja i izuzimanja jediničnih tereta ima brojne prednosti, od kojih su najvažnije osiguravanje dovoljnog protoka materijala kroz skladišni sustav, smanjenje ciklusa komisioniranja, relativno dobra dostupnost skladišnih lokacija, preglednost i nadzor skladišnog sustava, prihvatljiva cijena poličnih i paletnih regala, investicijski troškovi i slično.

### 3.2.2. Skladišta sa konzolnim regalima

Konzolni regali koji se primjenjuju u klasičnim skladišnim sustavima su regali za odlaganje i izuzimanje jediničnih tereta sa jednom ili dvije karakteristične izmjere. To su regali konstruirani za skladištenje takvih gabarita i dimenzija jediničnih tereta da odgovaraju jednoj ili dvjema karakterističnim izmjerama komadnog materijala oblikovanog u posebne oblike jediničnih tereta. Karakteristične izmjere u slučaju konzolnih regala predstavljaju neku od dimenzija ( visinu, duljinu ili širinu ) pojedinog posebno oblikovanog jediničnog tereta koji zbog odstupanja jedne ili dvije svoje dimenzije ne bi mogao biti uskladišten u polično – paletni tip regala. Posebno oblikovani jedinični teret je jedinični teret oblikovan od materijala kojeg treba uskladištiti u obliku u kojem se

proizvodi, prema već predviđenim normama. Primjer takvog materijala su šipke, cijevi, profili čelika, paketi limova i drugo, čija se količina opisuje u jedinicama po metru, po kvadratnom metru, po promjeru ili prema nekoj drugoj sličnoj jedinici. Slika 2. prikazuje jedan konzolni regal za skladištenje limenih profila postavljenog uza zid.



Slika 2. Konzolni regal

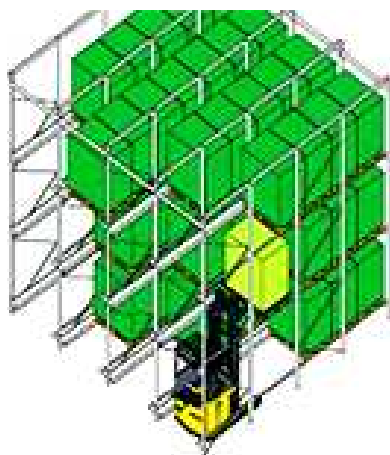
Konzolni regali sadrže u svojoj konstrukciji posebno oblikovane konzolne nosače duljina do 3 metra, ukupne nosivosti regala do oko 200 kN, što je oko 25 kN po konzoli. Standardne izvedbe takvih regala su fleksibilne i prilagodljive različitim jediničnim teretima sličnih dimenzija i gabarita. Regal može biti sastavljen od jedne ili više konzola, ovisno o duljini materijala za uskladištenje. Raspored postavljanja ovih regala je najčešće u redove, te mogu biti jednostruki ili dvostruki. Jednostruki konzolni regal uglavnom se postavlja uza zid skladišnog objekta.

### 3.2.3. Skladišta sa prolaznim regalima

Skladišni sustavi sa prolaznim regalima su sustavi kod kojih se proces uskladištenja i iskladištenja jediničnog tereta odvija na način da se postiže prolazak jediničnog tereta kroz prolazni skladišni regal. Prolazni regali su konstruirani na takav način da omogućuju ulazak više jediničnih tereta u prolaznu skladišnu lokaciju, te se, ovisno o izvedbi pojedinog prolaznog regala, jedinični tereti izuzimaju kroz isti otvor kroz koji su ušli (ulaz je i izlaz) ili se izuzimaju kroz drugi otvor u regalu koji predstavlja izlaz. Prema tom načinu uskladištenja i iskladištenja mogu se obavljati „FIFO“ i „LIFO“. Način skladištenja materijala koji se odvija po principu „FIFO“ (eng. „First In - First Out“ – prvi ulazi, prvi izlazi.) pretpostavlja odvijanje procesa skladištenja na taj način da prvi jedinični teret koji uđe u prolazni regal prvi mora i izaći iz prolaznog regala. Način skladištenja materijala koji se odvija po drugom principu „LIFO“ (eng. „Last In - First Out“ – zadnji ulazi, prvi

izlazi.) pretpostavlja odvijanje procesa skladištenja na taj način da zadnji jedinični teret koji je ušao u prolazni regal prvi mora izaći iz prolaznog regala.

Skladištenje u ove regale odvija se uz korištenje paleta ili sanduka za oblikovanje jediničnih tereta, koji na sredstvima za odlaganje dolaze na nosače prolaznih regala. Ovakvi regali se koriste u klasičnim skladišnim sustavima za skladištenje većih količina istovrsnih materijala pomoću posebne opreme ( palete, sanduci ). Regali mogu biti visine do 8 metara, te imaju prednost u smislu iskoristivosti površine i prostora skladišnog objekta, nema posebnih prolaza za transportne putove, te su pogodni za materijale koji se duže zadržavaju u skladišnom sustavu. Također ne zahtijevaju velike investicijske troškove. Slika 3. predstavlja tipični prolazni regal.



Slika 3. Prolazni regal

#### 3.2.4. Skladišta sa protočnim regalima

Protočnim regalima se ostvaruje dinamički proces uskladištenja uglavnom komadnog materijala koji je oblikovan u jedinični teret. Dinamično skladištenje je proces skladištenja materijala u protočne regale pri kojem se jedinični tereti gibaju (protječu) kroz regal, a to gibanje je uzrokovano nekom vanjskom silom. U ovakvim sustavima skladištenja regala, rukovanje materijalom se odvija po gore navedenom načelu „ FIFO “, jer materijal u obliku jediničnog tereta ulazi na jednoj strani protočnog regala, a izlazi na drugoj strani protočnog regala tako da onaj jedinični teret koji je prvi ušao u protočni regal, mora prvi i izići iz njega.

Jedinični tereti koji protječu kroz regal gibaju se na način da jedan jedinični teret gura drugi jedinični teret kroz regal koji je konstruiran na taj način da sadrži elemente koji omogućuju gibanje jediničnih tereta kroz regal. Elementi protočnog regala koji omogućuju gibanje niza jediničnih tereta kroz regal su razne staze, pruge ili pokretne postolja kojima se ostvaruje transport materijala unutar regala. Kada jedinični teret uđe u regal on mora biti poguran kako bi se ostvarilo kretanje. Kretanje materijala u protočnim regalima može biti ostvareno na dva načina:

a) Prvi način je da se u regalu ne nalazi nikakav vanjski pogon koji bi trošio energiju na ostvarenje gibanja jediničnih tereta, već se gibanje jediničnih tereta ostvaruje djelovanjem gravitacijske sile na masu jediničnih tereta. Vodilice, vozne staze ili pokretna postolja u regalu konstruirana su na taj način da se nalaze pod dovoljno velikim kutom nagiba u odnosu na vodoravni položaj, kako bi komponenta gravitacijske sile u smjeru gibanja materijala bila dovoljno jaka da savlada njoj kolinearnu suprotnu silu trenja koja se javlja kao otpor gibanju jediničnih tereta po površini staze protočnog regala. Kut nagiba nosača npr. vozne staze uglavnom iznosi 1 do 5 %, a ovisan je o težini jediničnog tereta kojeg se treba linearno transportirati kroz regal. Izbor rješenja vozne staze ovisan je također o težini jediničnog tereta, kvaliteti ambalaže, te načinu na koji se smanjuje faktor trenja između vozne površine i površine ambalaže jediničnog tereta. Vozna staza često se koristi kao izvedba valjčanih vozničkih staza ili valjčanih pruga kao i kod gravitacijskih konvejera.

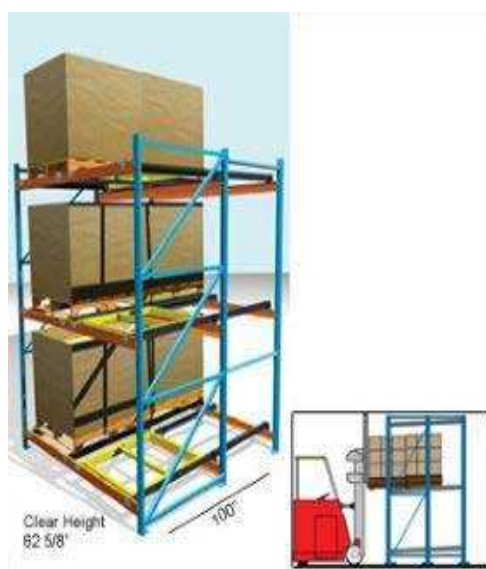
b) Drugi način kojim se ostvaruje gibanje jediničnih tereta kroz protočni regal je taj da se vozne staze ne nalaze pod nagibnim kutom, već su potpuno vodoravne. Tada postoji niz različitih rješenja koja uzrokuju gibanje jediničnih tereta. Jedna od varijanti je da se ostvaruje neprekidni transport materijala kod kojeg se gibanje ostvaruje različitim vanjskim pogonom koji troši dovedenu energiju. To mogu biti razne valjčane, lančane, trakaste staze ili pruge koje su pogonjene npr. elektromotorom. Druga varijanta je da se ne ostvaruje neprekidni tok materijala, već je transport isprekidan, a materijal se pomiče za jedinicu duljine jediničnog tereta svaki put kada novi jedinični teret ulazi ili izlazi iz protočnog regala. Jedinični tereti su tada pogurani nekom jediničnom silom koja može biti dovedena od strane nekog transportnog vozila ili je postavljen podsustav koji po potrebi raznim graničnicima i pogonskim uređajima poguruju jedinične terete.

Ovakvi regali se koriste kod većeg broja istovrsnih jediničnih tereta čije skladištenje zahtjeva dovoljno veliki protok materijala kroz skladišni sustav. Protočni regali su najčešće duljine do 20-ak metara, a u visinu mogu ići i do 12 metara. Slika 4 prikazuje klasični protočni regal.



Slika 4. Protočni regal

Postoje razne izvedbe protočnih regala, no u ovom radu je posebno bitno istaknuti izvedbu dvostrukih „ Push back “ protočnih skladišnih regala. Izraz „ Push back“ ( guranje unazad ) je izraz koji opisuje međusobni položaj paleta u protočnom regalu. Guranjem unazad se ostvaruje skladištenje jediničnih tereta na taj način da su jedinični tereti u međusobnom kontaktu, te silom djeluju jedan na drugoga. Ovakvi regali se često koriste, kod visokoregalnih skladišnih sustava, međutim ograničenje kod primjene ovakvih regala leži u krhkosti materijala kojeg se skladišti. Naime, ako je materijal skladištenja previše krhak, međusobnim guranjem jediničnih tereta u nazad može doći do loma i oštećenja materijala koji se skladišti. To se eventualno može spriječiti korištenjem kvalitetnije ambalaže ili raznih plastičnih, metalnih ili drvenih kutija kao sredstava za oblikovanje jediničnih tereta. Slika 5 prikazuje dvostruki „ push back “ protočni regal.



Slika 5. Dvostruki „ push back “ protočni regal

Dvostruki „ push back“ protočni regali su vrsta protočnih regala koji se koriste za uskladištenje samo dvije palete sa jediničnim teretima po dubini skladišne lokacije. Uskladištene palete sa jediničnim teretima su smještene jedna do druge na taj način da jedna paleta gura drugu paletu prema rubu skladišne lokacije koristeći pritom gravitacijsku silu. Police regala su nagnute za par stupnjeva prema skladišnom prolazu, kako i jedna paleta mogla gurati drugu prema prolazu koristeći masu koju ima jedinični teret. Kutovi su obično veličine  $1^{\circ}$  do  $2^{\circ}$ , a svaki regal po svojoj dužini ima graničnik (štitnik) na prednjem (ulaznom) dijelu skladišnih lokacija koji sprječava ispadanje paleta sa jediničnim teretom u međuregalni prolaz.

Protočni „ push back “ regali dvostrukih dubina korišteni su pri projektiranju VNA i AS/RS skladišnih sustava u 5. poglavlju ovog rada.

### 3.2.5. Skladišta sa pokretnim regalima

Pokretni regali su skladišni regali koji se koriste u skladišnim sustavima koji zahtijevaju da se jedinični teret za vrijeme pohranjivanja u regalu prevozi ili doprema s jednog mjesta skladišnog sustava na drugo. Razlikuju se dva osnovna tipa pokretnih regala:

a) Prijevozni regal – regal koji je gotovo jednake izvedbe kao i paletni ili polični regal, a jedina razlika je u tome što su prijevozni regali postavljeni na velik pokretna postolja koja omogućuju gibanje čitavog regala. Pokretanje čitavog regala ostvareno je nekim motornim pogonom i mehanizmom za pomicanje regala (lakše izvedbe poličnih prijevoznih regala mogu biti izvedene s ručnim pogonom, npr. za arhive, u knjižnicama, i dr.)

b) Optočni regal – sastavljeni su od polica za odlaganje jediničnih tereta, a gibaju se kružno. Ovaj tip pokretnih regala može biti u vodoravnoj izvedbi, te ih se naziva karuselima, ili u okomitij izvedbi, pa ih se naziva Paternoster-regalima.

Ovakvi regali se često koriste u automatiziranim skladišnim sustavima, pogotovo kada se želi ostvariti pristup robe čovjeku. Vrsta materijala za skladištenje su često razni rezervni dijelovi, alati i slično koji ne zahtijevaju preveliku količinu materijala potrebnu za skladištenje.

### 3.3. Visokoregalna skladišta

Skladišni sustavi koji su projektirani tako da je fokus funkcioniranja sustava orijentiran na što veće iskorištenje treće dimenzije ( visine ) skladišnog objekta, sastavljeni su od visokih regala kao osnovne skladišne opreme za skladištenje jediničnih tereta. Visoki regali su sredstva za skladištenje gotovo jednaka kao i klasični regali, sa tom razlikom da je njihova posebnost upravo u visini tih regala, čime se postiže dodatno iskorištenje volumena unutrašnjosti skladišnog objekta i povećanje broja lokacija za odlaganje materijala, a s time, dakle, i kapaciteta skladišnog sustava.

Osnovna prednost ovih vrsta skladišnih sustava je upravo gore navedeno povećanje kapaciteta i iskoristivosti volumena skladišnog objekta, no također visokoregalne izvedbe skladišnih sustava imaju za posljedicu smanjenje jediničnih troškova skladištenja i jediničnih troškova održavanja skladišnog sustava. No, veličina investicije u ovakve skladišne sustave uzrok su tome da se ovakva skladišta koriste uglavnom u većim poduzećima, velikim distribucijskim skladišnim sustavima koji opskrbljuju veće geografsko područje, te u dobrostojećim poduzećima koja su procijenila isplativost ulaganja u ovakve sustave uz relativno brzi povratak kapitala i uložene investicije.



Naziv visokoregalnog skladišta dobivaju oni skladišni sustavi čija je visina instaliranih regala iznad 10 metara, a danas gornja granica visine takvih regala je negdje na oko 35 metara, što predstavlja kompleksan i visokoorganiziran (automatiziran) skladišni sustav. Također je važno naglasiti da su većina visokoregalnih skladišnih sustava danas uglavnom automatizirana i upravljana modernim računalnim sustavom. Slijedeća posebnost ovakvih sustava leži u načinu gradnje istih. Prilikom izgradnje ovakvih visokoregalnih skladišnih sustava, prvo se postavljaju samonosive regalne konstrukcije, a tek nakon što su regali postavljeni, formira se oko njih određeni skladišni objekt. Skladišni objekti kod visokoregalnih skladišnih sustava danas su uglavnom napravljeni od posebnih kompozitnih materijala i sendvič-konstrukcija od aluminijske i poliuretanske, ali i drugih materijala koji se odlikuju dobrom kvalitetom, optimalnom čvrstoćom, manjom masom i drugim svojstvima pogodnim za izgradnju skladišnog objekta.

Proces skladištenja jenčnih tereta u visokoregalne skladišne sustave može se opisati u dva osnovna potprocesa:

- a) skladištenje materijala u zoni visokih regala
- b) prijem i izdavanje materijala u primopredajnoj zoni.

Skladištenje materijala u zoni visokih regala je potproces koji je uglavnom automatiziran i podrazumijeva odlaganje i izuzimanje jediničnih tereta na skladišnim lokacijama u visokom regalu. Regali su posloženi u redove ili u blokove između kojih je prolaz. Pomoću transportne opreme i opreme za komisioniranje odvija se rukovanje materijalom. Često se koriste automatizirana transportna vozila, no nije rijetko da se primjenjuje poluautomatski pristup rješavanju problema komisioniranja, koji se u anglosaksonskoj literaturi naziva „Person – on – board“ , što znači da se na postolju dizalice nalazi čovjek koji vrši izuzimanje i odlaganje jediničnih tereta.

Drugi potproces u visokoregalnim skladišnim sustavima je proces koji se vrši u primopredajnoj zoni, a može se podijeliti u dva segmenta: prijem i komisioniranje. Taj potproces je ovdje važniji nego kod skladišnih sustava sa klasičnim regalima, upravo zbog velikog broja jedinica skladištenja i učestalosti skladištenja. Primopredajna zona je zona koja se nalazi uz zonu visokih regala, te sadrži podsustav konvejera i okretnih stolova kojima se osigurava raspoređivanje i transport jediničnih tereta.

Visokoregalni skladišni sustavi pogodni su za razne vrste materijala za skladištenje, te mogu uskladištiti velike količine materijala. U svrhu optimizacije ciklusa komisioniranja koriste se razne metode ( npr. ABC analiza ) i tehnike, te se uvode najnoviji sustavi za komunikaciju, upravljanje i nadzor ( npr. „ Voice technology “ i slično ). O automatizaciji, automatiziranim uređajima i opremi, automatskim podsustavima za komisioniranje i slično detaljnije će se govoriti u 4. poglavlju ovog završnog rada.

### 3.4. Skladišta sa uskim i vrlo uskim prolazima između regala

Pod pojmom uskih i vrlo uskih prolaza između regala smatraju se skladišni sustavi koji teže smanjenju nepotrebnog prostora unutar skladišnog objekta, kako bi se povećao kapacitet postojećeg skladišnog sustava ili smanjio predviđeni skladišni prostor pri projektiranju potpuno novog skladišnog sustava. U praksi se često koriste anglosaksonski nazivi i kratice za ovakve skladišne sustave koji se uvriježeno koriste i kod nas. „ NA “ ( Narrow aisle ) i „ VNA “ ( Very narrow aisle) kratice označavaju upravo takve uske i vrlo uske prolaze između regala unutar skladišnog sustava. U ovom poglavlju pod točkom 3.4.1. govoriće se o donošenju odluka o širini prolaza, a pod točkom 3.4.2. slijedi detaljniji opis ovakvih skladišnih sustava. Pod točkama 3.4.3. i 3.4.4. opisane su karakteristike, prednosti i nedostaci, kao i specifičnosti vezane za ovakve skladišne sustave.

#### 3.4.1. Donošenje odluka o širini prolaza

U posljednjih nekoliko desetljeća upravljanje i organiziranje skladišnih sustava se sve više fokusira na veće brzine odvijanja ciklusa komisioniranja i rukovanja materijalom. Još do nedavno su industrijska poduzeća skladištila zalihe u trajanju i do 6 mjeseci. Današnji trendovi pokazuju kako prosječno vrijeme koje materijal u obliku jediničnog tereta provede pohranjen u skladišnom sustavu negdje oko 2 tjedna. Poduzeća nastoje proizvoditi više, kako bi mogla opskrbljivati veće globalno tržište, no proizvedeni materijal više ne stoji na skladištu duže vrijeme, već se distribuira u sve kraćem roku. Na njegovo mjesto dolazi nova roba i novi proizvodi. Povećanje kapaciteta skladišta, te povećanje protoka materijala kroz skladišni sustav današnje su tendencije pri projektiranju novih ili rekonstrukciji postojećih skladišnih sustava.

Određivanje optimalnog prolaza između skladišnih regala, unutar skladišnog objekta, kritičan je dio pri projektiranju skladišnog sustava, o kojem ovise performanse skladišta i ukupna strategija skladištenja i komisioniranja. Širina prolaza bi trebala biti takva da uvjetuje najbolju kombinaciju produktivnosti, iskoristivosti skladišnog prostora, fleksibilnosti, sigurnosti, te troškova opreme i specifičnih uređaja u skladišnom sustavu. Pretpostavka kod postojećih skladišnih sustava da je širina prolaza koja se do sada uvijek koristila ujedno i optimalna za neki postojeći tip skladišnog sustava, može biti skupa pogreška. Naime, određivanje optimalne širine prolaza je ono što može pridonijeti poboljšanju funkcioniranja skladišnih procesa u skladišnom sustavu, te stvoriti dodatne uštede u financijskom kontekstu.

Osnovna ograničenja pri određivanju optimalne širine prolaza između regala u postojećem skladišnom sustavu sadržana su u dva osnovna faktora:

1. karakteristike transportnih sredstava (viličara) koja se koriste u skladišnom sustavu
2. karakteristike jediničnog tereta (materijala) kojim se rukuje

Ako se ne mogu postići velike promjene vezane za karakteristike jediničnih tereta kojim se rukuje, što je uglavnom slučaj u većini postojećih skladišnih sustava, onda jedino što preostaje je razmotriti mogućnosti nabavke nove ili prilagodbe karakteristika postojećih transportnih sredstava, odnosno, viličara.

#### 3.4.2. Tipovi međuregalnih prolaza s obzirom na širinu

Tipovi prolaza između regala unutar skladišnih sustava s obzirom na njihovu širinu izravno se odnose na tipove i izvedbe transportnih sredstava (viličara) i njihove karakteristike. Prema širini prolaza razni proizvođači transportnih vozila konstruiraju viličare kako bi mogli obavljati svoju funkciju u skladišnom sustavu, a uglavnom ih se klasificira prema vrsti prolaza u tri osnovne grupe:

- a) Široki prolaz između regala
- b) Uski prolaz između regala
- c) Vrlo uski prolaz između regala

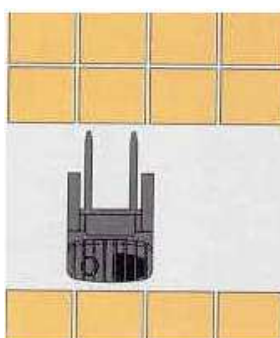
a) Široki prolaz „WA“ (Wide aisle) između regala unutar skladišnog sustava predstavlja prolaz za standardne izvedbe transportnih sredstava (viličara), kojim se kreću viličari uobičajenih dimenzija. Širine ovakvih prolaza uglavnom se kreću oko 3,5 metara, a dubine lokacija za skladištenje jediničnih tereta su oko 1,2 metra. ( Slika 6.a )

b) Uski prolaz „NA“ (Narrow aisle) između regala unutar skladišnog sustava je prolaz širine 2 do 3 metra, a jedinični tereti mogu biti i dvostruke dubine. Prema ovim dimenzijama se konstruiraju viličari za obavljanje funkcija u uskim prolazima između regala. ( Slika 6.b )

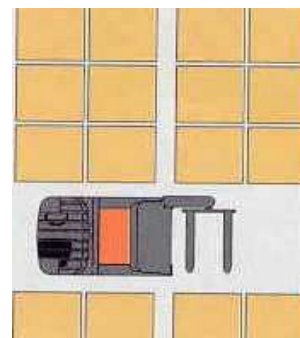
c) Vrlo uski prolaz „VNA“ (Very narrow aisle) između regala unutar skladišnog sustava je prolaz maksimalne širine do 1,8 metra, a viličari konstruirani za operiranje u ovakvim skladišnim sustavima uglavnom koriste razne izvedbe podsustava za navođenje koji mogu biti žice, tračnice ili adekvatni optički senzori. ( Slika 6.c )



Slika 6.a Široki prolaz



Slika 6.b Uski prolaz



Slika 6.c Vrlo uski prolaz

### 3.4.3. Uštede prostora kod NA i VNA skladišnih sustava

Primjenom usko prolaznih (Narrow aisle) i vrlo usko prolaznih (Very narrow aisle) skladišnih sustava mogu se postići uštede u veličini skladišnih prostora za traženi kapacitet pri projektiranju novog skladišnog sustava, odnosno, za postojeći skladišni sustav se kapacitet skladišta može povećati kako bi se skladištilo više jediničnih tereta.

Procjena uštede prostora, odnosno, povećanja kapaciteta, određuje se na temelju više utjecajnih faktora koje valja uzeti u obzir. Ti faktori su sljedeći:

- specifikacija vozila
- veličina jediničnog tereta
- težina jediničnog tereta
- dimenzije skladišnih lokacija
- faktori održavanja skladišta

Faktori koji utječu na održavanje skladišnih sustava su faktori poput dimenzije skladišnog objekta, struktura skladišnog sustava i potpora održavanju skladišnog objekta, uređaji za čišćenje, sanitarne prostorije i slično.

Kako bi se okvirno prikazalo koliki postotak uštede u prostoru, odnosno, za koliko bi se mogao povećati kapacitet postojećeg skladišnog sustava, kao primjer će se uzeti skladišni regal dimenzija skladišnih lokacija 800 x 1200 mm koji može nositi jedinični teret ukupne težine do oko 10 kN. Ako bi se ovakav tip skladišnog regala koristio u standardnim izvedbama skladišnih sustava sa širokim prolazom (oko 3,5 metara), tada bi takav skladišni sustav imao neki definiran kapacitet i protok materijala kroz skladište, prema zahtjevima za koje je projektiran.

Često se puta u eksploatacijskom vijeku skladišnog sustava javlja potreba za unaprjeđenjem, rekonstrukcijom i poboljšanjem skladišnog procesa. Nerijetko, glavni problem koji se javlja kod industrijskih skladišta vezan je za povećanje produktivnosti poduzeća što zahtjeva i

veće kapacitete skladišta sirovina i skladišta gotovih proizvoda. Kako bi se povećali postojeći kapaciteti skladištenja i osigurale veće količine uskladištenog materijala, najpogodniji način je rekonstruirati skladišni sustav u sustav sa užim prolazima između regala.

Uvođenjem skladišnog sustava sa uskim prolazima ( Narrow aisle ) između regala za gore navedeni primjer regala, mogu se ostvariti uštede u prostoru, odnosno, može se uskladištiti od 20 do 25 % više materijala u istom skladištu. Ako bi se išlo na još veće povećanje kapaciteta, tada bi se uvođenjem vrlo uskih prolaza (Very narrow aisle) između skladišnih regala, moglo uskladištiti i od 40 do 50 % više skladišnog materijala. Iako ovakve racionalizacije skladišnih sustava ne traže puno financijskih sredstava, ipak se određena količina sredstava mora investirati u nova transportna sredstva, kao i u sustave za navođenje, ako se radi o vrlo uskim prolazima između skladišnih regala.

#### 3.4.4. Produktivnost, fleksibilnost, sigurnost i troškovi kod VNA skladišnih sustava

Iako uštede u prostoru, odnosno povećanje kapaciteta pojedinog skladišnog sustava primjenom užih prolaza između regala predstavlja cilj pri projektiranju i rekonstrukciji skladišnih sustava, to ne znači da je uvijek poželjno uvesti uske ili vrlo uske prolaze između regala skladišnog sustava.

Široki prolazi (Wide aisle) između regala imaju svoje prednosti. Fleksibilnost pri izuzimanju i odlaganju paleta i niži troškovi investiranja u opremu osnovna su prednost takvih skladišnih sustava. Standardni viličari uobičajenih dimenzija i brzine transporta unutar skladišnog sustava koji mogu transportirati i teže teret, također mogu koristiti i razne prikolice i dodatnu opremu ukoliko je potrebno transportirati veće narudžbe i veće količine materijala. Kod skladišnih sustava sa širokim prolazom između regala moguće je skladištiti i različite jedinične terete različitih dimenzija i težine, što doprinosi ukupnoj fleksibilnosti ovakvog skladišnog sustava. Osnovni nedostatak je manji kapacitet skladišnog sustava.

Uski prolazi (Narrow aisle) između regala osiguravaju veću gustoću skladišta uz niže troškove investiranja u opremu, što izravno utječe na povećanje kapaciteta skladišnog sustava. Mogu se primjenjivati i viličari namijenjeni za odlaganje i izuzimanje jediničnih tereta na nešto većim visinama, za visoke regale. Nedostaci ovakvog skladišnog sustava su niže transportne brzine u odnosu na široko prolazna skladišta, duže vrijeme odlaganja i izuzimanja jediničnih tereta, te transportiranje manjih količina materijala (manje narudžbe) nego kod skladišta sa širokim prolazima (viličar ne koristi prikolice). Nedostaci se mogu umanjiti ukoliko se koriste razni senzori za određivanje visine, te senzori za nadzor kretanja kako nebi došlo do sudara ili oštećenja transportnog vozila, regala ili jediničnog tereta. Također, treba obratiti pažnju i na sigurnost i zaštitu operatera koji upravlja transportnim sredstvom ili obavlja proces komisioniranja.

Vrlo uski prolazi (Very narrow aisle) između regala znače još veću gustoću materijala u skladištu, kao i još veće povećanje kapaciteta skladišnog sustava. Zbog veće gustoće moguće je ostvariti i brži pristup skladišnim lokacijama. Također je moguće koristiti i visoke regale. Kod VNA skladišnih sustava nužno je imati instalirane dodatne senzore i podsustave za navođenje transportnih vozila jer se pomoću njih osigurava točnost kretanja vozila, te je moguće ostvariti i veće brzine transporta. Najveći nedostatak VNA skladišnih sustava su investicijski troškovi uloženi u odgovarajuću opremu kako bi se osigurala finije tolerancije i manja odstupanja u procesu skladištenja. Kao i kod uskih prolaza, ovdje se također ne koriste razne prikolice na transportnim vozilima, te je kapacitet transportnog vozila ograničen i nešto niži. Ovakvi skladišni sustavi češće predstavljaju neki novi projekt ( novi skladišni sustav), nego rekonstrukciju postojećih skladišnih sustava u svrhu prenamjene u VNA. Kod ovakvih skladišnih sustava potrebno je omogućiti kvalitetnu zaštitu i visok stupanj sigurnosti radnika. Osnovni nedostatak – visoke investicije – zapravo nije toliko neprihvatljiv, pogotovo iz razloga što se ta investicija ubrzo pokaže kao dobra strategija za smanjenje troškova sustava, te za povećanje produktivnosti skladišta. Povrat investicijskih troškova je ostvariv u relativno kratkom vremenskom razdoblju.

Donošenje odluke o širini prolaza vezano je za pojedini skladišni sustav, te o konkretnim potrebama i traženim performansama skladišnog sustava. Prije donošenja odluke o širini prolaza treba dobro ocijeniti stanje u sustavu kako bi se mogao naći što optimalniji kompromis između zahtjeva za fleksibilnost, produktivnost, troškove, kapacitete i sigurnost. Određivanje širine prolaza nije jednostavan problem, te traži određeni angažman i vrijeme za dobar proračun, ali u konačnici može osigurati bolje karakteristike i performanse skladišnog sustava.

### 3.5. Transportna sredstva kod VNA skladišnih sustava

I kod skladišnih sustava sa uskim prolazima između regala, i kod VNA skladišnih sustava moraju se koristiti transportna vozila koja su prilagođena za obavljanje procesa komisioniranja u užim prolazima od uobičajenih. Transportna vozila prilagođena radu u VNA skladišnim sustavima razlikuju se od standardnih viličara u više osobina.

Osnovna razlika je u konstruiranju samog vozila koje mora biti prilagođeno radu u uskim i vrlo uskim prolazima na takav način da dimenzije viličara odgovaraju širini prolaza između skladišnih regala. Sljedeća, možda i značajnija razlika je u samom operativnom dijelu i načinu rada tog transportnog vozila. Budući da u tako uskim prolazima nema dodatnog prostora za okretanje vozila u prolazu, odlaganje i izuzimanje paleta mora se obavljati na drugačiji način nego kod standardnih tipova viličara. Kod standardnih tipova viličara vozilo se kreće paralelno uz skladišne regale unutar prolaza, a kada dođe do određene skladišne lokacije u prolazu između regala vozilo se okreće u okomiti položaj u odnosu na regal, kako bi se moglo izvršiti odlaganje (ili izuzimanje)

jediničnog tereta u skladišnu lokaciju (ili iz skladišne lokacije). Vilice viličara u standardnoj izvedbi su smještene u produžetku samog transportnog vozila i fiksno su orijentirane u smjeru kretanja vozila prema naprijed. Kako kod viličara prilagođenih za rad u uskim prolazima između regala nema dovoljno prostora za okomito okretanje čitavog transportnog vozila prema regalima, odlaganje (ili izuzimanje) jediničnog tereta u skladišnu lokaciju (ili iz skladišne lokacije) mora se obavljati u istom položaju u kojem se vozilo kreće kroz prolaz između regala, dakle, paralelno. Budući da vilice transportnog vozila ne mogu više biti fiksno orijentirane samo u smjeru gibanja vozila prema naprijed, kod prilagođenih tipova viličara vilice su postavljene okomito na smjer gibanja vozila prema naprijed, te se prema potrebi prilikom procesa komisioniranja mogu pomicati lijevo i desno kako bi se mogla zahvatiti ili ispustiti paleta sa jediničnim teretom.

Slika 7.a prikazuje tip viličara za široke prolaze, a slika 7.b prikazuje tip viličara sa zakretnim vilicama za VNA skladišta.



Slika 7.a Viličar za široke prolaze



Slika 7.b Viličar za VNA skladišta

Osim što postoje prilagodbe viličara za određene širine prolaza između regala, također postoje tipovi viličara prilagođeni za rad na većim visinama, posebice kod visokoregalnih skladišta. Odvijanje procesa odlaganja i izuzimanja na većim visinama zahtjeva i drugačiji način rada viličara. Tada se uglavnom koriste izvedbe viličara koje imaju mogućnost da se zajedno sa jediničnim teretom na vilicama gore i dolje kreće i operater na postolju koji upravlja viličarom preko kontrolne ploče sa komandama. Tada je moguće i ručno komisioniranje ako se radi o manjim jediničnim teretima u kutiji manjih težina kako bi operater mogao rukovati materijalom. Na slici 7.b prikazan je primjer jednog takvog viličara.

Ponekad se javlja potreba za komisioniranjem većih narudžbi za koje je potrebno korištenje razne dodatne opreme poput košara ili kolica, a kako je prethodno objašnjeno, kod uskih prolaza korištenje takve opreme je nemoguće. Iz tog razloga konstruktori transportnih sredstava za rad u skladišnim sustavima sa užim prolazima konstruiraju tipove viličara koji imaju prošireno mjesto za odlaganje materijala pri transportu. Zajedno sa takvim postoljem uglavnom se kreće i

operater sa komandnom pločom koji ujedno može ručno obavljati i odlaganje, odnosno izuzimanje, ako se radi o manjim i lakšim teretima. Primjer jednog takvog vozila prikazuje slika 8.



Slika 8. Viličar sa proširenim postoljem

Radi postizanja većih brzina, povećanja sigurnosti i osiguravanja točnosti prilikom kretanja transportnog vozila kroz prolaze između regala unutar skladišnih sustava, koriste se sustavi za vođenje. Sustavi za vođenje transportnog vozila kroz prolaze između regala mogu biti izvedeni na razne načine. Uglavnom se koriste sustavi na principu mehaničkog vođenja, te sustavi na principu žičanog vođenja transportnih vozila.

Sustavi mehaničkog vođenja transportnih vozila funkcioniraju na taj način da unutar prolaza kojim se kreće transportno vozilo postoje tračnice koje su fiksirane uzduž regala, a transportno vozilo ima ugrađen sustav kotačića za navođenje vozila po predviđenim tračnicama. Ovakav sustav se također može koristiti prilikom zahvata palete na najnižoj skladišnoj lokaciji, jer omogućava zahvat palete smještene direktno na pod. Slika 9 . prikazuje mehanički sustav vođenja.

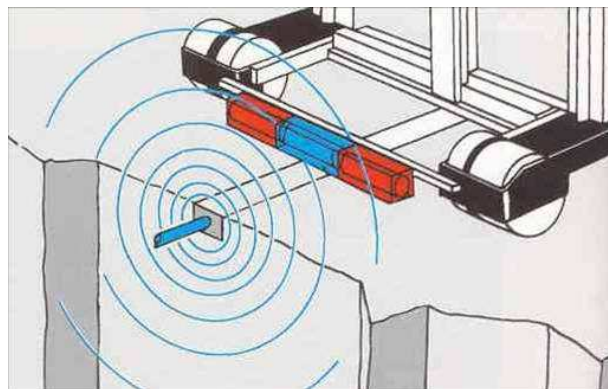
Sustav žičanog vođenja transportnog vozila temelji se na elektromagnetskoj indukciji koja se javlja prilikom prolaska slabe struje kroz žicu. Žica je smještena u podu (ili utoru na podu) i to po sredini prolaza između regala. Transportno vozilo na svojoj prednjoj strani, također po sredini vozila, ima smješten elektromagnetski senzor koji prepoznaje poziciju instalirane žice u podu, te se na taj način odvija vođenje transportnog vozila. Slika 10. prikazuje žičani sustav vođenja.



Sigurnije i točnije navođenje što omogućuje veće brzine i uže prolaze, te minimalne zahvate održavanja prednosti su mehaničkog sustava vođenja, a kod žičanog sustava nije potrebno instalirati nikakve tračnice, te je žičani sustav prihvatljiviji za veća skladišta i duže prolaze između regala.



Slika 9. Mehanički sustav vođenja



Slika 10. Žičani sustav vođenja

## 4. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI

Automatizirani skladišni sustavi ( AS/RS ) su skladišni sustavi koji funkcioniraju tako da se osnovni procesi u skladišnom sustavu odvijaju na potpuno automatiziran način, bez čovjekovog fizičkog djelovanja i obavljanja skladišnih procesa. Čovjekova funkcija u automatiziranom skladišnom sustavu svodi se na održavanje tehničkih elemenata sustava i nadzor glavnog upravljačkog računala koje nadzire osnovne skladišne procese i samostalno upravlja sustavom. Prema literaturi logističke organizacije MHIA (Material handling industry of America ) iz SAD-a, definicija automatiziranih skladišnih sustava je slijedeća: „ Pojam AS/RS ( Automated storage / retrieval system) obuhvaća razne izvedbe (metode) računalom upravljano automatizirano odlaganje i izuzimanje iz skladišnih lokacija. “ U užem smislu AS/RS je sustav regala, od kojih svaki red ima svoju jedinicu ( dizalicu ) za odlaganje, odnosno, izuzimanje koja se kreće vertikalno i horizontalno uzduž prolaza između regala odlažući i izuzimajući terete.

Automatizirani skladišni sustavi imaju tri osnovne funkcije, a to su skladištenje, ulaz/izlaz jediničnih tereta u sustav, te komisioniranje. Postoje različiti tipovi izvedbe automatiziranih skladišnih sustava od kojih su najčešći ovdje nabrojani:

a) Crane-in-aisle S/RS – automatizirani skladišni sustavi sa dizalicom unutar prolaza (Crane-in-aisle) između regala. Prema vrsti, i dimenzijama jediničnih tereta postoje sljedeće vrste automatiziranih sustava sa dizalicom unutar prolaza između regala:

- unit-load AS/RS – za jedinične terete
- mini-load AS/RS – za manje dimenzije jediničnih tereta
- micro-load AS/RS – za jedinične terete vrlo malih dimenzija.

Kada se govori o skladišnim sustavima sa dizalicom unutar prolaza između regala, postoje još jedna vrsta takvih skladišnih sustava, no oni nisu potpuno automatizirani. Oni spadaju u grupu polu-automatiziranih skladišnih sustava. Radi se o sustavima sa dizalicama na kojima se nalazi čovjek – operater koji vrši izuzimanje. To su tako zvani „ Person-on-board S/RS “, spomenuti pod točkom 3.3. ovog završnog rada.

b) Horizontalni i vertikalni karuseli – vrste automatiziranih karusel regala.

c) VLMS - Vertical Lift Module System – automatizirani skladišni sustav koji se sastoji od dvije paralelene kolone s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice). Odlaganje, izuzimanje i transport (vertikalni) spremnika obavlja automatski uređaj (shuttle/extractor).

#### 4.1. Automatizirani skladišni sustavi sa dizalicom unutar prolaza tzv. „Crane –in-aisle AS/RS “

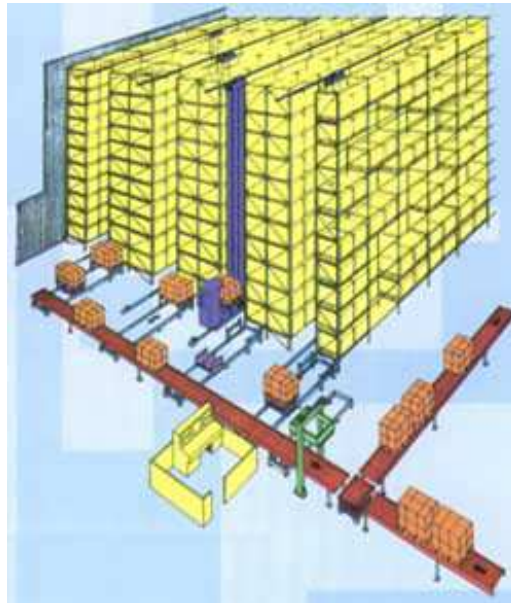
Automatizirani skladišni sustavi koji imaju automatizirane dizalice u međuregalnim prolazima, najčešći su primjeri AS/RS sustava u praksi. Naziv „Crane –in-aisle S/R system“ (sustav za odlaganje i izuzimanje sa dizalicom u prolazu) dolazi iz anglosaksonske literature, te se odnosi na automatizirane skladišne sustave koji za skladišne procese uskladištenja i izskladištenja, te sve ostale skladišne procese koji se odnose na automatizirano rukovanje materijalom, koriste samostalne uređaje – dizalice – koji služe kao transportno sredstvo za transport materijala unutar skladišne zone. Budući da se radi o potpuno automatiziranom sustavu, procesima skladištenja upravlja glavno računalo koje daje naredbe automatiziranim dizalicama i obrađuje informacije koje su vezane za jedinični teret (lokacija, masa, volumen, količina, težina, cijena i slično).

Osnovni skladišni procesi koji se obavljaju u automatiziranim skladišnim sustavima mogu se podijeliti u 3 osnovne skupine:

- procesi uskladištenja novih paleta u sustav
- procesi iskladištenja paleta iz sustava
- procesi komisioniranja u sustavu

##### 4.1.1. Automatizirani skladišni sustav za jedinične terete tzv. „Unit-load AS/RS “

Automatizirani skladišni sustavi za jedinične „Unit load AS/RS “ je vrsta skladišnog sustava sa automatiziranom dizalicom u međuregalnom prolazu koji se koristi za skladištenje jediničnih tereta oblikovanih na nekom sredstvu za oblikovanje. U većini slučajeva sredstvo za oblikovanje jediničnog tereta koje se koristi u ovakvim automatiziranim sustavima je standardizirana europaleta, poznatih i definiranih dimenzija. No, jedinični tereti u ovakvom automatiziranom skladišnom sustavu mogu biti oblikovani i pomoću plastičnih, drvenih ili metalnih sanduka koji imaju dimenzije palete 1200 x 800. Slika 11. prikazuje jedan standardni „Unit load AS/RS “ automatizirani skladišni sustav. Kako su visine ovakvih sustava od 10 pa i do 50 metara, u praksi se terminologijom na hrvatskom jeziku nazivaju automatizirana visokoregalna skladišta.



Slika 11. „ Unit load AS/RS “  
automatizirani skladišni sustav

Jedinični tereti se skladište u visokim regalima u lokacije koje jediničnom teretu odgovaraju po dimenzijama i nosivosti. Svaka lokacija u regalu ima sustav označavanja i prepoznavanja lokacije od strane dizalice, odnosno, upravljačkog računala. Najčešće su to razne oznake poput bar-kodova ili slično, koje se očitavaju sensorima smještenima na automatiziranim dizalicama.

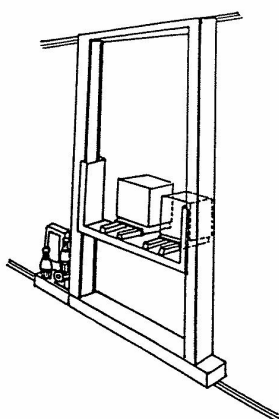
Princip rada ovakvih sustava temelji se na računalom upravljanoj automatiziranoj dizalici koja na temelju naloga kojeg je uputilo glavno računalo odlazi na zadanu lokaciju izuzima paletu na lokaciji i transportira paletu do sljedeće lokacije koja može biti bilo gdje u nekom od regala u međuregalnom prolazu ili pak na primopredajnoj stanici. Primopredajna stanica je mjesto na kojem se odlažu palete koje su ili upravo pristigle u skladišni sustav ili palete koje su predviđene za iskladištenje. Dizalice su, ovisno o konstrukciji, sposobne obavljati sve tipove skladišnih procesa ( jednostruke, dvostruke, trostruke...) koji su potrebni za normalno, optimalno i učinkovito funkcioniranje automatiziranog skladišnog sustava.

Osnovne komponente „ Unit load AS/RS “ automatiziranih skladišnih sustava koje omogućuju sustavu da funkcionira na traženi način su:

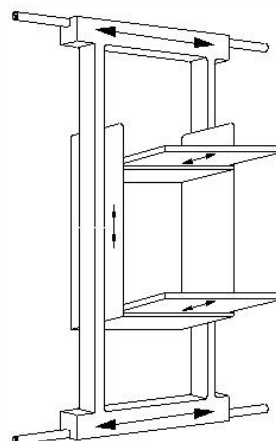
- automatizirana dizalica
- visoki regali
- primopredajne stanice
- protupožarni sustav
- ostalo (konvejeri, WMS, održavanje, klimatizacija...)

Automatizirane dizalice su osnovna komponenta u automatiziranom skladišnom sustavu. Upravo o automatiziranoj dizalici, njenim performansama, mogućnostima obavljanja zadataka, brzinama ( horizontalnim za transport duž prolaza i vertikalnim za podizanje, odnosno spuštanje tereta), iskoristivosti, cijeni i slično, ovisiti će čitavi sustav. Prema potrebi i zahtjevima za određeni automatizirani skladišni sustav izabire se i određena vrsta i tip automatizirane dizalice. Zahtjevi za automatizirani sustav definirani su u samoj konstrukcijskoj fazi izrade skladišnog sustava, a izraženi su često kao maksimalni protok sustava, dimenzije (visina) regala u sustavu, broj regala i međuregalnih prolaza i slično.

Postoje razne varijacije u izvedbi i konstrukciji automatiziranih dizalica. Ovisno o zahtjevima sustava, dizalice mogu imati jednu ili više vilica za zahvat jedne ili više paleta. O broju vilica koje ima automatizirana dizalica ovisiti će i složenost ciklusa, pa će dizalice sa većim brojem vilica moći obavljati i složenije skladišne cikluse (trostruke, četverostruke...). Ako dizalica ima više ugrađenih vilica, one mogu biti postavljene horizontalno jedna pored druge ili vertikalno jedna iznad druge. Broj vilica imati će veliki utjecaj i na cijenu pojedine automatizirane dizalice. Slike 12.a i 12.b prikazuju automatizirane dizalice sa više vilica.



Slika 12.a Automatizirana dizalica  
sa horizontalnim parom vilica



Slika 12.b Automatizirana dizalica  
sa vertikalnim parom vilica

Visoki regali koji se koriste u automatiziranim skladišnim sustavima ne razlikuju se puno po osobinama od regala, na primjer u VNA skladišnim sustavima, uz naznaku da je potrebno da svaka lokacija u regalu ima svoju oznaku ili bar-kod kako bi dizalica mogla prepoznati o kojoj se lokaciji radi. Konkretno, u AS/RS skladišnim sustavima skladišni regali su uglavnom viši od onih u VNA skladišnim sustavima jer dizalice mogu obavljati skladišne procese i na većim visinama ( npr. iznad 20 metara), što kod VNA sustava nije slučaj.

Primopredajne stanice u automatiziranim skladišnim sustavima također su komponenta bez koje skladišni sustav ne bi mogao ispravno funkcionirati. Primopredajne stanice služe za odlaganje i izuzimanje novih paleta koje dolaze u sustav ili starih paleta koje izlaze iz sustava. Često su kod

automatiziranih skladišnih sustava te primopredajne stanice povezane sustavom konvejera koji dopremaju ili otpremaju palete koje dolaze ili odlaze iz sustava.

#### 4.1.2. Automatizirani skladišni sustav za jedinične terete manjih dimenzija tzv. „ Mini load AS/RS “

Ako je jedinični teret manjih dimenzija nego kod „ Unit load AS/RS “ automatiziranih skladišnih sustava, onda se automatizirani sustavi za skladištenje takvih tereta nazivaju „ Mini load AS/RS “. Ovakav tip automatiziranog skladišnog sustava predviđen je za skladištenje jediničnih tereta mase od 50 do 250 kg. Jedinični tereti se uglavnom skladište u regale koji su konstruirani na taj način da se na skladišne lokacije odlažu kutije u kojima se nalaze jedinični tereti.

Ovakav „ Mini load AS/RS “ skladišni sustav je sustav u kojem se ostvaruje komisioniranje po principu „ roba čovjeku “. Skladišna zona u kojoj su uskladišteni jedinični tereti manjih dimenzija ponekad je odvojena pregradama, a čovjek komisioner se nalazi izvan skladišne zone na primopredajnim stanicama. U skladišnoj zoni se nalaze regali i automatizirane dizalice u međuregalnim prolazima koje su predviđene za procese skladištenja jediničnih tereta manjih dimenzija. Čovjek nadzire rad sustava kroz prozore na primopredajnim stanicama, ako je sustav ograđen pregradama, i upravlja pomoću računalnog sustava za upravljanje.

Dimenzije „Mini load AS/RS “ automatiziranog skladišnog sustava su određene dimenzijama jediničnih tereta koji se u njima skladište i zahtjevima za kapacitet i protok sustava. Kod klasičnih izvedbi „ Mini load AS/RS “ sustava dimenzija visine sustava se kreće od 3 do 15 metara. Duljina ovakvih skladišnih sustava su između 12 i 60 metara. U međuregalnim prolazima se nalaze automatizirane dizalice horizontalne brzine oko 2,5 m/s, a vertikalne brzine oko 0,6 m/s.

Klasične izvedbe „ Mini load AS/RS “ automatiziranih sustava imaju 2 reda regala, odnosno, jedan međuregalni prolaz unutar kojeg se nalazi jedna automatizirana dizalica. Na kraju međuregalnog prolaza nalaze se primopredajne stanice koje mogu biti odvojene pregradama radi sigurnosti komisionera. Komisioner – operater se nalazi na primopredajnim stanicama i uglavnom radi na dvije primopredajne stanice kako bi se smanjilo vrijeme čekanja da dizalica obavi jedan ciklus. Prednost rada na dvije primopredajne stanice leži u tome što operater obavlja izuzimanje ili odlaganje predmeta za skladištenje na jednoj primopredajnoj stanici za vrijeme dok automatizirana dizalice obavlja jedan skladišni ciklus orijentiran na drugu primopredajnu stanicu, čime se postižu uštede u vremenu. Dakle, osnovne komponente „ Mini load AS/RS “ automatiziranih sustava su:

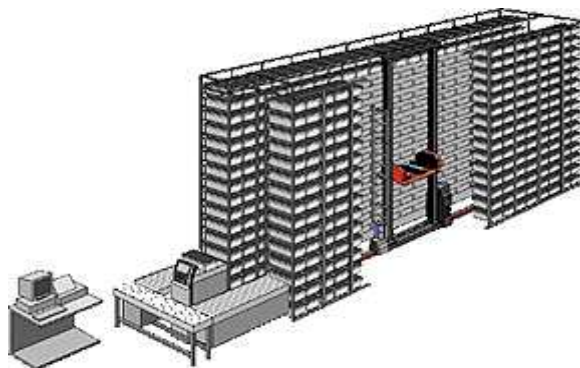
- jedan prolaz (dva regala)
- jedan komisioner
- dvije komisione lokacije

Ovakvi sustavi često imaju i podsustav konvejera na kojeg se odlažu spremnici sa predmetima skladištenja, te se pomoću tih konvejera dopremaju do primopredajnih stanica na kojima se nalaze operateri.

Osim opisane klasične izvedbe „Mini load AS/RS“ automatiziranih sustava postoje još i razne varijante u izvedbi ovakvih sustava. Neke od varijanti u izvedbi „Mini load AS/RS“ automatiziranih sustava su slijedeće:

- izvedba tzv. „konjske potkove“ – gdje se ulazni i izlazni „buffer“ nalazi na kraju svakog prolaza u obliku potkove.
- izvedba s konvejerima u zatvorenoj petlji – kontejneri iz svih prolaza dolaze do udaljenog mjesta za komisioniranje
- izvedba s dva ili više prolaza po komisioneru

Primjena „Mini load AS/RS“ automatiziranih sustava je različita i široka. Osim u distribucijskim skladištima, koriste se i u proizvodnim sustavima kao skladišta alata, rezervnih dijelova, poluproizvoda i slično. Slika 13. prikazuje jedan „Mini load AS/RS“ automatizirani sustav.



Slika 13. „Mini load AS/RS“ automatizirani skladišni sustav

#### 4.1.3. Automatizirani skladišni sustav za vrlo male jedinične terete tzv. „Micro-load AS/RS“

Ovakvi automatizirani skladišni sustavi su po izvedbi vrlo slični „Mini load AS/RS“ automatiziranim sustavima, opisanim pod točkom 4.1.2.. Osnovna razlika između ovih „Micro load AS/RS“ i „Mini load AS/RS“ automatiziranih skladišnih sustava je u dimenzijama i masi predmeta skladištenja, a iz toga proizlazi i razlika u dimenziji čitavog sustava.

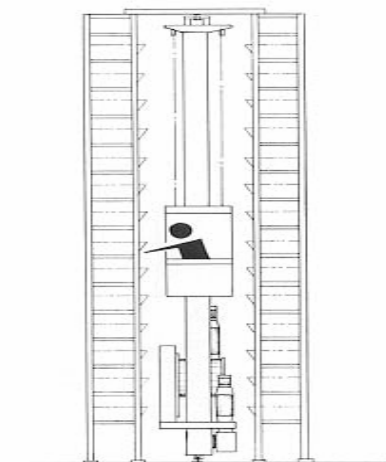
„Micro load AS/RS“ automatizirani skladišni sustavi su sustavi predviđeni za odlaganje i izuzimanje vrlo malih dimenzija i mase. Predmeti se odlažu u manje spremnike ili ladice čija ukupna masa ne prelazi 50kg. Primjena ovih automatiziranih skladišnih sustava široka, pa se mogu skladištiti manji rezervni dijelovi poput manjih vijaka, matica i slično.

#### 4.1.4. Poluautomatizirani skladišni sustavi tzv. „Person-on-board“ sustavi

„Person-on-board“ (hrv. „osoba na postolju“) je poluautomatizirani skladišni sustav koji u međuregalnom prolazu također ima automatiziranu dizalicu. Osnovna razlika kod ovakvih poluautomatiziranih skladišnih sustava i „Unit load AS/RS“ automatiziranih skladišnih sustava je u procesu komisioniranja. Naime, kod „Person-on-board“ poluautomatiziranih skladišnih sustava komisioniranje ( količina manjih od uskladištene jedinice ) obavlja čovjek, za razliku od „Unit load AS/RS“ automatiziranih skladišnih sustava, gdje se komisioniranje cijele uskladištene jedinice obavlja potpuno automatizirano od strane računalnom navođene dizalice.

Kao i kod „Unit load AS/RS“ automatiziranih skladišnih sustava i kod kod „Person-on-board“ poluautomatiziranih skladišnih sustava u međuregalnom prolazu se nalazi automatizirana dizalica kojom upravlja glavno računalo skladišnog sustava, međutim, ta dizalica nije konstruirana na način da može obavljati procese odlaganja i izuzimanja jediničnih tereta. Dizalica za „Person-on-board“ poluautomatizirane skladišne sustave ima postolje koje je konstruirano na takav način da se na njemu nalazi čovjek – operater, koji ručno vrši izuzimanje. Također, na postolju dizalice kod „Person-on-board“ poluautomatiziranih skladišnih sustava je predviđeno i mjesto, često ograđeno žičanom ogradom, na koje čovjek odlaže izuzete terete.

Također, treba naglasiti da osoba koja se nalazi na postolju dizalice u „Person-on-board“ poluautomatiziranom skladišnom sustavu ne upravlja radom dizalice, niti određuje lokacije na koje dizalica odlazi, već je to direktno upravljano računalnim podsustavom za nadzor i upravljanje skladišnim sustavom. Osoba na postolju dizalice odgovorna je samo za pravilno izuzimanje i odlaganje tereta na skladišnim lokacijama, a kada obavi svoj dio rada, pritiskom na tipku ( na postolju dizalice ) osoba potvrđuje da je obavila posao. Slika 14 prikazuje jedan „Person-on-board“ poluautomatizirani skladišni sustav. S obzirom na takav način rada, u njemačkom jeziku ovakve sustave nazivaju automatiziranim skladišnim sustavima za komisioniranje.



Slika 14. „Person-on-board“ skladišni sustav



## 4.2. Karuseli

Karuseli su automatizirani skladišni sustavi koje nazivamo dinamičkim skladišnim sustavima. Dinamički sustav skladištenja je sustav u kojem se skladišteni materijal nalazi u pokretnim spremnicima koji se kreću unutar skladišnog sustava. Karuseli su skladišni sustavi sa pokretnim regalima u kojima se ostvaruje princip komisiniranja „roba čovjeku“. Karuseli su klasificirani kao horizontalni karuseli i vertikalni karuseli.

### 4.2.1. Horizontalni karuseli

Horizontalni karuseli su automatizirani optočni ili okretni regali koji se sastoje od skladišnih odjeljaka – kolona – koji su mehanički povezani s pogonskim mehanizmom u zatvorenoj petlji. Svaka kolona dodatno je podijeljena na fiksni broj skladišnih polica. Odlaganje i izuzimanje može se vršiti ručno ili automatski.

Horizontalni karuseli od svog nastanka početkom 1960-ih do danas postali su jedan od najpopularnijih uređaja za skladištenje i izuzimanje, posebno u distribucijskim okruženjima. No, unatoč njihovoj mehaničkoj jednostavnosti, nisu smatrani glavnim faktorom na polju automatiziranih sustava sve do sredine 1980-ih.

Osnovne komponente horizontalnog karusela su sljedeće:

- Kolona je osnovni blok horizontalnog karusela. Broj kolona, visina, širina, dubina broj i razmak polica u koloni opisuju performanse karusela. Kolone su najčešće izrađene od čelične žice koja je jeftinija i lakša od lima. Pričvršćene su na dvije ili tri strane, i mogu biti i dodatno ojačane. Nakošene su unazad kako bi se spriječilo ispadanje robe zbog centrifugalnih sila koje se javljaju pri rotaciji karusela. Mogu biti različitih veličina, no ograničenje je da su na jednom karuselu sve kolone jednako velike. Širine se kreću između 350 – 1000 mm, a visine između 1500 – 3600 mm. Dubine variraju od 180 – 760 mm, a kapaciteti su im od 100 do 900 kg.

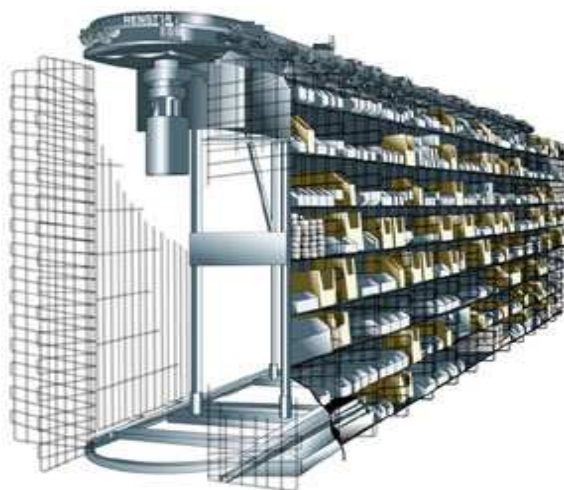
- Okvir i vodilice služe za nošenje kolona. Mogu imati pogon na vrhu ili u podnožju, što znači da se pogonske vodilice nalaze iznad ili ispod kolona. Vodilice su pričvršćene potpornjima, a kolone obješene na tračnice vođene su donjim vodilicama. Karuseli sa pogonom u podnožju nose teret na strukturi u podnožju uređaja, a također i na zaobljenim vodilicama zavarenim za okvir. U ovom slučaju, gornji okvir je pojačan potpornjima i sadrži gornje vodilice. Karuseli sa gornjim ili donjim pogonom imaju neke različite karakteristike, ali u distribuciji i proizvodnji su im karakteristike uglavnom iste

- Pogonski sustavi smješteni su na jednom ili oba kraja horizontalnih karusela, zavisno od ukupnog težinskog kapaciteta karusela. Dvostruki pogoni potrebni su u slučaju kad je skladišni materijal izuzetno velike mase. Uobičajena brzina karusela iznosi između 0,15 i 0,45 m/s. Pogon

horizontalnih karusela ima jedinstvene zahtjeve poput laganog pokretanja i zaustavljanja potrebnog kod računalom vođenog izuzimanja i robotskih aplikacija.

- Karuseli mogu biti elektronički upravljani na više načina. Nožni prekidač je najosnovniji način upravljanja, a rotiranjem karusela lijevo ili desno dolazi se do željene kolone. Pomoću tipkovnice operater jednostavno unese broj košare, a mikroprocesor izabire najkraći put i dovodi košaru. Računala imaju mogućnost raspodjele zahtjeva za izuzimanje na jedan karusel ili između više karusela s ciljem skraćanja vremena rotacije. Softver grupira zahtjeve kako bi iskoristila prednost upotrebe više karusela. Dok se iz jednog karusela obavlja izuzimanje, ostali se zakreću za manje udaljenosti da bi došli u slijedeću zaustavnu poziciju. Zbog tih mogućnosti brzina samog karusela je od malog značenja.

Primjene karusela češće su u skladištenju nego kod komisioniranju. Horizontalni karuseli često su korišteni kao skladišta velike gustoće sa niskim stropom gdje je korisniku bitna ušteda podnog prostora, zatim kao skladišta alata i zaliha, te skladišta za brzo sklapanje dijelova u proizvodnim postrojenjima. Slika 15. prikazuje horizontalni karusel.



Slika 15. Horizontalni karusel

#### 4.2.2. Vertikalni karuseli

Vertikalni karuseli su sustav skladištenja koji se sastoji od polica u zatvorenoj petlji rotirajući u vertikalnoj ravnini. Automatsko odlaganje i izuzimanje je moguće, no rjeđe nego kod horizontalnih karusela. Uvedeni su u primjenu početkom 50-ih godina 20 stoljeća kao sredstvo za skladištenje rolane robe, primjerice tepiha, a potom se primjenjuju i drugdje. Preko upravljačkih sustava mogu se povezati s korisničkim sustavom upravljanja skladištem (WMS-om). Više povezanih vertikalnih karusela može izvršavati narudžbe u distribucijskim centrima, gdje je obujam proizvoda za to pogodan.

Osnovne komponente vertikalnih karusela su:

- Police za skladištenje ( nosači ili spremnici), pričvršćene su za lanac konvejera. Standardna polica duboka je 300 do 840 mm, široka 2235 do 3556 mm, a visoka 130 do 710 mm. Nosivost polica kreće se između 150 i 750 kg po polici.

- Pogonski sustavi. Vertikalni karuseli mogu imati jednostruki pogonski sustav sa DC ili AC motorom ili dvostruki pogonski sustav sa AC motorom. Oba sustava mogu postupno podizati i spuštati police radi zaštite osjetljive robe.

- Upravljanje. Vertikalnim karuselima može se upravljati različitim kontrolnim sustavima i softverskim paketima. U osnovnom obliku, karusel se pokreće na željenu policu pritiskom na tipku upravljačke tipkovnice ili rotiranjem uređaja gore ili dolje. Značajno poboljšanje vertikalnih karusela nastalo je integracijom PC upravljanja skladištenim sadržajem i komunikacijskog softvera. Softveri za upravljanje i moduli za procesuiranje narudžbi postali su široko prihvaćeni 1980-ih.

Primjena vertikalnih karusela moguća je i na taj način da imaju više od jednog pristupnog otvora za odlaganje i izuzimanje. Zbog povezivanja više katova korisno je imati visoki uređaj koji povezuje katove, na primjer u objektima gdje se poslužuju mnogobrojni odjeli. Karuseli također mogu imati pristup i sprijeda i straga, ako se koriste kao protočni skladišni uređaji. Samostalni vertikalni karuseli su u početku dizajnirani za pohranjivanje laganih stvari poput elektroničkih komponenti, pričuvnih dijelova i alata, te dokumenta potrebnih za proizvodni proces. I danas imaju sličnu ulogu. Slika 16 prikazuje vertikalni karusel.



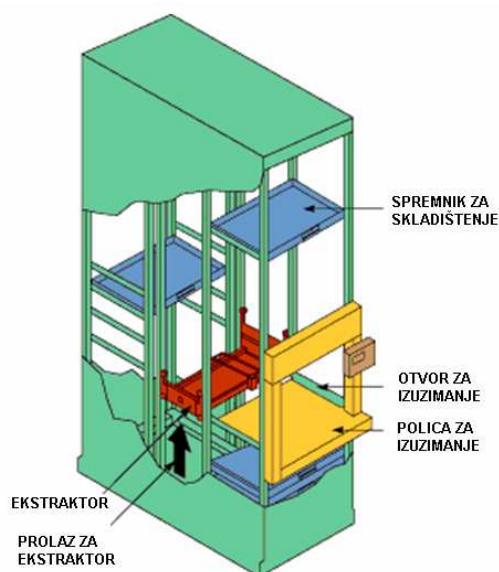
Slika 16. Vertikalni karusel

#### 4.3. Vertikalni podizni moduli

Vertikalni podizni moduli (*Vertical Lift Module*) su skladišni sustavi koji se sastoje od dvije paralelne kolone s fiksnim policama u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice). Odlaganje i izuzimanje spremnika obavlja automatski uređaj (shuttle/extractor), koji se elevatorom kreće vertikalno između kolona s policama. Vertikalni podizni moduli (VLM-i) uvedeni su 1970-ih. Proširenjem mogućnosti primjene rasli su i zahtjevi za novu generaciju VLM-a sa znatno većim težinskim kapacitetima, modernijim korisničkim rješenjima i povećanu radnu brzinu. Slika 17 prikazuje primjer vertikalnog podiznog modula sa osnovnim dijelovima.

Prednosti VLM-a su velika ušteda prostora (ovisno o visini stropa VLM može ostvariti uštede od 50 % do 80 % u odnosu na klasične police), ergonomičnost, povećana brzina izuzimanja i sigurnost skladištenja. Danas su VLM-i dizajnirani da budu fleksibilni, pogodni kako za male i lagane dijelove, tako i za teške i velike sirovine, poluproizvode i gotove proizvode. Mogu se povezati sa sustavom za upravljanje skladištem preko kontrolnih sustava i računalnih softvera. Osnovni dijelovi VLM-a su tri paralelna stupca. Prednji i stražnji stupac koriste se za skladištenje, te su opremljeni držačima koji funkcioniraju kao police za spremnike. Središnjim stupcem kreće se elevator sa napravom za odlaganje i izuzimanje spremnika (inserter/ekstraktor). Raspoloživi su kao neovisni moduli ili kao konfiguracije sa više ulaza:

- VLM sa jednim ulazom,
- Dvoulazni sustav s inserterom/ekstraktorom po svakom ulazu
- Četveroulazni sistem s inserterom/ekstraktorom koji može prelaziti između ulaza, što omogućava da se sadržaj VLM-a prenosi i razdjeljuje između pojedinih modula



Slika 17. Vertikalni podizni modul

Ušteda skladišnog prostora je prednost VLMS-a. Prednost je brži i jednostavan način da se iskoristi inače neupotrebljiv prostor u visini, a to znači smanjenje podnog prostora za skladištenje. Pohranjivanja spremnika s robom uz samo 25 mm razmaka omogućava veću gustoću nego klasični polični regali. Postrojenja koja nemaju posebno visok strop mogu iskoristiti sposobnost VLM-a za povezivanje katova. Nije neobično imati VLM koji se od prvog kata uzdiže 18 metara povezujući ostale katove. Povećana produktivnost ili smanjenje broja radnika ili njihova preorijentacija su rezultati uvođenja VLM-a.

## 5. PRIMJERI PROJEKATA KLASIČNIH I AUTOMATIZIRANIH SKLADIŠNIH SUSTAVA

U ovom poglavlju biti će predstavljeni primjeri projekata za usporedbu klasičnog i automatiziranog skladišnog sustava. Projektni zadatak predstavlja zahtjev naručitelja ili investitora za konkretni skladišni sustav. Kao rješenje projektnog zadatka, investitoru su ponuđene dvije verzije skladišnog sustava, odnosno, dva koncepta – projekt klasičnog skladišnog sustava i projekt automatiziranog skladišnog sustava – koji su u ovom radu razrađeni kao idejni projekti.

### 5.1. Projektni zadatak

Kao projektni zadatak u sklopu ovog završnog rada predložen je konkretan primjer skladišnog sustava koji treba biti projektiran kao idejni projekt. Koncept iz kojeg su uzeti temeljni podaci o projektnom zadatku je koncept kojeg je pripremio inženjer Howard Zollinger iz SAD-a, na zahtjev naručitelja. Zollinger je sastavio tzv. „White paper“ („Bijeli papir“) koji predstavlja okvirni prijedlog rješenja za distribucijsko skladište. U tom dokumentu naveden je projektni zadatak za kojeg se trebaju načiniti dva idejna projekta u dva moguća rješenja:

1. Projekt klasičnog skladišnog sustava
2. Projekt automatiziranog skladišnog sustava

Projektni zadatak sadržava opis i tražene karakteristike koje budući skladišni sustav mora sadržavati. Projektni zadatak obuhvaća informacije koje se odnose na veličinu skladišnog sustava, tražen kapacitete, zahtijevani protok materijala kroz skladište kao i osnovne funkcionalne značajke skladišnog sustava u smislu mogućnosti brzog komisioniranja, skladištenja rezervnih paleta sa jediničnim teretima i slično.

U sklopu projektnog zadatka navedeno je kako skladišni sustav treba imati dvije osnovne zone. Prva zona treba predstavljati prostor unutar skladišnog objekta, gdje će biti omogućeno brzo komisioniranje pojedinačnih kutija sa paleta, a druga zona predstavlja prostor unutar skladišnog objekta u kojem će se skladištiti čitave palete sa ne raspakiranim jediničnim teretima.

Prema zahtjevu naručitelja skladišni sustav treba imati takve funkcionalne karakteristike da je za brzo komisioniranje predviđeno 1632 palete na kojima će biti raspakirani jedinični tereti kako bi se mogle izuzimati pojedinačne kutije sa proizvodima. Prostor koji će biti predviđen za skladištenje paleta sa cjelovitim jediničnim teretima koji se neće raspakirati dok su uskladišteni u toj drugoj zoni, trebao bi biti toliko velik da se mogu uskladištiti 11 424 palete. Ukupni broj paleta

uskladištenih u skladišnom sustavu iznosi, dakle, 13 056 paleta, odnosno, skladišnih lokacija. Za skladištenje se koristi klasična europaleta dimenzija 1200 x 800 x 144 mm, ukupne nosivosti 1200 kg. Jedinični tereti koji su oblikovani na paleti su maksimalne težine 1200 kg. Svaka paleta ima i bar-kod i identifikacijsku oznaku sa dvije nasuprotne strane palete.

Sustav treba funkcionirati u 2 smjene, od kojih svaka ima 7,5 radnih sati. Tražena propusnost sustava izražena kao protok materijala kroz skladište iznosi 120 dvostrukih ciklusa po satu za popunjavanje skladišnih lokacija za brzo komisioniranje, te 120 ciklusa po satu za uskladištenje novo pristiglih paleta u skladišni sustav. Nakon obavljenog brzog komisioniranja kada se pojedina paleta isprazni, sustav može izbaciti 16 praznih paleta po satu iz skladišnog prostora.

Budući da je korišten koncept napisan u skladu sa anglosaksonskim normama, jedinicama i terminima, projekti moraju biti prilagođeni hrvatskim terminima, standardnom europskom ISO sustavu označavanja, te iskazan u adekvantnim mjernim jedinicama prema HRN i ISO normama.

Podaci:

Kapacitet:

- ukupni kapacitet: 13 056 paleta
- kapacitet za ručno komisioniranje: 1632 palete
- kapacitet za cjelovite jedinične terete: 11 424 palete

Paleta:

- standardna europaleta
- dimenzije: 1200 x 800 x 144 mm ( $d_p \times \check{s}_p \times v_p$ )
- nosivost : 1200 kg
- maksimalna težina jediničnog tereta: 1200 kg
- maksimalna visina jediničnog tereta bez palete:  $h_T = 1600$  mm

Sustav:

- 120 dvostrukih ciklusa
- 120 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija
- 120 jednostrukih ciklusa po satu za uskladištenje novih paleta
- 16 praznih paleta po satu izlazi iz sustava
- rad u 2 smjene
- 7,5 radnih sati po smjeni

## 5.2. Projekt klasičnog VNA skladišnog sustava

Kao projekt klasičnog skladišnog sustava prikazati će se idejni projekt visokoregalnog skladišnog sustava sa vrlo uskim prolazima između regala. Skladište je projektirano kao idejno rješenje, te neće biti detaljno obrađen svaki segment i podsustav cjelokupnog skladišnog sustava. Idejni projekt odnositi će se samo na skladišnu zonu u kojoj su smješteni regali i transportna sredstva, te se neće govoriti o načinu na koji se materijal doprema u skladište, zatim kako se vrši priprema jediničnog tereta, kako se obavlja odlaganje i izuzimanje paleta na mjesta za odlaganje izvan skladišne zone, kako se obavlja održavanje opreme i viličara i slično, jer to nije definirano u Zollingerovom projektnom zadatku.

### 5.2.1. VNA koncept

Visokoregalno skladište sa vrlo uskim (VNA) prolazima između regala zamišljeno je kao idejni projekt za klasičnu izvedbu skladišnog sustava. U ovom projektu širine prolaza između regala biti će podijeljene u dvije osnovne skupine ovisno o namjeni i svrsi određenog prolaza u skladištu. Kao je naglašeno u projektnom zadatku, Zollinger kao autor oba koncepta ( VNA i ASRS ) je predložio dolje navedeni koncept VNA skladišta.

Skladišni sustav projektirana kao VNA sustav u ovom konkretnom slučaju sadržavati će ukupno 12 prolaza. Kako je u projektnom zadatku traženo da se određeni broj paleta, odnosno skladišnih lokacija, predvidi za mogućnost brzog komisioniranja, svih 12 prolaza neće biti za istu namjenu.

Ukupno 8 od 12 prolaza između regala predviđeni su kao vrlo uski ( VNA ) prolazi unutar kojih će se kretati transportno vozilo – viličar. Tih 8 prolaza namijenjeni su za skladištenje u visoke regale ukupno 11 424 palete koje oblikuju cjelovite jedinične terete koji se neće raspakirati sve dok su uskladišteni u toj zoni. Palete sa cjelovitim jediničnim teretima koje će se skladištiti u regale između koji se nalazi vrlo uski (VNA ) prolaz, dalje u tekstu će se nazivati rezervne palete, a zona u kojoj su uskladištene rezervne palete sa cjelovitim jediničnim teretom nazivati će se rezervna zona. Širina prolaza namijenjenih za kretanje viličara između regala u rezervnoj zoni iznosi 1800 mm.

Preostalih 4 od 12 prolaza između regala namijenjeni su za funkciju brzog komisioniranja, te se u tim prolazima nalaze konvejeri na koje se odlažu kutije izuzete iz raspakirane palete sa jediničnim teretom. Komisioniranje se odvija po principu „ pick-to-belt “ što znači da se kutije izuzete sa palete ostavljaju na konvejer koji ih transportira od skladišne lokacije do kraja prolaza. Svaki od ta 4 komisiona prolaza ima po tri nivoa. Na svakom nivou se nalazi po jedan konvejer. Svaki nivo ima po jednu etažu duž regala na kojoj su smještene skladišne lokacije za palete sa



raspakiranim jediničnim teretima kako bi se moglo odvijati brzo komisioniranje. Komisioniranje se obavlja ručno tako da operateri koji se nalaze na svakom nivou u komisionom prolazu ručno izuzimaju kutije sa paleta za brzo komisioniranje i odlažu te kutije na konvejer koji ih transportira do kraja prolaza. Širina tih prolaza iznosi ukupno 2300 mm, što govori da to nisu vrlo uski ( VNA ) prolazi, već su namijenjeni isključivo za ručno komisioniranje. Budući da komisioni prolazi imaju tri nivoa, mogu se nazivati i komisioni tuneli zbog njihovog tunelskog izgleda.

- broj transportnih vozila:  $N_s = 8$

- broj prolaza :  $N_{p\_uk} = 12$

- broj prolaza za viličar:  $N_{p\_v} = 8$

- broj prolaza za komisioniranje:  $N_{p\_k} = 4$

### 5.2.2. Projektiranje VNA skladišnih regala

Skladišni regali potrebni za funkcioniranje ovog skladišnog sustava biti će dimenzionirani na temelju dimenzija paleta. Regali trebaju biti tako konstruirani da dimenzije skladišnih lokacija odgovaraju dimenzijama palete, ali da između paleta bude dovoljan razmak. Također je bitno da skladišne lokacije budu u dovoljno visoke da se omogući podizanje palete sa jediničnim teretom u samoj skladišnoj lokaciji kako bi se paleta mogla izuzeti ili odložiti.

#### Određivanje ukupnog broja regala:

Ukupni broj regala vezan je za broj prolaza. Kako je u konceptu navedeno, ovaj skladišni sustav imati će ukupno 12 prolaza. No, radi iskoristivosti transportnog vozila, uobičajeno je da se za svaki prolaz za posluživanje transportnim vozilom postave po dva regala, sa svake strane po jedan.

Broj transportnih vozila koji su predviđeni ovim konceptom iznosi ukupno 8, što znači da ima i toliko prolaza za viličare. Ako se prolaz formira tako da se sa svake strane postavi red regala koje može posluživati jedan viličar, onda bi regala za posluživanje viličarima bilo dvostruko više nego prolaza.

Ukupni broj prolaza:

$$N_{p\_uk} = N_{p\_v} + N_{p\_k}$$

$$N_{p\_uk} = 8 + 4 = 12$$

$$N_{p\_uk} = 12$$

Broj prolaza za viličare:

$$N_{p\_v} = N_{p\_uk} - N_{p\_k}$$

$$N_{p\_v} = 12 - 4 = 8$$

$$N_{p\_v} = 8$$

Broj regala koje poslužuju viličari:

$$N_{R\_v} = 2 \cdot N_{p\_v}$$

$$N_{R\_v} = 2 \cdot 8 = 16$$

$$N_{R\_v} = 16$$

Ukupan broj regala:

$$N_{R\_uk} = N_{R\_v} = 16$$

Pod točkom 5.2.3. detaljnije je objašnjeno zašto je ukupan broj regala jednak ukupnom broju regala koje poslužuje viličar.

#### Opis regala:

Kako je u konceptu predviđeno koristiti će se protočni „ push back“ regali dvostrukih dubina opisani u 3 poglavlju ovog završnog rada pod točkom 3.2.4. Jedan red regala smješten je sa jedne strane prolaza i podijeljen je u sekcije. Jedna sekcija regala predstavlja jedinični dio regala. Svaka sekcija regala sastoji se od etaža. Etaža predstavlja jednu razinu, nivo ili kat u jednoj sekciji regala. Svaka sekcija ima jednaki broj etaža, a svaki regal ( red regala ) ima jednaki broj sekcija.

Jedan red regala ima 34 sekcije sa po dvije paletne pozicije uzdužno na etaži, dakle, ukupno 68 pozicija uzduž regala. Sekcije su međusobno povezane veznikom visine 100 mm koji služi za pridržavanje 1200 kg teških paleta. Svaka sekcija ima po 6 etaža. Na svakoj etaži moguće je uskladištiti po dvije palete postavljene uzdužno (dvije pozicije) jedna do druge, te još dvije palete

u dubinu, jer se radi o protočnim regalima dvostrukih dubina. Dakle, na jednoj etaži moguće je uskladištiti ukupno 4 palete, a budući da u sekciji ima 6 etaža, moguće je uskladištiti 24 palete u jednoj sekciji. U jednom redu regala moguće je uskladištiti ukupno 816 paleta.

Budući da se radi o „ push back “ regalu, svaka skladišna lokacija nakošena je za par stupnjeva prema prolazu između regala, kako bi paleta u dubini regala mogla pogurnuti onu paletu koja je bliže prolazu. Budući da skladišni sustav ima dva tipa prolaza – za viličare i za komisioniranje – nisu sve skladišne lokacije nakošene na istu stranu. U komisionom prolazu postoje 3 nivoa, odnosno, 3 tunela u kojima se nalazi po jedan konvejer u svakom. Iz tog razloga u komisionom prolazu nisu sve etaže u sekcijama regala namijenjene za ručno komisioniranje. Samo prva, treća i peta etaža u komisionim prolazima predviđena je da se sa nje vrši brzo komisioniranje i izdvajanje pojedinačnih kutija sa raspakirnih jediničnih tereta na konvejer unutar tunela. Zato su regali konstruirani tako da su skladišne lokacije na samo prvoj, trećoj i petoj etaža regala uz komisione prolaze nagnute prema komisionim tunelima, a skladišne lokacije na drugoj, četvrtoj i šestoj etaži, kao i sve lokacije regala uzduž prolaza za viličare u rezervnoj zoni, su nagnute prema prolazima za viličare.

#### Dimenzije regala:

Na dimenzije skladišnog regala izravno utječu dimenzije palete, orijentacija paleta u skladišnoj lokaciji, te visina oblikovanog jediničnog tereta zajedno sa visinom palete. Potrebno je definirati međusobni uzdužni razmak između paleta uskladištenih u regal, ali i visinski razmak od vrha oblikovanog jediničnog tereta na paleti do vrha skladišne lokacije.

Kada se govori o dimenzijama skladišnog regala vrti će se o dužini (  $A$  ), širini (  $B$  ), kao i visini (  $C$  ) skladišnog regala. Dužina skladišnog regala je ona dimenzija regala koja je paralelna sa prolazom između regala. Ukupna dužina skladišnog regala je dužina reda regala, te se može uskladištiti ukupno 68 paleta uzduž regala koje su orijentirane na taj način da je duža dimenzija palete ( 1200 mm ) postavljena paralelno sa dužinom regala. Širina regala je ona dimenzija regala koja je okomita na dužinu regala i na položaj prolaza između regala. U širinu stanu ukupno 2 palete u regal, a dimenzija širine regala se paralelno poklapa sa kraćom dimenzijom palete ( 800 mm ). Visina regala je dimenzija regala okomita na pod skladišnog objekta i paralelna je sa visinom palete i visinom jediničnog tereta oblikovanog na paleti.

Orijentacija dimenzija skladišnih lokacija se razlikuju od orijentacije dimenzija regala zbog drugačije orijentacije skladišnih lokacija u odnosu na prolaz između regala. Kada se govori o dimenzijama skladišnih lokacija govori se o širini (  $a_L$  ), dubini (  $b_L$  ) i visini (  $c_L$  ) skladišnih lokacija. Širina skladišnih lokacija paralelna je sa prolazom između regala, a samim time je paralelna i sa dužinom regala i dužom dimenzijom palete ( 1200 mm ). Dubina skladišne lokacije predstavlja

polovicu širine regala, i okomita je na prolaz između regala. Visina skladišne lokacije je jedina dimenzija skladišne lokacije koja se u potpunosti poklapa sa visinom regala, te je okomita na pod skladišnog objekta.

Dužina skladišnih regala ( A ) proračunati će se tako da se odredi širina skladišne lokacije uzduž regala. Širina skladišne lokacije određuje se kao zbroj duže dimenzije palete i dodatka za uzdužni razmak između paleta uskladištenih u regalu. Ukupna dužina jednog reda regala je umnožak broja pozicija uzduž regala i širina skladišnih lokacija.

Duža dimenzija palete (dužina palete):

$$d_p = 1200 \text{ mm}$$

Uzdužni razmak između paleta u regalu:

$$e_d = 150 \text{ mm}$$

Širina skladišne lokacije:

$$a_L = d_p + e_d$$

$$a_L = 1200 + 150 = 1350 \text{ mm}$$

$$a_L = 1350 \text{ mm}$$

Broj pozicija (lokacija) u dužinu regala:

$$n_{LA} = 68$$

Ukupna dužina jednog reda regala:

$$A = a_L \cdot n_L$$

$$A = 1350 \cdot 68$$

$$A = 91\,800 \text{ mm}$$

Širina skladišnih regala ( B ) proračunati će se na temelju dubine skladišnih lokacija. Dubina jedne skladišne lokacije računa se kao zbroj kraće dimenzije palete ( širine palete ) i širinskog razmaka između paleta u regalu. Dubina skladišne lokacije predstavlja polovicu širine skladišnog regala.

Kraća dimenzija palete (širina palete):

$$\check{s}_p = 800 \text{ mm}$$

Širinski razmak između paleta u regalu:

$$e_s = 150 \text{ mm}$$

Dubina skladišne lokacije:

$$b_L = \check{s}_p + e_s$$

$$b_L = 800 + 150 = 950 \text{ mm}$$

$$b_L = 950 \text{ mm}$$

Broj pozicija (lokacija) u širinu regala:

$$n_{LB} = 2$$

Ukupna širina regala:

$$B = b_L \cdot n_{LB}$$

$$B = 950 \cdot 2$$

$$B = 1900 \text{ mm}$$

Visina skladišnih regala ( C ) se proračunava na temelju visine skladišne lokacije, no mora se dodati dodatak od poda do najniže skladišne lokacije  $e_{C1}$  i dodatak iznad regala  $e_{C2}$ . Dodatak od poda do najniže skladišne lokacije se dodaje radi omogućavanja klizanja paleta i radi ergonomskih uvjeta za komisioniranje, kako se operater ne bi morao jako sagibati. Dodatak iznad regala se

dodaje kako bi se definirala takozvana „svijetla visina“, iznad koje bi se mogla postavljati rasvjeta i sapnice za protupožarni sustav. Visina skladišne lokacije računa se kao zbroj visine jediničnog tereta bez palete, visine same palete, te dodatka za podizanje jediničnog tereta pri izuzimanju  $e_v$ . Slika 18a prikazuje dimenzije jediničnog tereta sa paletom, a slika 18.b prikazuje dimenzije skladišne lokacije.

Visina palete:

$$v_p = 144 \text{ mm}$$

Dodatak za visinu regala od poda do najniže skladišne lokacije

$$e_{C1} = 600 \text{ mm}$$

Dodatak iznad regala:

$$e_{C2} = 600 \text{ mm}$$

Dodatak za podizanje jediničnog tereta:

$$e_v = 156 \text{ mm}$$

Maksimalna visina jediničnog tereta bez palete:

$$h_T = 1600 \text{ mm}$$

Visina skladišne lokacije:

$$c_L = v_p + h_T + e_v$$

$$c_L = 144 + 1600 + 156 = 1900 \text{ mm}$$

$$c_L = 1900 \text{ mm}$$

Broj etaža (lokacija) u visinu regala:

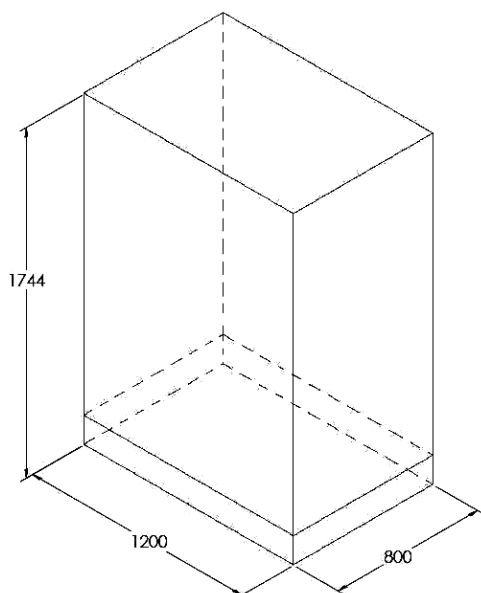
$$n_{LC} = 6$$

Ukupna visina regala:

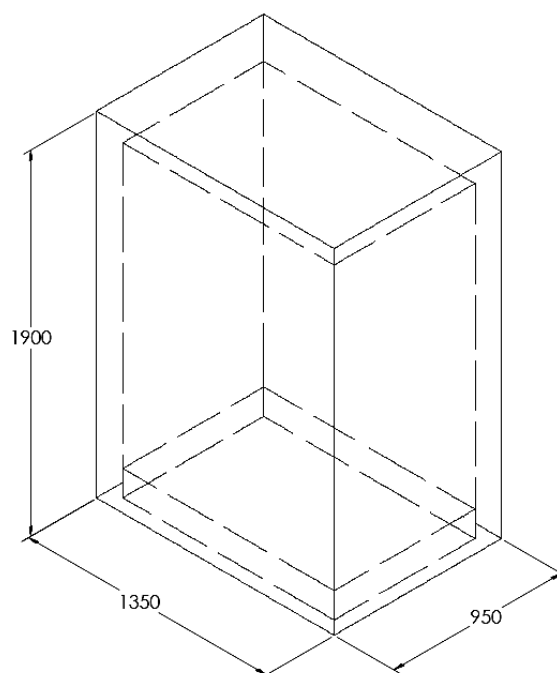
$$C = e_{C1} + c_L \cdot n_{LC} + e_{C2}$$

$$C = 600 + 1900 \cdot 6 + 600$$

$$C = 12\,600 \text{ mm}$$



Slika 18.a Dimenzije jediničnog tereta



Slika 18.b Dimenzije skladišne lokalacije

### 5.2.3. Grafički prikaz VNA skladišnog sustava

#### Raspored regala i formiranje prolaza u skladišnom objektu:

U prethodnoj točki ovog poglavlja određen je broj skladišnih regala na temelju broja prolaza između regala za kretanje viličara. Regala ima 16, a prolaza za viličare 8. No, kako je u projektnom zadatku traženo da postoje i skladišne lokalacije, odnosno regali, za ručno komisioniranje po principu „pick-to-belt“, potrebno je formirati još 4 prolaza za komisioniranje.

Ako bi u skladištu bilo samo 8 prolaza bez mogućnosti ručnog komisioniranja, onda bi bilo ukupno 16 regala, koji bi bili postavljeni tako da je desni regal u jednom prolazu postavljen odmah

do lijevog regala u slijedećem prolazu. Tada bi bilo 7 parova regala u kojima su regali postavljeni jedan do drugoga, a između parova bi bilo 6 prolaza za viličare. Preostali par regala odnosno, prostala 2 od ukupno 16 regala bili bi razdvojeni i postavljeni uz bočne zidove skladišnog objekta kako bi se moglo formirati još 2 prolaza. Sveukupno bi se tako formiralo samo 8 gore navedenih prolaza u skladišnom sustavu. Tako bi se moglo uskladištiti 13 056 paleta sa cjelovitim jediničnim teretima za rezervu.

Kako je u projektnom zadatku naglašeno da je od toga potrebno skladištiti 1632 palete za ručno komisioniranje, potrebno je formirati 4 komisiona prolaza. Komisioni prolazi nisu prolazi za viličare, već je njihova svrha osigurati skladišne lokacije za palete sa raspakiranim jediničnim teretima sa kojih će se obavljati izuzimanje kutija i njihovo odlaganje na konvejer duž komisionog prolaza ( tzv. „ pick-to-belt “ proces). Kako bi se formiralo još potrebna 4 prolaza, moraju se razdvojiti gore navedeni parovi regala. Od 7 parova regala, razdvojiti će se 4 para. Tako će ostati samo 3 para u kojima će regali biti postavljeni jedan do drugoga, a pri tome će se formirati i novih 4 prolaza za ručno komisioniranje.

Budući da se na gore opisan način formirala cjelokupna skladišna zona sa 8 prolaza za viličare i 4 komisiona prolaza, broj regala se nije promijenio. Ukupni broj regala  $N_{R_{uk}}$  u ovom skladišnom sustavu jednak je ukupnom broju regala u skladišnom sustavu u kojem postoje samo prolazi za posluživanje viličarima.  $N_{R_{uk}} = N_{R_{v}}$ .

Raspored regala je takav da su komisioni prolazi za ručno komisioniranje, promatrano s lijeva na desno, redom drugi, peti, osmi i jedanaesti prolaz, a ostali prolazi su predviđeni za viličare. Parovi regala postavljenih jedan do drugoga nalaze nakon trećeg , šestog i devetog prolaza.

VNA regal za ručno komisioniranje i VNA skladišni regal prikazani su na crtežima 3 i 4 u prilogu na kraju završnog rada u mjerilu 1 : 75. Crteži su rađeni u software-skom paketu AutoCAD 2004.

#### Dimenzije skladišne površine:

Dužina regala:  $A = 91\,800\text{ mm}$

Širina regala:  $B = 1900\text{ mm}$

Broj regala:  $N_{R_{uk}} = 16$

Širina prolaza za viličare:  $V = 1800\text{ mm}$

Broj prolaza za viličar:  $N_{p_{v}} = 8$

Širina komisionih prolaza:  $K = 2300\text{ mm}$

Broj prolaza za komisioniranje:  $N_{p_{k}} = 4$



Širina skladišnog prostora ( X ) je zbroj svih širina prolaza i svih širina regala.

$$X = N_{R_{uk}} \cdot B + N_{p_v} \cdot V + N_{p_k} \cdot K$$

$$X = 16 \cdot 1900 + 8 \cdot 1800 + 4 \cdot 2300 = 54\,000 \text{ mm} = 54 \text{ m}$$

$$X = 54 \text{ m}$$

Dužina skladišnog prostora ( Y ) mora biti veća od dužine jednog reda regala. U Zollingerovom konceptu predviđeno je da postoje dodatni prolazi na kraju regala i ispred regala. Prolaz na kraju redova regala koristio bi se za izlazak i okretanje viličara, a prostor ispred regala bio bi za manevriranje i uzimanje novih paleta za uskladištenje. Širina prolaza na kraju regala iznosila bi 4200 mm, a širina prolaza za manevriranje na prednjem dijelu iznosi 7000 mm.

$$p_1 = 4200 \text{ mm}$$

$$p_2 = 7000 \text{ mm}$$

$$Y = A + p_1 + p_2$$

$$Y = 91\,800 + 4200 + 7000 = 103\,000 \text{ mm} = 103 \text{ m}$$

$$Y = 103 \text{ m.}$$

Skladišna površina je umnožak širine i dužine skladišnog prostora.

$$P = X \cdot Y$$

$$P_{VNA} = 54 \cdot 103 = 5562 \text{ m}^2$$

Ukupna VNA skladišna površina:

$$P_{VNA} = 5562 \text{ m}^2$$

## Grafički prikaz

Grafički prikaz predstavlja tlocrt osnovnog skladišnog prostora u kojem se odvijaju osnovni skladišni procesi (usklađivanje, komisioniranje, popunjavanje). Tlocrt skladišnog prostora u kojem se nalaze skladišni regali i skladišni prolazi prikazan je na listu 1 tehničkih crteža u prilogu.

Skladišna zona je prikazana na papiru A3 formata na kraju završnog rada. Mjerilo prikaza tlocrta VNA skladišnog sustava je 1 : 400. Prikazani su tlocrti svih sekcija kojih ukupno ima 1088, što uz 6 etaža na svakome u visinu i po dvije skladišne lokacije u svakoj sekciji daje ukupni traženi broj skladišnih lokacija 13 056.

Crtež je rađen u software-skom paketu AutoCAD 2004.

### 5.2.4. Izbor transportnog sredstva kod VNA skladišnog sustava

Transportno vozilo za ovaj skladišni sustav izabrano je prema zahtjevima za performanse (dimenzije, brzina, nosivost) koje transportno vozilo mora imati, kako bi moglo obavljati skladišne procese prema Zollingerovom VNA konceptu.

Za obavljanje skladišnih procesa u ovom skladišnom VNA sustavu, izabrano je transportno vozilo, viličar proizvođača „Linde“ iz službenog kataloga proizvođača.

Osnovni tehnički podaci proizvođača relevantni za proračun skladišnih ciklusa i provjeru adekvatnosti vozila za ovaj skladišni sustav navedeni su u tablici 1.

Tablica 1. Tehnički podaci viličara Linde K-13

<b>Tehnički podaci</b>	<b>mjerna jedinica</b>	<b>Linde K-13</b>
Nosivost ( Q )	kg	1300
Minimalna širina prolaza Ast	mm	1720
Maksimalna visina podizanja	mm	12030
Brzina transporta ( $v_x$ max)	m/s	3,33
Brzina podizanja tereta ( $v_y$ max)	m/s	0,46

Budući da skladišni sustav ima 8 prolaza za viličare, biti će i 8 ovih transportnih vozila, istih performansi. Prema Zollingerovom konceptu, na tržištu se tražilo i odgovarajuće vozilo prema standardnim zahtjevima koje mora imati viličar za rad u VNA skladišnom sustavu. Kako bi se

donijela odluka o izboru vozila za traženi sustav mora se provesti barem osnovna provjera odgovarajućih dimenzija, nosivosti i brzina.

#### Provjera izabranog vozila zahtjevima sustava:

Sustav ima 8 prolaza širine  $V = 1800$  mm. Viličar Linde K-13 je predviđen za rad u prolazima minimalne širine  $A_{st} = 1720$  mm. Budući da je:

$$V = 1800 \text{ mm} > A_{st} = 1720 \text{ mm} - \text{izabrani viličar odgovara dimenzijama sustava!}$$

Maksimalna visina na koju viličar mora moći podignuti jedinični teret računa se na temelju dimenzija regala i skladišnih lokacija. Maksimalna visina je zbroj dodatka regalu od poda  $e_{C1} = 600$  mm i 5 visina skladišnih lokacija  $c_L = 1900$  mm. Radi točnosti proračuna može se u maksimalnu potrebnu visinu uračunati i dodatak za podizanje jediničnog tereta  $e_v = 156$  mm i visina palete  $v_p = 144$  mm. Maksimalna potrebna visina podizanja tereta računa se dakle prema relaciji:

$$C_{\max\_potr} = e_{C1} + 5 \cdot c_L + e_v + v_p$$

$$C_{\max\_potr} = 600 + 5 \cdot 1900 + 156 + 144 = 10\,400 \text{ mm}$$

Maksimalna visina podizanja tereta za viličar Linde K-13 je  $h_{28} = 12\,030$  mm

$$C_{\max\_potr} = 10\,400 \text{ mm} < h_{28} = 12\,030 \text{ mm} - \text{izabrani viličar odgovara dimenzijama sustava!}$$

Nosivost koja je predviđena Zollingerovim konceptom je 1200 kg. Nosivost predviđenog viličara Linde K-13 iznosi  $Q = 1300$  kg – izabrani viličar odgovara!

#### 5.2.5. Proračun skladišnih ciklusa u VNA skladišnom sustavu

Skladišni ciklusi u predviđenom VNA skladišnom sustavu dijele se na tri osnovna procesa. Prema Zollingerovom konceptu zamišljeno je da će skladišni sustav imati protok od 120 dvostrukih ciklusa, 120 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija i 120 ciklusa po satu uskladištenja novih paleta. Prema tome se i razlikuju skladišni ciklusi:

- a) dvostruki skladišni ciklus
- b) skladišni ciklus uskladištenja
- c) skladišni ciklus popunjavanja

Za svaki od navedenih ciklusa treba se proračunati vrijeme trajanja ciklusa za pojedino transportno vozilo i usporediti rezultate sa zahtjevima prema Zollingerovom konceptu. Proračun ciklusa vršiti će po metodi Bozer & White, kojom se dolazi do prosječnog vremena trajanja pojedinog skladišnog ciklusa.

#### a) dvostruki skladišni ciklus

To je ciklus skladištenja potpuno novih paleta s jediničnim teretima koje ulaze u sustav, ali i proces koji u sebi sadržava i popunjavanje. Popunjavanje se u ovom skladišnom sustavu odnosi na promjenu lokacije već uskladištene palete i to sa lokacije u regalu predviđenom za skladištenje rezervnih paleta na lokaciju u regale koji su predviđeni za ručno pick-to-belt komisioniranje u komisionim prolazima. Dvostruki skladišni ciklus će dakle imati sljedeće korake:

1. Izuzimanje novo pristigle palete sa primopredajne stanice na početku prolaza ispred regala
2. Transportiranje (vožnja) transportnim vozilom duž prolaza do prve prosječne lokacije u regalu
3. Odlaganje palete sa jediničnim teretom na rezervne lokaciju za rezervne palete u regalu
4. Vožnja do druge prosječne lokacije na kojoj se nalazi rezervna paleta predviđena za promjenu lokacije
5. Izuzimanje rezervne palete predviđene za promjenu lokacije
6. Rotacija palete na mjestu u samom prolazu
7. Uskladištenje palete na lokaciju u regalu za komisioniranje sa druge strane prolaza
8. Povratak viličara na poziciju kod primopredajne stanice

#### Proračun po metodi „Bozer & White“:

Proračun se temelji na zamijeni stvarnog regala fiktivnim jediničnim regalom čija je jedna dimenzija jednaka jedinici. Stvarni regal definiranih dimenzija duljine i visine (A, C) zamijeni se fiktivnim regalom dimenzija ( 1, Q ). Dimenzija Q se proračunava prema relaciji:

$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\}$$

, gdje je

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\}$$

Kada su poznate tražene fiktivne veličine Q i T za traženi regal, ukupno vrijeme vožnje do prosječnih lokacija se računa prema relaciji:

$$t_{vožnje} = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot Q^2 - Q^3] \cdot T$$

U ovo vrijeme vožnje uračunato je vrijeme vožnje od primopredajne stanice (p) do prve prosječno udaljene lokacije (x) u regalu, vrijeme vožnje od prve prosječno udaljene lokacije u regalu do druge prosječne lokacije u regalu (y), te vrijeme povratka sa druge prosječne lokacije (y') na primopredajnu stanicu (p). Druga prosječna lokacija (y) u regalu predstavlja ujedno i prosječnu lokaciju u komisionom regalu (y') s druge strane prolaza, jer kada viličar u 4 koraku dvostrukog ciklusa dođe do rezervne palete predviđene za promjenu lokacije, on nakon toga ostaje na mjestu i ne kreće se duž prolaza. Druga prosječna lokacija (y = y') u dvostrukom ciklusu je upravo ona koja se nalazi preko puta prazne lokacije u komisionom regalu na koju tek treba odložiti rezervnu paletu predviđenu za promjenu lokacije.

Kada viličar dođe na drugu prosječnu lokaciju obavlja se korak 4, 5 i 6. Dakle, na mjestu druge prosječne lokacije viličar vrši rotaciju u prolazu i odlaže paletu u praznu lokaciju u komisionom regalu sa druge strane prolaza (nema transporta duž prolaza, jer je to na istoj poziciji u prolazu). Između lokacija y i y' nema transporta, već postoji samo rotacija unutar prolaza. Radi pojednostavljenja proračuna pretpostavlja se da su lokacije y i y' na istoj poziciji u međuregalnom prolazu, iako to u praksi ne mora biti slučaj. Nakon 7 koraka, viličar se vraća na primopredajnu stanicu.

Pri opisu navedenih koraka u obzir su uzeta pojednostavljenja koji omogućuju brži i jednostavniji proračun, a pritom se ne čini velika pogreška. Također, ovdje se radi o idejnom projektu, a detaljniji i točniji proračun bio bi potreban u slučaju izvedbenog projekta.

$$t_{vožnje} = t_{p-x} + t_{x-y} + t_{y'-p}$$

$t_{p-x}$  – vrijeme vožnje od primopredajne stanice do prve prosječne lokacije

$t_{x-y} = t_{x-y'}$  – vrijeme vožnje od prve prosječne lokacije do druge prosječne lokacije

$t_{y-p}$  – vrijeme povratka sa druge prosječne lokacije na primopredajnu stanicu

Kako bi se dobilo ukupno prosječno vrijeme trajanja dvostrukog skladišnog ciklusa, na vrijeme vožnje ( $t_{vožnje}$ ) potrebno je dodati zbroj vremena na svim lokacijama na kojima viličar obavlja operacije odlaganja ili izuzimanja paleta. Prva komponenta je vrijeme potrebno za izuzimanje palete na primopredajnoj stanici i ono traje  $t_{kp}$  sekundi. Druga komponenta je vrijeme potrebno viličaru da odloži novu paletu u prvu prosječnu lokaciju u regalima za odlaganje rezervnih paleta  $t_{kx}$ . Slijedeća komponenta je vrijeme koje viličar potroši na izuzimanje rezervne palete sa druge prosječne lokacije  $t_{ky}$ . Nakon toga viličar obavlja rotaciju palete za  $180^\circ$  na mjestu unutar prolaza i ne kreće se duž prolaza. To vrijeme rotacije  $t_R$  također valja ubrojiti u ukupno vrijeme dvostrukog ciklusa. Nakon toga viličar ostavlja paletu na lokaciji  $y'$  u regalu predviđenom za ručno komisioniranje sa druge strane međuregalnog prolaza. Za to mu je potrebno vrijeme odlaganja palete  $t_{ky'}$ .

Ukupno vrijeme potrebno viličaru za navedene operacije – konstantno vrijeme po ciklusu ( $t_k$ ) pri obavljanju procesa dvostrukog skladišnog ciklusa je izraženo kao zbroj svih gore navedenih vremena za odlaganje, izuzimanje i rotaciju u prolazu.

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} + t_{ky} + t_R + t_{ky'}$$

$t_{kp}$  – vrijeme izuzimanja palete na primopredajnoj stanici ( p )

$t_{kx}$  – vrijeme odlaganja palete na prvoj prosječnoj lokaciji ( x )

$t_{ky}$  – vrijeme izuzimanja palete sa druge prosječne lokacije ( y )

$t_R$  – vrijeme rotacije palete u međuregalnom prolazu

$t_{ky'}$  – vrijeme odlaganja palete skladišnoj lokaciji u komisionom regalu ( y' )

Ukupno prosječno vrijeme dvostrukog skladišnog ciklusa  $t_{dc}$  biti će jednako zbroju ukupnog vremena potrebnog za vožnju  $t_{vožnje}$  i ukupnog konstantnog vremena potrošenog na operacije odlaganja i izuzimanja  $t_k$ .

$$t_{dc} = t_{vožnje} + t_k$$

Uvrštavanjem proračunatih vrijednosti ( A i C ), kao i konceptom definiranih vrijednosti (  $t_{kp}$ ,  $t_{kx}$ ,  $t_{ky}$ ,  $t_R$ ,  $t_{ky'}$  ), te vrijednostima za horizontalnu i vertikalnu brzinu gibanja transportnog sredstva (  $v_x$  i  $v_y$  ) u gore navedene izraze za proračun, dobije se kvantificirano prosječno vrijeme trajanja dvostrukog skladišnog ciklusa.

Ovdje treba napomenuti da su za proračun skladišnog ciklusa korištene manje vrijednosti za brzine transportnog vozila ( viličara Linde K-13 ) iz sigurnosnih razloga, kako se nebi dogodilo u praksi da viličar nema tražene performanse za obavljanje traženih ciklusa, čime bi bio smanjen ukupni protok čitavog skladišnog sustava. Stoga su za proračun korištenje slijedeće brzine transportnog sredstva:  $v_x = 3 \text{ m/s}$  i  $v_y = 0,4 \text{ m/s}$  .

Vremena komisioniranja (dana predloženim konceptom korištenim kao podloga i prihvaćena za potrebe proračuna u ovom radu):

$$t_{kp} = 29 \text{ sec}$$

$$t_{kx} = 23 \text{ sec}$$

$$t_{ky} = 29 \text{ sec}$$

$$t_R = 10 \text{ sec}$$

$$t_{ky'} = 23 \text{ sec}$$

Također ovaj proračun ima stanovite pogreške koje su nastale zbog pojednostavljivanja čitavog proračuna:

- nije uračunato vrijeme potrebno za ubrzavanje transportnog vozila od nule do traženih brzina transporta i podizanja, odnosno, spuštanja paleta
- konstantna vremena su okvirno određena
- nije predviđeno da viličar putuje duž prolaza i podiže (spušta) paletu od rezervne lokacije y do lokacije y' u komisionom regalu
- radi se o prosječnim vremenima koja u praksi mogu odstupati od srednje vrijednosti

Uvrštavanjem zadanih i odabranih vrijednosti u modele slijedi

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{91,8}{3}, \frac{12,6}{0,4} \right\} = \max \{30,6, 31,5\} = 31,5$$

$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{91,8}{3 \cdot 31,5}, \frac{12,6}{0,4 \cdot 31,5} \right\} = \min \{1, 0,97143\} = 0,97143$$

$$t_{vožnje} = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot Q^2 - Q^3] \cdot T = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot 0,97143^2 - 0,97143^3] \cdot 30,75 = 55,21529 \text{ sec}$$

$$t_{vožnje} = 55,9 \text{ sec}$$

Ukupno konstantno vrijeme za operacije odlaganja i izuzimanja:

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} + t_{ky} + t_R + t_{ky'} = 29 + 23 + 29 + 10 + 23 = 114 \text{ sec}$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja dvostrukog ciklusa iznosi:

$$t_{dc} = t_{vožnje} + t_k = 55,9 + 114 = 169,9 \text{ sec}$$

$$t_{dc} = 169,9 \text{ sec} = 2,83 \text{ min}$$

#### b) skladišni ciklus uskladištenja

Skladišni ciklus uskladištenja je jednostruki skladišni ciklus koji se temelji na procesu uskladištenja novo pristigle palete sa jediničnim teretom na slobodnu rezervnu lokaciju u regalu za odlaganje čitavih ne raspakiranih jediničnih tereta. Jednostruki skladišni ciklus će dakle imati sljedeće korake:

1. Izuzimanje novo pristigle palete sa primopredajne stanice na početku prolaza ispred regala
2. Transportiranje (vožnja) transportnim vozilom duž prolaza do prosječne lokacije u regalu
3. Odlaganje palete sa jediničnim teretom na rezervne lokaciju za rezervne palete u regalu
4. Povratak transportnog sredstva na poziciju kod primopredajne stanice

#### Proračun po metodi „Bozer & White“:

Proračun jednostrukog ciklusa razlikuje se od proračuna dvostrukog ciklusa jedino u izrazu za ukupno vrijeme trajanja vožnje. Svi ostali polazni podaci koji su uvršteni u proračun, jednaki su kao i kod dvostrukog ciklusa, uz jedinu razliku što kod jednostrukog ciklusa nema rotacije palete unutar međuregalnoga prolaza.



$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\}$$

, gdje je

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\}$$

Kada su poznate tražene fiktivne veličine Q i T za traženi regal, ukupno vrijeme vožnje do prosječne lokacije se računa prema relaciji:

$$t_{vožnje} = \left[ 1 + \frac{Q^2}{3} \right] \cdot T$$

U ovo vrijeme vožnje uračunato je vrijeme vožnje od primopredajne stanice (p) do prosječno udaljene lokacije (x) u regalu, te vrijeme povratka sa prosječne lokacije (x) na primopredajnu stanicu (p).

$$t_{vožnje} = t_{p-x} + t_{x-p}$$

$t_{p-x}$  – vrijeme vožnje od primopredajne stanice do prosječne lokacije

$t_{x-p}$  – vrijeme povratka sa prosječne lokacije na primopredajnu stanicu

Kako bi se dobilo ukupno prosječno vrijeme trajanja jednostrukog skladišnog ciklusa, na vrijeme vožnje ( $t_{vožnje}$ ) potrebno je dodati konstantno vrijeme za operacije na lokacijama. Prvo konstantno vrijeme je vrijeme potrebno za izuzimanje palete je na primopredajnoj stanici i ono traje  $t_{kp}$  sekundi. Drugo konstantno vrijeme je vrijeme potrebno viličaru da odloži novu paletu u prosječnu lokaciju u regalima za odlaganje rezervnih paleta  $t_{kx}$ .

Ukupno vrijeme za operacije po ciklusu ( $t_k$ ) pri obavljanju procesa jednostrukog skladišnog ciklusa je izraženo kao zbroj svih gore navedenih vremena za odlaganje i izuzimanje palete.

$$t_k = t_{kp} + t_{kx}$$

$t_{kp}$  – vrijeme izuzimanja palete na primopredajnoj stanici ( p )

$t_{kx}$  – vrijeme odlaganja palete na prvoj prosječnoj lokaciji ( x )

Uvrštavanje vrijednosti: - potrebne vrijednosti su iste kao u dvostrukom ciklusu

$$T = \max\left\{\frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y}\right\} = \max\left\{\frac{91,8}{3}, \frac{12,6}{0,4}\right\} = \max\{30,6, 31,5\} = 31,5$$

$$Q = \min\left\{\frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T}\right\} = \min\left\{\frac{91,8}{3 \cdot 31,5}, \frac{12,6}{0,4 \cdot 31,5}\right\} = \min\{0,97143, 1\} = 0,97143$$

$$t_{vožnje} = \left[1 + \frac{Q^2}{3}\right] \cdot T = \left[1 + \frac{0,97143^2}{3}\right] \cdot 31,5 = 41,4 \text{ sec}$$

$$t_{vožnje} = 41,4 \text{ sec}$$

Ukupno konstantno vrijeme za operacije odlaganja i izuzimanja:

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} = 29 + 23 = 52$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa iznosi:

$$t_{jc} = t_{vožnje} + t_k = 41,4 + 52 = 93,4 \text{ sec}$$

$$t_{jc} = 93,4 \text{ sec} = 1,56 \text{ min}$$

### c) skladišni ciklus popunjavanja

Skladišni ciklus popunjavanja je također jedan oblik jednostrukog ciklusa, ali nije tipičan. Osnovni koraci u ciklusu popunjavanja ukazuju na to da se radi o jednostrukom ciklusu, međutim postoje određene razlike u samom procesu. Za razliku od klasičnog jednostrukog skladišnog ciklusa, kod ovog skladišnog ciklusa popunjavanja transportno vozilo ne uzima paletu sa primopredajne stanice, već prazno odlazi do prve prosječne lokacije. Druga razlika između klasičnog jednostrukog ciklusa i ciklusa popunjavanja je ta što se prilikom popunjavanja u ovom konkretnom slučaju obje lokacije nalaze na istom mjestu u međuregalmom prolazu i to jedna nasuprot druge, odnosno, jedna ispod druge. Takav međusobni položaj dviju lokacija u

jednostrukom ciklusu znači da nema transportiranja palete sa jediničnim teretom od lokacije do lokacije. Jedino što se između dviju lokacija događa je eventualna rotacija palete za 180° ili spuštanje, odnosno, podizanje palete za samo jednu etažu bez potprocesa rotacije.

Naime, kada računalo uputi zahtjev slobodnom transportnom sredstvu (ovaj ciklus se obavlja jedino ako nema zahtjeva za cikluse pod a i pod b), jedino što ono mora učiniti je popuniti praznu lokaciju u regalu za ručno komisioniranje i to paletom koja se nalazi na najbližoj rezervnoj skladišnoj lokaciji. Najbliža rezervna skladišna lokacija se može nalaziti na istoj etaži i istoj sekciji kao i lokacija za ručno komisioniranje, ali s druge strane prolaza u drugom regalu. U tom slučaju potrebno je samo učiniti rotaciju u prolazu. Druga najbliža rezervna lokacija može biti u istom regalu i istoj sekciji kao i prazna lokacija za ručno komisioniranje, no budući da se prolazi za ručno komisioniranje nalaze na tri nivoa, rezervna lokacija može biti jedino na etaži iznad ili ispod prazne lokacije za ručno komisioniranje. U tom slučaju između rezervne lokacije i lokacije za ručno komisioniranje postoji samo potproces podizanja ili spuštanja palete sa cjelovitim jediničnim teretom.

Osnovni koraci u ovakvom dvostrukom ciklusu u kojem se vrši samo popunjavanje praznih lokacija za ručno komisioniranje su slijedeći:

1. Vožnja praznog transportnog sredstva do prve prosječne rezervne lokacije
2. Izuzimanje palete sa jediničnim teretom sa rezervne lokacije
3. Rotacija ili spuštanje, odnosno, podizanje palete na mjestu u međuregalnom prolazu do lokacije za ručno komisioniranje
4. Uskladištenje palete sa cjelovitim jediničnim teretom u lokaciju za ručno komisioniranje
5. Povratak praznog transportnog sredstva na poziciju kod primopredajne stanice

Proračun ovog ciklusa prema metodi Bozer & White sličan je kao i kod gore prikazanih proračuna. Vrijeme vožnje kod ovog ciklusa popunjavanja jednako je vremenu vožnje kod jednostrukog ciklusa pod b, i iznosi:

$$t_{vožnje} = 40,9 \text{ sec}$$

Ovaj ciklus se razlikuje od prosječnog jednostrukog ciklusa uskladištenja samo po razlici u vremenu potrebnom za operacije na lokacijama. To ukupno vrijeme ( $t_k$ ) pri obavljanju procesa popunjavanja je izraženo kao zbroj vremena za odlaganje, izuzimanje i rotaciju u prolazu.

$$t_k = t_{kx} + t_{ky} + t_R$$

$t_{ky}$  – vrijeme izuzimanja palete sa prosječne lokacije ( y )

$t_R$  – vrijeme rotacije palete u međuregalnom prolazu

$t_{ky'}$  – vrijeme odlaganja palete na skladišnu lokaciju u komisionom regalu ( y' )

Trajanje navedenih vremena jednako je kao i kod gore navedenih ciklusa pod a i pod b, te iznosi:

$$t_k = t_{ky} + t_{ky'} + t_R = 29 + 23 + 10 = 62 \text{ sec}$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja ciklusa popunjavanja iznosi:

$$t_{cp} = t_{voznje} + t_k = 41,4 + 62 = 103,4 \text{ sec}$$

$$t_{cp} = 103,4 \text{ sec} = 1,723 \text{ min}$$

### 5.3. Projekt automatiziranog AS/RS skladišnog sustava

Kao projekt automatiziranog skladišnog sustava prikazati će se idejni projekt visokoregalnog skladišnog sustava sa automatiziranim transportnim sredstvima između regala. Skladište je projektirano kao idejno rješenje, te neće biti detaljno obrađen svaki segment i podsustav cjelokupnog skladišnog sustava.

#### 5.3.1. AS/RS koncept

Visokoregalno skladište sa automatiziranim transportnim sredstvima u prolazima između regala zamišljeno je kao idejni projekt za automatizirani prijedlog skladišnog sustava. I u ovom projektu, kao i kod VNA projekta, širine prolaza između regala biti će podijeljene u dvije osnovne skupine ovisno o namjeni i svrsi određenog prolaza u skladištu. Kao je naglašeno u projektnom zadatku, Zollinger kao autor oba koncepta ( VNA i ASRS ) je predložio dolje navedeni koncept AA/RS skladišta.

Skladišni sustav projektirana kao AS/RS sustav u ovom konkretnom slučaju sadržavati će ukupno 6 prolaza. Kako je u projektnom zadatku traženo da se određeni broj paleta, odnosno skladišnih lokacija, predvidi za mogućnost brzog komisioniranja, svih 6 prolaza neće biti za istu namjenu.

Ukupno 4 od 6 prolaza između regala predviđeni su kao prolazi unutar kojih će se kretati transportno sredstvo – automatizirana dizalica. Ta 4 prolaza namijenjena su za skladištenje u visoke regale ukupno 11 424 rezervne palete koje oblikuju cjelovite jedinične terete koji se neće raspakirati sve dok su uskladišteni u toj zoni. Širina prolaza namijenjenih za kretanje automatiziranih dizalica između regala u rezervnoj zoni iznosi 1600 mm.

Preostala 2 od 6 prolaza između regala namijenjeni su za funkciju brzog komisioniranja, te se u tim prolazima nalaze konvejeri na koje se odlažu kutije izuzete iz raspakirane palete sa jediničnim teretom. Ručno komisioniranje se i ovdje ( kao u VNA konceptu ) odvija po principu „ pick-to-belt “ koji je prethodno objašnjen. Oba komisiona prolaza ima po šest nivoa. Na svakom nivou se nalazi po jedan konvejer. Svaki nivo ima po jednu etažu duž regala na kojoj su smještene skladišne lokacije za palete sa raspakiranim jediničnim teretima kako bi se moglo odvijati brzo komisioniranje. Komisioniranje se obavlja ručno tako da operateri koji se nalaze na svakom nivou u komisionom prolazu ručno izuzimaju kutije sa paleta za brzo komisioniranje i odlažu te kutije na konvejer koji ih transportira do kraja prolaza. Širina tih prolaza iznosi ukupno 2300 mm, što govori da nisu predviđeni za automatizirane dizalice, već su namijenjeni isključivo za ručno

komisioniranje. Budući da komisioni prolazi imaju šest nivoa, mogu se nazivati i komisioni tuneli zbog njihovog tunelskog izgleda.

- br transportnih dizalica:  $N_s = 4$

- br prolaza :  $N_{p\_uk} = 6$

- br prolaza za transportne dizalice:  $N_{p\_d} = 4$

- br prolaza za komisioniranje:  $N_{p\_k} = 2$

### 5.3.2. Projektiranje AS/RS skladišnih regala

Skladišni regali potrebni za funkcioniranje ovog skladišnog sustava biti će dimenzionirani na temelju dimenzija paleta. Regali trebaju biti tako konstruirani da dimenzije skladišnih lokacija odgovaraju dimenzijama palete, ali da između paleta bude dovoljan razmak. Također je bitno da skladišne lokacije budu u dovoljno visoke da se omogući podizanje palete sa jediničnim teretom u samoj skladišnoj lokaciji kako bi se paleta mogla izuzeti ili odložiti.

#### Ukupnog broja regala:

Ukupni broj regala vezan je za broj prolaza. Kako je u konceptu navedeno, ovaj skladišni sustav imati će ukupno 6 prolaza. No, radi iskoristivosti transportnog vozila, uobičajeno je da se za svaki prolaz za posluživanje transportnim vozilom postave po dva regala, sa svake strane po jedan.

Broj transportnih vozila koji su predviđeni ovim konceptom iznosi ukupno 4, što znači da ima i toliko prolaza za automatiziranih dizalica. Ako se prolaz formira tako da se sa svake strane postavi red regala koje može poluživati jedna automatizirana dizalica, onda bi regala za posluživanje automatiziranim dizalicama bilo dvostruko više nego prolaza.

Ukupni broj prolaza:

$$N_{p\_uk} = N_{p\_d} + N_{p\_k}$$

$$N_{p\_uk} = 4 + 2 = 6$$

$$N_{p\_uk} = 6$$

Broj prolaza za automatizirane dizalice:

$$N_{p\_d} = N_{p\_uk} - N_{p\_k}$$

$$N_{p\_d} = 6 - 2 = 4$$

$$N_{p\_d} = 4$$

Broj regala koje poslužuju automatizirane dizalice:

$$N_{R\_d} = 2 \cdot N_{p\_d}$$

$$N_{R\_d} = 2 \cdot 4 = 8$$

$$N_{R\_d} = 8$$

Ukupan broj regala:

$$N_{R\_uk} = N_{R\_d} = 8$$

Pod točkom 5.2.3. detaljnije je objašnjeno zašto je ukupan broj regala jednak ukupnom broju regala koje poslužuje automatizirana dizalica.

#### Opis regala:

Kako je u konceptu predviđeno koristiti će se protočni „push back“ regali dvostrukih dubina opisani u 3 poglavlju ovog završnog rada pod točkom 3.2.4. Jedan red regala smješten je sa jedne strane prolaza i podijeljen je u sekcije. Jedna sekcija regala predstavlja jedinični dio regala. Svaka sekcija regala sastoji se od etaža. Etaža predstavlja jednu razinu, nivo ili kat u jednoj sekciji regala. Svaka sekcija ima jednaki broj etaža, a svaki regal (red regala) ima jednaki broj sekcija.

Jedan red regala ima 34 sekcije sa po dvije paletne pozicije uzdužno na etaži, dakle, ukupno 68 pozicija uzduž regala. Sekcije su međusobno povezane veznikom visine 100 mm koji služi za pridržavanje 1200 kg teških paleta. Svaka sekcija ima po 12 etaža. Na svakoj etaži moguće je uskladištiti po dvije palete postavljene uzdužno (dvije pozicije) jedna do druge, te još dvije palete

u dubinu, jer se radi o protočnim regalima dvostrukih dubina. Dakle, na jednoj etaži moguće je uskladištiti ukupno 4 palete, a budući da u sekciji ima 12 etaža, moguće je uskladištiti 48 palete u jednoj sekciji. U jednom redu regala moguće je uskladištiti ukupno 1632 paleta.

Kao i kod VNA koncepta i ovdje se radi o „ push back “ regalu, te je svaka skladišna lokacija nakošena za par stupnjeva prema prolazu između regala, kako bi paleta u dubini regala mogla pogurnuti onu paletu koja je bliže prolazu. Budući da skladišni sustav ima dva tipa prolaza – za automatizirane dizalice i za komisioniranje – nisu sve skladišne lokacije nakošene na istu stranu. U komisionom prolazu postoje 6 nivoa, odnosno, 6 tunela u kojima se nalazi po jedan konvejer u svakom. Iz tog razloga u komisionom prolazu nisu sve etaže u sekcijama regala namijenjene za ručno komisioniranje. Prva, treća, peta, sedma, deveta i jedanaesta etaža u komisionim prolazima predviđena je da se sa nje vrši brzo komisioniranje i izdvajanje pojedinačnih kutija sa raspakiranih jediničnih tereta na konvejer unutar tunela. Zato su regali konstruirani tako da su skladišne lokacije na prvoj, trećoj, petoj, sedmoj, devetoj i jedanaestoj etaži regala uz komisione prolaze nagnute prema komisionim tunelima, a skladišne lokacije na drugoj, četvrtoj, šestoj, osmoj, desetoj i dvanaestoj etaži, kao i sve lokacije regala uzduž prolaza za automatizirane dizalice u rezervnoj zoni, nagnute su prema prolazima za automatizirane dizalice.

#### Dimenzije regala:

Kako je navedeno u VNA konceptu, na dimenzije skladišnog regala izravno utječu dimenzije palete, orijentacija paleta u skladišnoj lokaciji, te visina oblikovanog jediničnog tereta zajedno sa visinom palete. Potrebno je definirati međusobni uzdužni razmak između paleta uskladištenih u regal, ali i visinski razmak od vrha oblikovanog jediničnog tereta na paleti do vrha skladišne lokacije.

Kada se govori o dimenzijama skladišnog regala vrti će se o dužini (  $A$  ), širini (  $B$  ) kao i visini (  $C$  ) skladišnog regala. Dužina skladišnog regala je ona dimenzija regala koja je paralelna sa prolazom između regala. Ukupna dužina skladišnog regala je dužina reda regala, te se može uskladištiti ukupno 68 paleta uzduž regala koje su orijentirane tako da je duža dimenzija palete ( 1200 mm ) postavljena paralelno sa dužinom regala. Širina regala je dimenzija regala okomita na dužinu regala i na položaj prolaza između regala. U širinu stanu ukupno 2 palete u regalu, a dimenzija širine regala se paralelno poklapa sa kraćom dimenzijom palete ( 800 mm ). Visina regala je dimenzija regala okomita na pod skladišnog objekta i paralelna je sa visinom palete i visinom jediničnog tereta oblikovanog na paleti.

Orijentacija dimenzija skladišnih lokacija se razlikuju od orijentacije dimenzija regala zbog drugačije orijentacije skladišnih lokacija u odnosu na prolaz između regala. Kada se govori o dimenzijama skladišnih lokacija govori se o širini (  $a_L$  ), dubini (  $b_L$  ) i visini (  $c_L$  ) skladišnih lokacija.



Dimenzije skladišne lokacije izračunate su u sklopu VNA projekta, i jednake su za AS/RS projekt. Širina skladišnih lokacija paralelna je sa prolazom između regala, a samim time je paralelna i sa dužinom regala i dužom dimenzijom palete ( 1200 mm ). Dubina skladišne lokacije predstavlja polovicu širine regala, i okomita je na prolaz između regala. Visina skladišne lokacije je jedina dimenzija skladišne lokacije koja se u potpunosti poklapa sa visinom regala, te je okomita na pod skladišnog objekta.

Dužina skladišnih regala ( A ) proračunati će se na temelju širine skladišne lokacije uzduž regala. Ukupna dužina jednog reda regala je umnožak broja pozicija uzduž regala i širina skladišnih lokacija.

Širina skladišne lokacije:

$$a_L = 1350 \text{ mm}$$

Broj pozicija (lokacija) u dužinu regala:

$$n_{LA} = 68$$

Ukupna dužina jednog reda regala:

$$A = a_L \cdot n_L$$

$$A = 1350 \cdot 68$$

$$A = 91\,800 \text{ mm}$$

Širina skladišnih regala ( B ) proračunati će se na temelju dubine skladišnih lokacija. Dubina skladišne lokacije predstavlja polovicu širine skladišnog regala.

Dubina skladišne lokacije:

$$b_L = 950 \text{ mm}$$

Broj pozicija (lokacija) u širinu regala:

$$n_{LB} = 2$$

Ukupna širina regala:

$$B = b_L \cdot n_{LB}$$

$$B = 950 \cdot 2$$

$$B = 1900 \text{ mm}$$

Visina skladišnih regala ( C ) se proračunava na temelju visine skladišne lokacije, no mora se dodati dodatak od poda do najniže skladišne lokacije  $e_{C1}$  i dodatak iznad regala  $e_{C2}$ . Dodatak od poda do najniže skladišne lokacije se dodaje radi omogućavanja klizanja paleta i radi ergonomskih uvjeta za komisioniranje, kako se operater ne bi morao jako sagibati. Dodatak iznad regala se dodaje kako bi se definirala takozvana „svijetla visina“, iznad koje bi se mogla postavljati rasvjeta i sapnice za protupožarni sustav.

Dodatak za visinu regala od poda do najniže skladišne lokacije

$$e_{C1} = 600 \text{ mm}$$

Dodatak iznad regala:

$$e_{C2} = 600 \text{ mm}$$

Visina skladišne lokacije:

$$c_L = 1900 \text{ mm}$$

Broj etaža (lokacija) u visinu regala:

$$n_{LC} = 12$$

Ukupna visina regala:

$$C = e_{C1} + c_L \cdot n_{LC} + e_{C2}$$

$$C = 600 + 1900 \cdot 12 + 600$$

$$C = 24\,000 \text{ mm}$$

### 5.3.3. Grafički prikaz AS/RS skladišnog sustava

#### Raspored regala i formiranje prolaza u skladišnom objektu:

U prethodnoj točki ovog poglavlja određen je broj skladišnih regala na temelju broja prolaza između regala za kretanje automatiziranih dizalica. Regala ima 8, a prolaza za automatizirane dizalice 4. No, kako je u projektnom zadatku traženo da postoje i skladišne lokacije, odnosno regali, za brzo komisioniranje po principu „pick-to-belt“, potrebno je formirati još 2 prolaza za komisioniranje.

Ako bi u skladištu bilo samo 4 prolaza bez mogućnosti ručnog komisioniranja, onda bi bilo ukupno 8 regala, koji bi bili postavljeni tako da je desni regal u jednom prolazu postavljen odmah do lijevog regala u slijedećem prolazu. Tada bi bilo 3 para regala u kojima su regali postavljeni jedan do drugoga, a između parova bi bila 2 prolaza za automatizirane dizalice. Preostali par regala odnosno, preostala 2 od ukupno 8 regala bili bi razdvojeni i postavljeni uz bočne zidove skladišnog objekta kako bi se moglo formirati još 2 prolaza za automatizirane dizalice. Sveukupno bi se tako formiralo samo 4 gore navedena prolaza u skladišnom sustavu. Tako bi se moglo uskladištiti 13056 paleta sa cjelovitim jediničnim teretima za rezervu.

Kako je u projektnom zadatku naglašeno da je potrebno skladištiti još 1632 palete za brzo komisioniranje, potrebno je formirati 2 komisiona prolaza. Komisioni prolazi nisu prolazi za automatizirane dizalice, već je njihova svrha osigurati skladišne lokacije za palete sa raspakiranim jediničnim teretima sa kojih će se obavljati izuzimanje kutija i njihovo odlaganje na konvejer duž komisionog prolaza ( tzv. „pick-to-belt“ proces). Kako bi se formiralo još potrebna 2 prolaza, moraju se razdvojiti gore navedeni parovi regala. Od 3 para regala, razdvojiti će se 2 para. Tako će ostati samo 1 par u kojem će regali biti postavljeni jedan do drugoga, a pri tome će se formirati i nova 2 prolaza za ručno komisioniranje.

Budući da se na gore opisan način formirala cjeloukupna skladišna zona sa 4 prolaza za automatizirane dizalice i 2 komisiona prolaza, broj regala se nije promijenio. Ukupni broj regala  $N_{R\_uk}$  u ovom skladišnom sustavu jednak je ukupnom broju regala u skladišnom sustavu u kojem postoje samo prolazi za posluživanje automatiziranim dizalicama.  $N_{R\_uk} = N_{R\_d}$ .

Raspored regala je takav da su komisioni prolazi za ručno komisioniranje, promatrano s lijeva na desno, redom drugi i peti prolaz, a ostali prolazi su predviđeni za automatizirane dizalice. Jedini par regala postavljenih jedan do drugoga nalaze nakon trećeg prolaza.

AS/RS regal za ručno komisioniranje i AS/RS skladišni regal prikazani su na crtežima 5 i 6 u prilogu na kraju završnog rada u mjerilu 1 : 150. Crteži su rađeni u software-skom paketu AutoCAD 2004.

#### Dimenzije skladišne površine:

Dužina regala:  $A = 91\,800\text{ mm}$

Širina regala:  $B = 1900\text{ mm}$

Broj regala:  $N_{R\_uk} = 8$

Širina prolaza za automatizirane dizalice:  $D = 1600\text{ mm}$

Broj prolaza za automatizirane dizalice:  $N_{p\_d} = 4$

Širina komisionih prolaza:  $K = 2300\text{ mm}$

Broj prolaza za komisioniranje:  $N_{p\_k} = 2$

Širina skladišnog prostora (  $X$  ) je zbroj svih širina prolaza i svih širina regala.

$$X = N_{R\_uk} \cdot B + N_{p\_d} \cdot D + N_{p\_k} \cdot K$$

$$X = 8 \cdot 1900 + 4 \cdot 1600 + 2 \cdot 2300 = 26\,200\text{ mm} = 26,2\text{ m}$$

$$X = 26,2\text{ m}$$

Dužina skladišnog prostora (  $Y$  ) mora biti veća od dužine jednog reda regala. U Zollingerovom konceptu predviđeno je da postoje dodatni prolazi na kraju regala i ispred regala. Širina prolaza na kraju regala iznosila bi 4200 mm, a širina prolaza na prednjem dijelu iznosi 7000 mm.

$$p_1 = 4200\text{ mm}$$

$$p_2 = 7000\text{ mm}$$

$$Y = A + p_1 + p_2$$

$$Y = 91\,800 + 4200 + 7000 = 103\,000 \text{ mm} = 103 \text{ m}$$

$$Y = 103 \text{ m.}$$

Skladišna površina je umnožak širine i dužine skladišnog prostora.

$$P = X \cdot Y$$

$$P_{AS/RS} = 26,2 \cdot 103 = 2698,6 \text{ m}^2$$

Ukupna AS/RS skladišna površina:

$$P_{AS/RS} = 2698,6 \text{ m}^2$$

### Grafički prikaz

Grafički prikaz predstavlja tlocrt osnovnog skladišnog prostora u kojem se odvijaju osnovni skladišni procesi ( uskladištenje, komisioniranje, popunjavanje ). Tlocrt skladišnog prostora u kojem se nalaze skladišni regali i skladišni prolazi prikazan je na listu 2 tehničkih crteža u prilogu.

Skladišna zona je prikazana na papiru A3 formata na kraju završnog rada. Mjerilo prikaza tlocrta VNA skladišnog sustava je 1 : 400 . Prikazani su tlocrti svih sekcija kojih ukupno ima 544, što uz 12 etaža na svakome u visinu i po dvije skladišne lokacije u svakoj sekciji daje ukupni traženi broj skladišnih lokacija 13 056.

Crtež je rađen u software-skom paketu AutoCAD 2004.

#### 5.3.4. Izbor transportnog sredstva kod AS/RS skladišnog sustava

Transportno vozilo za ovaj skladišni sustav izabrano je prema zahtjevima za performanse ( dimenzije, brzina, nosivost ) koje transportno vozilo mora imati, kako bi moglo obavljati skladišne procese prema Zollingerovom AS/RS konceptu.

Za obavljanje skladišnih procesa u ovom skladišnom AS/RS sustavu, izabrano je transportno sredstvo, automatizirana dizalica proizvođača „Stöcklin“ iz službenog kataloga proizvođača.

Osnovni tehnički podaci proizvođača relevantni za proračun skladišnih ciklusa i provjeru adekvatnosti automatizirane dizalice za ovaj skladišni sustav navedeni su u tablici 2.

Tablica 2. Tehnički podaci dizalice Stöcklin MASTer 24

Tehnički podaci	mjerna jedinica	MASTer 24
Nosivost	kg	1500
Minimalna širina prolaza	mm	1500
Maksimalna visina	mm	24 000
Brzina transporta ( $v_x$ max)	m/s	4
Brzina podizanja tereta ( $v_y$ max)	m/s	1

Budući da skladišni sustav ima 4 prolaza za transportna sredstva, biti će i 4 ovih automatiziranih dizalica istih performansi. Prema Zollingerovom konceptu, na tržištu se tražilo i odgovarajuće transportno sredstvo prema standardnim zahtjevima koje mora imati dizalica za rad u AS/RS skladišnom sustavu. Kako bi se donijela odluka o izboru transportnog sredstva za traženi sustav mora se provesti barem osnovna provjera odgovarajućih dimenzija, nosivosti i brzina.

#### Provjera izabranog transportnog sredstva zahtjevima sustava:

Sustav ima 4 prolaza širine  $D = 1600$  mm. Automatizirana dizalica Stöcklin MASTer24 je predviđen za rad u prolazima minimalne širine  $D_{\min} = 1500$  mm. Budući da je:

$D = 1600$  mm  $>$   $D_{\min} = 1500$  mm – izabrano transportno sredstvo odgovara dimenzijama sustava!

Maksimalna visina na koju transportno sredstvo mora moći podignuti jedinični teret računa se na temelju dimenzija regala i skladišnih lokacija. Maksimalna visina je zbroj dodatka regalu od poda  $e_{C1} = 600$  mm i 11 visina skladišnih lokacija  $c_L = 1900$  mm. Radi sigurnosti pri proračunu može se u maksimalnu potrebnu visinu uračunati i dodatak za podizanje jediničnog tereta  $e_v = 156$  mm i visina palete  $v_p = 144$  mm. Maksimalna potrebna visina podizanja tereta računa se dakle prema relaciji:

$$C_{\max\_potr} = e_{C1} + 11 \cdot c_L + e_v + v_p$$

$$C_{\max\_potr} = 600 + 11 \cdot 1900 + 156 + 144 = 21\,800 \text{ mm}$$

Maksimalna visina podizanja tereta za automatizirane dizalice automatiziranu dizalicu Stöcklin MASTER24 je

$$V_d = 22\,100 \text{ mm}$$

$C_{\max\_potr} = 21\,800 \text{ mm} < V_d = 22\,100 \text{ mm}$  – izabrano transportno sredstvo odgovara dimenzijama sustava!

Nosivost koja je predviđena Zollingerovim konceptom je 1200 kg. Nosivost automatizirane dizalice Stöcklin MASTER24 iznosi  $Q = 1500 \text{ kg}$  – izabrano transportno sredstvo odgovara dimenzijama sustava!

#### 5.3.5. Proračun skladišnih ciklusa u AS/RS skladišnom sustavu

Skladišni ciklusi u predviđenom ASRS skladišnom sustavu dijele se na tri osnovna procesa. Prema Zollingerovom konceptu zamišljeno je da će skladišni sustav imati protok od 120 dvostrukih ciklusa, 120 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija i 120 ciklusa po satu uskladištenja novih paleta. Prema tome se i razlikuju skladišni ciklusi:

- a) dvostruki skladišni ciklus
- b) skladišni ciklus uskladištenja
- c) skladišni ciklus popunjavanja

Za svaki od navedenih ciklusa treba se proračunati vrijeme trajanja ciklusa za pojedino transportno vozilo i usporediti rezultate sa zahtjevima prema Zollingerovom konceptu. Proračun ciklusa vršiti će po metodi Bozer & White, kojom se dolazi do prosječnog vremena trajanja pojedinog skladišnog ciklusa.

## a) dvostruki skladišni ciklus

To je ciklus skladištenja potpuno novih paleta s jediničnim teretima koje ulaze u sustav, ali i proces koji u sebi sadržava i popunjavanje. Popunjavanje se u ovom skladišnom sustavu odnosi na promjenu lokacije već uskladištene palete i to sa lokacije u regalu predviđenom za skladištenje rezervnih paleta na lokaciju u regale koji su predviđeni za ručno pick-to-belt komisioniranje u komisionim prolazima. Dvostruki skladišni ciklus će dakle imati sljedeće korake:

1. Izuzimanje novo pristigle palete sa primopredajne stanice na početku prolaza ispred regala
2. Transportiranje (vožnja) transportnim vozilom duž prolaza do prve prosječne lokacije u regalu
3. Odlaganje palete sa jediničnim teretom na rezervne lokaciju za rezervne palete u regalu
4. Vožnja do druge prosječne lokacije na kojoj se nalazi rezervna paleta predviđena za promjenu lokacije
5. Izuzimanje rezervne palete predviđene za promjenu lokacije
6. Rotacija palete na mjestu u samom prolazu
7. Uskladištenje palete na lokaciju u regalu za komisioniranje sa druge strane prolaza
8. Povratak automatizirane dizalica na poziciju kod primopredajne stanice

Proračun po metodi „Bozer & White“:

Proračun se temelji na zamijeni stvarnog regala fiktivnim jediničnim regalom čija je jedna dimenzija jednaka jedinici. Stvarni regal definiranih dimenzija duljine i visine (A, C) zamijeni se fiktivnim regalom dimenzija (1, Q). Dimenzija Q se proračunava prema relaciji:

$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\}$$

, gdje je

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\}$$

Kada su poznate tražene fiktivne veličine Q i T za traženi regal, ukupno vrijeme vožnje do prosječnih lokacija se računa prema relaciji:



$$t_{vožnje} = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot Q^2 - Q^3] \cdot T$$

U ovo vrijeme vožnje uračunato je vrijeme vožnje od primopredajne stanice (p) do prve prosječno udaljene lokacije (x) u regalu, vrijeme vožnje od prve prosječno udaljene lokacije u regalu do druge prosječne lokacije u regalu (y), te vrijeme povratka sa druge prosječne lokacije (y') na primopredajnu stanicu (p). Druga prosječna lokacija (y) u regalu predstavlja ujedno i prosječnu lokaciju u komisionom regalu (y') s druge strane prolaza, jer kada automatizirana dizalica u 4 koraku dvostrukog ciklusa dođe do rezervne palete predviđene za promjenu lokacije ona nakon toga ostaje na mjestu i ne kreće se duž prolaza. Druga prosječna lokacija (y = y') u dvostrukom ciklusu je upravo ona koja se nalazi preko puta prazne lokacije u komisionom regalu na koju tek treba odložiti rezervnu paletu predviđenu za promjenu lokacije. Kada automatizirana dizalica dođe na drugu prosječnu lokaciju obavlja se korak 4, 5 i 6. Dakle, na mjestu druge prosječne lokacije automatizirana dizalica vrši rotaciju u prolazu i odlaže paletu u praznu lokaciju u komisionom regalu sa druge strane prolaza (nema transporta duž prolaza, jer je to na istoj poziciji u prolazu). Između lokacija y i y' nema transporta, već postoji samo rotacija unutar prolaza. Nakon 7 koraka, automatizirana dizalica se vraća na primopredajnu stanicu.

$$t_{vožnje} = t_{p-x} + t_{x-y} + t_{y'-p}$$

$t_{p-x}$  – vrijeme vožnje od primopredajne stanice do prve prosječne lokacije

$t_{x-y} = t_{x-y'}$  – vrijeme vožnje od prve lokacije do druge lokacije

$t_{y'-p}$  – vrijeme povratka sa druge prosječne lokacije na primopredajnu stanicu

Kako bi se dobilo ukupno prosječno vrijeme trajanja dvostrukog skladišnog ciklusa, na vrijeme vožnje ( $t_{vožnje}$ ) potrebno je dodati vrijeme za operacije na svim lokacijama na kojima automatizirana dizalica u procesu skladištenja vrši odlaganje ili izuzimanje. Prvo vrijeme je vrijeme potrebno za izuzimanje palete je na primopredajnoj stanici i ono traje  $t_{kp}$  sekundi. Drugo vrijeme je vrijeme potrebno automatiziranoj dizalici da odloži novu paletu u prvu prosječnu lokaciju u regalima za odlaganje rezervnih paleta  $t_{kx}$ . Slijedeće vrijeme je vrijeme koje automatizirana dizalica potroši na izuzimanje rezervne palete sa druge prosječne lokacije  $t_{ky}$ . Nakon toga automatizirana dizalica obavlja rotaciju palete za 180° na mjestu unutar prolaza i ne kreće se duž prolaza. To vrijeme rotacije  $t_R$  također valja ubrojiti u ukupno vrijeme dvostrukog ciklusa. Nakon toga automatizirana dizalica ostavlja paletu na lokaciji y' u regalu predviđenom za ručno komisioniranje sa druge strane međuregalnog prolaza. Za to joj je potrebno vrijeme odlaganja palete  $t_{ky'}$ .

Ukupno konstantno vrijeme koje automatizirana dizalica potroši operacije ( $t_k$ ) pri obavljanju procesa dvostrukog skladišnog ciklusa je izraženo kao zbroj svih gore navedenih vremena za odlaganje, izuzimanje i rotaciju u prolazu.

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} + t_{ky} + t_R + t_{ky'}$$

$t_{kp}$  – vrijeme izuzimanja palete na primopredajnoj stanici ( p )

$t_{kx}$  – vrijeme odlaganja palete na prvoj prosječnoj lokaciji ( x )

$t_{ky}$  – vrijeme izuzimanja palete sa druge prosječne lokacije ( y )

$t_R$  – vrijeme rotacije palete u međuregalnom prolazu

$t_{ky'}$  – vrijeme odlaganja palete skladišnoj lokaciji u komisionom regalu ( y' )

Ukupno prosječno vrijeme dvostrukog skladišnog ciklusa  $t_{dc}$  biti će jednako zbroju ukupnog vremena potrebnog za vožnju  $t_{vožnje}$  i ukupnog konstantnog vremena potrošenog na operacije  $t_k$ .

$$t_{dc} = t_{vožnje} + t_k$$

Uvrštavanjem proračunatih vrijednosti ( A i C ), kao i konceptom definiranih vrijednosti (  $t_{kp}$ ,  $t_{kx}$ ,  $t_{ky}$ ,  $t_R$ ,  $t_{ky'}$  ), te vrijednostim za horizontalnu i vertikalnu brzinu gibanja transportnog sredstva (  $v_x$  i  $v_y$  ) u gore navedene izraze za proračun, dobije se kvantificirano prosječno vrijeme trajanja dvostrukog skladišnog ciklusa.

Ovdje treba napomenuti da su za proračun skladišnog ciklusa korištene manje vrijednosti za brzine transportnog vozila ( automatizirane dizalice Stöcklin MASTer24 ) iz sigurnosnih razloga, kako se nebi dogodilo u praksi da automatizirana dizalica nema tražene performanse za obavljanje traženih ciklusa, čime bi bio smanjen ukupni protok čitavog skladišnog sustava. Stoga su za proračun korištenje slijedeće brzine transportnog sredstva:  $v_x = 3,5$  m/s i  $v_y = 0,8$  m/s .

Vremena na lokacijama predviđena su, kao i u prethodnoj varijanti, Zollingerovim konceptom, te prihvaćena za proračun u ovom radu:

$$t_{kp} = 10,5 \text{ sec}$$

$$t_{kx} = 7,8 \text{ sec}$$

$$t_{ky} = 10,5 \text{ sec}$$

$$t_R = 10 \text{ sec}$$

$$t_{ky'} = 7,8 \text{ sec}$$

Također, ovaj proračun ima stanovite pogreške koje su nastale zbog pojednostavljivanja čitavog proračuna:

- nije uračunato vrijeme potrebno za ubrzavanje transportnog vozila od nule do traženih brzina transporta i podizanja, odnosno, spuštanja paleta
- komstantna vremena su okvirno određena
- nije predviđeno da automatizirana dizalica putuje od lokacije y do lokacije y' duž prolaza i podiže (spušta) paletu od rezervne lokacije y do lokacije y' u komisionom regalu
- radi se o prosječnim vremenima koja u praksi mogu odstupati od srednje vrijednosti

Uvrštavanje vrijednosti:

$$T = \max\left\{\frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y}\right\} = \max\left\{\frac{91,8}{3,5}, \frac{24}{0,8}\right\} = \max\{30, 26,22\} = 30$$

$$Q = \min\left\{\frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T}\right\} = \min\left\{\frac{91,8}{3,5 \cdot 30}, \frac{24}{0,8 \cdot 30}\right\} = \min\{1,087429\} = 0,87429$$

$$t_{vožnje} = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot Q^2 - Q^3] \cdot T = \frac{1}{30} [40 + 15 \cdot 0,87429^2 - 0,87429^3] \cdot 30 = 50,8 \text{ sec}$$

$$t_{vožnje} = 50,8 \text{ sec}$$

Ukupno konstantno vrijeme za operacije:

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} + t_{ky} + t_R + t_{ky'} = 10,5 + 7,8 + 10,5 + 10 + 7,8 = 46,6 \text{ sec}$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja dvostrukog ciklusa iznosi:

$$t_{dc} = t_{vožnje} + t_{kom} = 50,8 + 46,6 = 97,4 \text{ sec}$$

$$t_{dc} = 97,4 \text{ sec} = 1,62 \text{ min}$$

## b) skladišni ciklus uskladištenja

Skladišni ciklus uskladištenja je jednostruki skladišni ciklus koji se temelji na procesu uskladištenja novo pristigle palete sa jediničnim teretom na slobodnu rezervnu lokaciju u regalu za odlaganje čitavih ne raspakiranih jediničnih tereta. Jednostruki skladišni ciklus će dakle imati sljedeće korake:

1. Izuzimanje novo pristigle palete sa primopredajne stanice na početku prolaza ispred regala
2. Transportiranje (vožnja) transportnim vozilom duž prolaza do prosječne lokacije u regalu
3. Odlaganje palete sa jediničnim teretom na rezervne lokaciju za rezervne palete u regalu
4. Povratak transportnog sredstva na poziciju kod primopredajne stanice

Proračun po metodi „Bozer & White“:

Proračun jednostrukog ciklusa razlikuje se od proračuna dvostrukog ciklusa jedino u izrazu za ukupno vrijeme trajanja vožnje. Svi ostali polazni podaci koji su uvršteni u proračun, jednaki su kao i kod dvostrukog ciklusa, uz jedinu razliku što kod jednostrukog ciklusa nema rotacije palete unutar međuregalnog prolaza.

$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\}$$

, gdje je

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\}$$

Kada su poznate tražene fiktivne veličine Q i T za traženi regal, ukupno vrijeme vožnje do prosječne lokacije se računa prema relaciji:

$$t_{vožnje} = \left[ 1 + \frac{Q^2}{3} \right] \cdot T$$

U ovo vrijeme vožnje uračunato je vrijeme vožnje od primopredajne stanice (p) do prosječno udaljene lokacije (x) u regalu, te vrijeme povratka sa prosječne lokacije (x) na primopredajnu stanicu (p).

$$t_{\text{vožnje}} = t_{p-x} + t_{x-p}$$

$t_{p-x}$  – vrijeme vožnje od primopredajne stanice do prosječne lokacije

$t_{x-p}$  – vrijeme povratka sa prosječne lokacije na primopredajnu stanicu

Kako bi se dobilo ukupno prosječno vrijeme trajanja jednostrukog skladišnog ciklusa, na vrijeme vožnje (  $t_{\text{vožnje}}$  ) potrebno je dodati konstantno vrijeme za operacije na svim lokacijama na kojima automatizirana dizalica u procesu skladištenja vrši komisioniranje. Prvo konstantno vrijeme je vrijeme potrebno za izuzimanje palete je na primopredajnoj stanici i ono traje  $t_{kp}$  sekundi. Drugo konstantno vrijeme je vrijeme potrebno automatiziranoj dizalici da odloži novu paletu u prosječnu lokaciju u regalima za odlaganje rezervnih paleta  $t_{kx}$ .

Ukupno konstantno vrijeme koje transportno sredstvo potroši na operacije (  $t_k$  ) pri obavljanju procesa jednostrukog skladišnog ciklusa je izraženo kao zbroj svih gore navedenih vremena za odlaganje i izuzimanje palete.

$$t_k = t_{kp} + t_{kx}$$

$t_{kp}$  – vrijeme izuzimanja palete na primopredajnoj stanici ( p )

$t_{kx}$  – vrijeme odlaganja palete na prvoj prosječnoj lokaciji ( x )

Uvrštavanje vrijednosti: - potrebne vrijednosti su iste kao u dvostrukom ciklusu

$$T = \max \left\{ \frac{A}{v_x}, \frac{C}{v_y} \right\} = \max \left\{ \frac{91,8}{3,5}, \frac{24}{0,8} \right\} = \max \{30, 26,22\} = 30$$

$$Q = \min \left\{ \frac{A}{v_x \cdot T}, \frac{C}{v_y \cdot T} \right\} = \min \left\{ \frac{91,8}{3,5 \cdot 30}, \frac{24}{0,8 \cdot 30} \right\} = \max \{1, 0,87429\} = 0,87429$$

$$t_{\text{vožnje}} = \left[ 1 + \frac{Q^2}{3} \right] \cdot T = \left[ 1 + \frac{0,87429^2}{3} \right] \cdot 30 = 37,65 \text{ sec}$$

$$t_{vožnje} = 37,65 \text{ sec}$$

Ukupno konstantno vrijeme za operacije:

$$t_k = t_{kp} + t_{kx} = 10,5 + 7,8 = 18,3 \text{ sec}$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa iznosi:

$$t_{jc} = t_{vožnje} + t_k = 37,65 + 18,3 = 55,95 \text{ sec}$$

$$t_{jc} = 55,95 \text{ sec} = 0,94 \text{ min}$$

### c) skladišni ciklus popunjavanja

Skladišni ciklus popunjavanja je također jedan oblik jednostrukog ciklusa, ali nije tipičan. Osnovni koraci u ciklusu popunjavanja ukazuju na to da se radi o jednostrukom ciklusu, međutim postoje određene razlike u samom procesu. Za razliku od klasičnog jednostrukog skladišnog ciklusa, kod ovog skladišnog ciklusa popunjavanja transportno vozilo ne uzima paletu sa primopredajne stanice, već prazno odlazi do prve prosječne lokacije. Druga razlika između klasičnog jednostrukog ciklusa i ciklusa popunjavanja je ta što se prilikom popunjavanja u ovom konkretnom slučaju obje lokacije nalaze na istom mjestu u međuregalnom prolazu i to jedna nasuprot druge, odnosno, jedna ispod druge. Takav međusobni položaj dviju lokacija u jednostrukom ciklusu znači da nema transportiranja palete sa jediničnim teretom od lokacije do lokacije. Jedino što se između dviju lokacija događa je eventualna rotacija palete za  $180^\circ$  ili spuštanje, odnosno, podizanje palete za samo jednu etažu bez potprocesa rotacije.

Naime, kada računalo uputi zahtjev slobodnom transportnom sredstvu (ovaj ciklus se obavlja jedino ako nema zahtjeva za cikluse pod a i pod b), jedino što ono mora učiniti je popuniti praznu lokaciju u regalu za ručno komisioniranje i to paletom koja se nalazi na najbližoj rezervnoj skladišnoj lokaciji. Najbliža rezervna skladišna lokacija se može nalaziti na istoj etaži i istoj sekciji kao i lokacija za ručno komisioniranje, ali s druge strane prolaza u drugom regalu. U tom slučaju potrebno je samo učiniti rotaciju u prolazu. Druga najbliža rezervna lokacija može biti u istom regalu i istoj sekciji kao i prazna lokacija za ručno komisioniranje, no budući da se prolazi za ručno komisioniranje nalaze na tri nivoa, rezervna lokacija može biti jedino na etaži iznad ili ispod prazne lokacije za ručno komisioniranje. U tom slučaju između rezervne lokacije i lokacije za ručno

komisioniranje postoji samo potproces podizanja ili spuštanja palete sa cjelovitim jediničnim teretom.

Osnovni koraci u ovakvom dvostrukom ciklusu u kojem se vrši samo popunjavanje praznih lokacija za ručno komisioniranje su slijedeći:

1. Vožnja praznog transportnog sredstva do prve prosječne rezervne lokacije
2. Izuzimanje palete sa jediničnim teretom sa rezervne lokacije
3. Rotacija ili spuštanje, odnosno, podizanje palete na mjestu u međuregalnom prolazu do lokacije za ručno komisioniranje
4. Uskladištenje palete sa cjelovitim jediničnim teretom u lokaciju za ručno komisioniranje
5. Povratak praznog transportnog sredstva na poziciju kod primopredajne stanice

Proračun ovog ciklusa prema metodi Bozer & White sličan je kao i kod gore prikazanih proračuna. Vrijeme vožnje kod ovog ciklusa popunjavanja jednako je vremenu vožnje kod jednostrukog ciklusa pod b, i iznosi:

$$t_{vožnje} = 37,65 \text{ sec}$$

Ovaj ciklus se razlikuje od jednostrukog ciklusa samo po razlici u konstantnom vremenu. Ukupno konstantno vrijeme potrebno koje transportno sredstvo potroši ( $t_k$ ) pri obavljanju procesa popunjavanja je izraženo kao zbroj vremena za odlaganje, izuzimanje i rotaciju u prolazu.

$$t_k = t_{kx} + t_{ky} + t_R$$

$t_{ky}$  – vrijeme izuzimanja palete sa prosječne lokacije ( y )

$t_R$  – vrijeme rotacije palete u međuregalnom prolazu

$t_{ky}$  – vrijeme odlaganja palete na skladišnu lokaciju u komisionom regalu ( y' )

Trajanje navedenih vremena jednako je kao i kod gore navedenih ciklusa pod a i pod b.

Ukupno konstantno vrijeme za operacija je dakle:

$$t_k = t_{ky} + t_{ky'} + t_R = 10,5 + 7,8 + 10 = 28,3 \text{ sec}$$

Ukupno prosječno vrijeme trajanja ciklusa popunjavanja iznosi:

$$t_{cp} = t_{vožnje} + t_k = 37,65 + 28,3 = 65,95 \text{ sec}$$

$$t_{cp} = 65,95 \text{ sec} = 1,1 \text{ min}$$

## 6. USPOREDBA PROJEKATA VNA i AS/RS SKLADIŠNIH SUSTAVA

Projekti VNA i AS/RS skladišnih sustava prikazani u 5. poglavlju ovog rada predstavljaju dva idejna rješenja za konkretan skladišni sustav. Kako bi investitor koji je inicirao razradu idejnih projekata lakše razlučio koje je od dva ponuđena rješenja prikladnije za neku konkretnu situaciju, potrebno je načiniti temeljitu i detaljnu analizu oba rješenja i na temelju kvalitativnih i kvantitativnih kriterija usporediti oba predložena rješenja.

Usporedba projekta VNA skladišnog sustava i projekta AS/RS skladišnog sustava može biti temeljena na više različitih kriterija, no u ovom radu će se uspoređivati na temelju osnovnih kriterija poput dimenzija, performansi, površina, operativnih performansi sustava, karakteristika opreme, kvalitativnih prednosti i nedostataka oba projekta, te razlika u investicijama, troškovima rada i slično.

Kako su oba projekta temeljena na ideji i konceptu Howarda Zollingera, tako će i usporedba biti temeljna na kriterijima koje je isti autor predložio kao bitne pri usporedbi oba koncepta. Prije same usporedbe treba napomenuti slijedeće:

- Zollingerovim idejnim konceptom nisu obuhvaćeni svi detalji
- nisu navedeni izvođači radova, proizvođači opreme, projektni rokovi i slično
- američko tržište razlikuje se od europskog tržišta po ponudi i asortimanu
- cijene opreme, cijene zemljišta i cijene građevinskih radova su okvirne i variraju
- troškovi energije i održavanja, te plaće radnika su okvirne i variraju
- nije definiran materijal koji se skladišti
- nije definiran fiksni broj zaposlenih u skladišnom sustavu

Kao prvi kriterij usporedbe VNA i AS/RS projekta uzeti su operativni uvjeti. Pod pojmom operativnih uvjeta podrazumijevaju se mogućnosti sustava pri izvršavanju predviđenih skladišnih procesa ovisno zahtjevima za traženi protok materijala kroz skladišni sustav, te postotak od ukupnog osoblja koje se bavi održavanjem, odnosno, nadzorom i upravljanjem sustava.

VNA skladišni sustav ima 8 transportnih vozila – viličara – koji su zajedno sposobni osigurati traženi protok ( prema projektnom zadatku ) od 120 dvostrukih ciklusa po satu, 120 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija, te 120 jednostrukih ciklusa po satu za uskladištenje novih paleta. Za svaki ciklus bi bilo potrebno po 4 minute. Ako se protok izrazi po jednom transportnom vozilu, tada svaki viličar obavlja 15 dvostrukih ciklusa po satu, 15 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija, te 15 jednostrukih ciklusa po satu za uskladištenje novih paleta. Proračun radnih ciklusa i vremena trajanja radnih ciklusa u VNA projektu ( vidi točku 5.2.5. )



ukazuje na to da su izabrani viličari pogodni za rad u ovakvim operativnim uvjetima. Također, za upravljanje viličarima je dnevno potrebno 16 ljudi, odnosno po dvojica za svaki viličar, jer se predviđa rad u dvije smjene. Oko 40 % osoblja koje radi u ovakvom VNA skladišnom sustavu trebalo bi biti zaduženo za održavanje, a oko 25 % osoblja trebalo bi biti zaduženo za nadzor i upravljanje skladišnog sustava.

AS/RS skladišni sustav ima 4 transportna sredstva – automatizirane dizalice – koje su instalirane u automatiziranom skladišnom sustavu. Ako bi se traženi protok izrazio po jednom transportnom sredstvu, onda bi jedna automatizirana dizalica mogla obavljati 30 dvostrukih ciklusa po satu, 30 ciklusa po satu za popunjavanje komisionih lokacija, te 30 jednostrukih ciklusa po satu za uskladištenje novih paleta. Prema proračunu skladišnih ciklusa ( vidi točku 5.3.5. ) instalirane automatizirane dizalice su sposobne omogućiti traženi protok materijala kroz sustav. Za upravljanje automatiziranim dizalicama ne treba radna snaga, pa iz tog razloga treba manje ljudi nego kod VNA skladišnog sustava. Također, smanjenju potrebe za radnom snagom uvelike pridonosi i manji postotak osoblja potrebnog za održavanje i nadzor. Za održavanje je potrebno 20 % ukupnog osoblja, a za nadzor je potrebno svega 10 % ukupnog osoblja zaposlenog u AS/RS skladišnom sustavu. Tablica 3 prikazuje usporedbu projekata VNA i AS/RS skladišnih sustava prema operativnim uvjetima.

Tablica 3. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema operativnim uvjetima

Zahtjevi sustava	VNA skladišni sustav	AS/RS skladišni sustav
120 dvostrukih ciklusa / sat	15 ciklusa/sat za 1 viličar	30 ciklusa/sat za 1 dizalicu
120 jednostrukih ciklusa / sat	15 ciklusa/sat za 1 viličar	30 ciklusa/sat za 1 dizalicu
120 ciklusa / sat za popunjavanje	15 ciklusa/sat za 1 viličar	30 ciklusa/sat za 1 dizalicu
broj vozača	16	0
osoblje za održavanje	40%	20%
osoblje za nadzor	25%	10%

Drugi kriteriji na temelju kojih će se usporediti AS/RS i VNA projekt skladišnog sustava biti će karakteristike opreme koja je predviđena za rad u skladišnom sustavu. Oprema koja najviše utječe na rad i funkcioniranje skladišnog sustava su transportna sredstva.

Brzine kretanja transportnog sredstva, kao i brzine podizanja, odnosno, spuštanja tereta već su navedene u oba projekta pod točkama 5.2.4. i 5.3.4. u tablicama 1 i 2. Iz tih tablica se vidi kako je automatizirana dizalica većih brža od viličara i u transportu i u podizanju, odnosno, spuštanju tereta. Također, automatizirana dizalica u AS/RS skladišnom sustavu ima veću nosivost i manje zahtjeve za širinu međuregalnog prolaza. Automatizirana dizalica je konstruirana na taj način da može podizati terete na puno veće visine i to od 40% do 50% više od viličara.

Oba projekta predviđaju palete sa bar kodovima sa dvije nasuprotne strane, za što je potreban sustav očitavanja. Očitavanje bar kodova kod VNA skladišnog sustava predviđeno je da se obavlja od strane operatera koji ima ručni čitač bar kodova. U automatiziranom skladišnom sustavu, automatizirana dizalica ima ugrađen podsustav za automatsko očitavanje bar kodova na paleti. Automatsko očitavanje bar kodova kod automatiziranih dizalica predstavlja prednost koda AS/RS skladišnog sustava u odnosu na VNA skladišni sustav iz razloga što smanjuje vrijeme očitavanja i grešku pri očitavanju koju može učiniti čovjek.

Što se tiče nadzora inventara i instalirane opreme u VNA skladišnom sustavu postoje dodatni bar kodovi i čitači pomoću kojih se prati i nadzire oprema. U automatiziranom skladišnom sustavu nadzor opreme je ugrađen u glavni računalni nadzorni i kontrolni sustav.

Slijedeći kriteriji predstavljaju temelj za kvalitativnu analizu oba sustava. Prednosti i nedostaci oba sustava s obzirom na kvalitativne kriterije su:

- čovjek operater kod VNA sustava može osigurati fleksibilnost, dok kod AS/RS sustava je prednost upravo to što se operacije obavljaju bez čovjeka. No, VNA skladišni sustav traži 16 radnika dnevno, što nije slučaj kod AS/RS
- za rad u VNA sustavu radnici moraju biti dobro uvježbani, dok kod AS/RS sustava uvježbavanje je kraće i svodi se na nadzor i upravljanje
- viličari u VNA sustavu su manje iskorišteni od AS/RS dizalica, jer radnici u VNA sustavu trebaju pauzu koja nije potrebna u AS/RS sustavu ( dizalice rade besprekidno)
- ako dođe do kvara na jednom od viličara, protok VNA sustava je smanjen za 12,5 %, dok je kod AS/RS sustava protok smanjen za 25 % zbog pokvari samo jedne dizalice
- oštećenje jediničnog tereta kod VNA sustava najvećim djelom je izazvano nepažnjom čovjeka, dok je mogućnost oštećenja proizvoda kod AS/RS sustava smanjena uz korištenje adekvatnih senzora ugrađenih u računalni nadzorni sustav
- VNA skladišni sustavi zahtijevaju barem 50 % veću skladišnu površinu, nego AS/RS sustavi
- proširenje VNA skladišnog sustava može se postići dodavanjem dodatnog prolaza za komisioniranje i povećanjem duljine skladišnih regala, no kod AS/RS se mogu samo produljiti regali

- sigurnost se kod AS/RS može postići ogradama i vratima koja sprječavaju pristup čovjeka u potencijalno opasnu zonu

- kod VNA sustava često znaju nestati pojedini predmeti, oprema i slično iz nepoznatih razloga, dok kod AS/RS sustava je sve praćeno glavnim računalnim nadzornim sustavom

- održavanje je podjednako kod oba sustava

- pouzdanost je nešto manja kod VNA sustava zbog hidraulike i baterija viličara, dok PLC uređaji u AS/RS skladišnim sustavima imaju manju vjerojatnost kvara

Kao jedan od najbitnijih kriterija koji utječe na donošenje odluke pri izboru idejnog rješenja kod projektiranja skladišnog sustava je kriterij troškova. Troškovi su grubo podijeljeni na investicijske troškove i operativne troškove sustava. Budući da točni iznosi troškova za europsko tržište nisu poznati (proizvođači ne daju cijene u javnost, cijene radnog sata variraju i slično), kao okvirna smjernica za usporedbu dvaju skladišnih sustava koristiti će se Zollingerov okvirni proračun eventualnih troškova, izražen u američkim dolarima.

Investicijski troškovi su troškovi koji se odnose na početna ulaganja. Tu se ubrajaju cijene regala, cijene transportnih sredstava, cijene sustava za nadzor i upravljanje, te cijene sustava za zaštitu od požara. Također u investicijske troškove treba ubrojiti cijenu zemljišta i ukupne troškove izgradnje objekta.

Tablica 4. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema investicijskim troškovima

<b>Investicijski troškovi</b>	<b>VNA skladišni sustav</b>	<b>AS/RS skladišni sustav</b>
Ukupni troškovi svih transportnih sredstava	803 000 \$	1 742 000 \$
Ukupni troškovi skladišnih regala	1 288 000 \$	2 373 000 \$
Troškovi sustava za nadzor i upravljanje	48 000 \$	225 000 \$
Troškovi protupožarne zaštite	475 000 \$	350 000 \$
Ukupni troškovi izgradnje	3 403 000 \$	2 926 377 \$
Troškovi zemljišta	808 000 \$	415 464 \$
<b>Ukupni investicijski troškovi</b>	<b>6 825 000 \$</b>	<b>8 031 841 \$</b>

Tablica 4 prikazuje usporedbu investicijskih troškova kod VNA skladišnog sustava i kod AS/RS skladišnog sustava. Iz tih podataka može se lako uočiti kako su investicijski troškovi uloženi u automatizirani skladišni sustav oko 15% veći od investicijskih troškova uloženi u VNA skladišni sustav. To je uglavnom zato što su ukupni troškovi automatiziranih dizalica (iako ih ima dvostruko manje – četiri ) puno veći od ukupnih troškova svih osam viličare zajedno. Također, kod automatiziranih skladišnih sustava potrebno je nešto više financijskih sredstava uložiti u kvalitetni sustav nadzora, kontrole i upravljanja ( senzori, računala, software...). Osim toga, povećanju investicijskih troškova kod automatiziranih skladišnih sustava doprinosi i to što su AS/RS skladišni regali znatno skuplji od regala instaliranih u VNA skladišnom sustavu. No, troškovi izgradnje objekata i cijene zemljišta su kod VNA skladišnog sustava veći za oko 20 %, iz razloga što je kod VNA skladišnog sustava potrebna i veća skladišna površina, odnosno veće zemljište.

Operativni troškovi sustava podrazumijevaju direktne i indirektne troškove ljudskog rada ( plaće radnika, troškove potrošnog materijala i slično), troškove nadzora i upravljanja, troškove energije, grijanja, osvjetljenja, te troškove održavanja. Operativni troškovi su ovdje navedeni kao troškovi koji nastaju pri normalnom funkcioniranju sustava unutar eksploatacijskog perioda od jedne godine. Tablica 5 prikazuje iznose operativnih troškova u američkim dolarima u razdoblju od jedne godine.

Tablica 5. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema operativnim troškovima

<b>Operativni troškovi</b>	<b>VNA skladišni sustav</b>	<b>AS/RS skladišni sustav</b>
Direktni troškovi rada	560 000 \$	0 \$
Indirektni troškovi rada	28 000 \$	14 000 \$
Troškovi nadzora i upravljanja	17 500 \$	7 000 \$
Troškovi energije, grijanja i osvjetljenja	152 615 \$	92 989 \$
Troškovi održavanja	24 088 \$	17 422 \$
<b>Ukupni operativni troškovi za jednu godinu</b>	<b>782 203 \$</b>	<b>131 411 \$</b>

Na temelju navedenih podataka zaključuje se da su operativni troškovi kod AS/RS skladišnog sustava manji za oko 83% od operativnih troškova VNA skladišnog sustava na godišnjoj razini. Jedan od razloga je opet zbog manje površine skladišnog sustava, što umanjuje troškove grijanja, osvjetljenja i energije, kao i troškove održavanja. No, glavni razlog velike razlike u operativnim troškovima je to što kod AS/RS skladišnih sustava nema direktnih troškova ljudskog

rada, dok se za funkcioniranje VNA skladišnog sustava mora plaćati 16 radnika dnevno. Također, kod AS/RS sustava su troškovi nadzora i upravljanja skladišnim sustavom puno manji, nego kod VNA skladišnog sustava.

Ekonomska analiza svih ukupnih troškova ( i investicijskih i operativnih ) ukazuje na to da je unatoč većim početnim ulaganjima ipak profitabilnije investirati u automatizirani skladišni sustav, nego u VNA skladišni sustav. Razlog tome je stopa povratka investicije kod automatiziranih skladišnih sustava veća nego kod VNA skladišnih sustava. Zollingerova analiza dodatno pokazuje da automatizirano skladište vrati uloženu investiciju već nakon 2 godine. VNA skladišni sustav će dugoročno biti manje profitabilan i skuplji iz razloga što AS/RS skladišni sustav uštedi 650 792 \$ godišnje više od VNA skladišnog sustava zbog puno manjih operativnih troškova.

## 7. ZAKLJUČAK

Na temelju oba projekta prikazana u 5. poglavlju ovog završnog rada dobivene su spoznaje o razlikama između klasičnih izvedbi i automatiziranih izvedbi skladišnih sustava. Unatoč suvremenim trendovima da se automatiziraju svi proizvodni procesi, pa tako i skladišni procesi, mnogi vlasnici ili odgovorni rukovoditelji poduzeća ipak će dobro razmisliti prije nego donesu odluku o potrebi za automatizacijom svojih skladišnih sustava.

Postoje mnogi razlozi koji utječu na donošenje odluke o investiranju u automatizirani skladišni sustav. Također, kao što je rečeno u 6. poglavlju ovog završnog rada, automatizirani skladišni sustavi, uz odgovarajući kontrolni sustav i računalnu podršku, smanjuju mogućnost pogreške koju klasični skladišni sustavi imaju zbog utjecaja ljudskog faktora. Osim toga, automatizirani skladišni sustavi traže puno manju skladišnu površinu, nego klasični. Poboljšanja skladišnih procesa koja se mogu postići primjenom automatiziranih skladišnih sustava izravno utječu i na poboljšanje procesa proizvodnje. Automatizirani skladišni sustav će osigurati bolje, učinkovitije i sigurnije snabdijevanje proizvodnih procesa materijalom i sirovinom, a također pridonosi i poboljšanju procesa skladištenja gotovih proizvoda, te povećanim kapacitetima skladišta gotovih proizvoda omogućuje i eventualna povećanja proizvodnje. Smanjenje potrebne skladišne površine ovdje se postiže iskorištenjem visine, pa se na taj način povećava kapacitet sustava. Na primjer, kod proizvodnje obradom odvajanjem čestica vrijeme zastoja uz korištenje klasičnih skladišnih sustava iznosi 80 do 90% zbog čekanja materijala i sirovina, a samo 10 do 20 % ukupnog vremena proizvodnje utrošeno je na obradu. Ukoliko se proizvodnja logistički opskrbljuje iz automatiziranih skladišnih sustava, udio vremena obrade u ukupnom vremenu proizvodnje može iznositi i 40 do 50 %, što predstavlja značajno povećanje produktivnosti. Unatoč nešto većim investicijskim troškovima, ovakav skladišni sustav će vratiti uložena sredstva već nakon 2 godine, što je vrlo visoka stopa povrata investicije uz činjenicu da se skladišni sustavi izgrađuju sa vijekom trajanja minimalno 10-15 godina.

I VNA skladišni sustavi imaju svojih prednosti. Ukoliko se pri procesima proizvodnje koristilo klasično skladište sa širokim međuregalnim prolazima, manjim investiranjem u bolju i suvremeniju opremu uz potrebnu rekonstrukciju postojećeg u VNA skladišni sustav, mogu se postići određene uštede, povećanje kapaciteta i povećanje protoka skladišnog sustava. Ukoliko proizvodno poduzeće nastoji povećati svoju proizvodnju, investicija u VNA skladišni sustav može se također pokazati kao dobro rješenje. Troškovi investicije su manji ( vidi tablicu 4, str. 96. ) od troškova investicije u AS/RS skladišni sustav. Ako zbog promijene asortimana u proizvodnji ili zbog nekih drugih razloga dođe promjena skladišnih procesa, ljudski faktor ovdje predstavlja dobru mogućnost prilagodbe novo nastalim uvjetima u sustavu i osigurava određeni stupanj fleksibilnosti sustava, što se teško ostvaruje kod automatiziranih skladišnih sustava.

Ipak, unatoč svim gore navedenim razlozima, često puta je osnovni kriterij pri donošenju odluke o vrsti skladišnog sustava upravo količina investicijskih sredstava i spremnost poduzeća da uloži u automatizirani skladišni sustav. Automatizirani skladišni sustavi su se pokazali kao dobro rješenje unatoč nižem stupnju fleksibilnosti nego VNA sustavi, upravo iz razloga što su automatizirani! Cijena ljudskog rada je najskuplji trošak skladišnog sustava. Stoga će donošenje odluke da se krene u realizaciju projekta automatiziranog skladišnog sustava biti vrlo dobra strateška odluka menadžmenta u svrhu povećanja likvidnosti poduzeća ukoliko se razmišlja o unaprjeđenju skladišnog sustava, ako poduzeće, naravno, ima dovoljno investicijskih sredstava i potrebnog kapitala.

## 8. LITERATURA

Kao literatura pri izradi ovog završnog rada korišteni su slijedeći izvori:

- [ 1. ] Oluić, Č. Skladištenje u industriji : rukovanje materijalom, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.
- [ 2. ] Zollinger, H. As/rs application, benefits and justification in comparison to other storage methods: A white paper, Zollinger Associates Inc., Michigan, SAD, 2001.
- [ 3. ] Piasecki, D. The Aisle Width Decision, elektronsko izdanje, 2009.
- [ 4. ] Linde Material Handling GmbH, Službeni katalog, [www.linde-mh.com](http://www.linde-mh.com), Postfach Aschaffenburg, Njemačka, 2009.
- [ 5. ] *Stöcklin Logistik AG*, Službeni katalog, [www.stoecklin.com](http://www.stoecklin.com), Njemačka, 2009.
- [ 6. ] Đukić, G. Predavanja – Posebna poglavlja tehničke logistike, FSB, Zagreb, 2009.
- [ 7. ] Internet, službene stranice:
  - [www.linde-mh.com](http://www.linde-mh.com)
  - [www.stoecklin.com](http://www.stoecklin.com)
  - [www.mhia.org](http://www.mhia.org)
  - [www.raymondcorp.com](http://www.raymondcorp.com)
  - [www.bastiansolutions.com](http://www.bastiansolutions.com)
  - [www.viastore.com](http://www.viastore.com)
  - [www.cisco-eagle.com](http://www.cisco-eagle.com)
  - [www.icinzenjering.com](http://www.icinzenjering.com)
  - [www.vilicar.net](http://www.vilicar.net)
  - [www.vistamation.com](http://www.vistamation.com)
  - [www.fortunatus.hr](http://www.fortunatus.hr)
  - [www.gradimo.hr](http://www.gradimo.hr)
  - [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)



## 9. PRILOG

Prilog završnom radu je popis slika, tablica, oznaka i mjernih jedinica, kao i 6 crteža formata A3, koji su rađeni u sklopu projekata navedenih u 5. poglavlju. Također, priložen je i CD sa elektronskom verzijom završnog rada u PDF formatu.

### 9.1. Popis slika

Slika 1. Europaleta; str. 16.

Slika 2. Konzolni regal; str. 25.

Slika 3. Prolazni regal; str. 26.

Slika 4. Protočni regal; str. 27.

Slika 5. Dvostruki „push back“ protočni regal; str. 28.

Slika 6.a Široki prolaz; str. 33.

Slika 6.b Uski prolaz; str. 33.

Slika 6.c Vrlo uski prolaz; str. 33.

Slika 7.a Viličar za široke prolaze; str. 36.

Slika 7.b Viličar za VNA skladišta; str. 36.

Slika 8. Viličar sa proširenim postoljem; str. 37.

Slika 9. Mehanički sustav vođenja; str. 38.

Slika 10. Žičani sustav vođenja; str. 38.

Slika 11. „Unit load AS/RS“ automatizirani skladišni sustav; str. 41.

Slika 12.a Automatizirana dizalica sa horizontalnim parom vilica; str. 42.

Slika 12.b Automatizirana dizalica sa vertikalnim parom vilica; str. 42.

Slika 13. „Mini load AS/RS“ automatizirani skladišni sustav; str. 44.

Slika 14. „Person-on-board“ skladišni sustav; str. 45.

Slika 15. Horizontalni karusel; str. 47.

Slika 16. Vertikalni karusel; str. 48.

Slika 17. Vertikalni podizni modul; str. 49.

Slika 18.a Dimenzije jediničnog tereta; str. 60.

Slika 18.b Dimenzije skladišne lokacije; str. 60.

## 9.2. Popis tablica

Tablica 1. Tehnički podaci viličara Linde K-13; str. 63.

Tablica 2. Tehnički podaci dizalice Stöcklin MASTer 24; str. 83.

Tablica 3. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema operativnim uvjetima; str. 94.

Tablica 4. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema investicijskim troškovima; str. 96.

Tablica 5. Usporedba VNA i AS/RS sustava prema operativnim troškovima; str. 97.

## 9.3. Popis oznaka i mjernih jedinica

$N_s$  - broj transportnih sredstava

$N_{p\_uk}$  - ukupni broj međuregalnih prolaza

$N_{p\_v}$  - broj prolaza za viličar

$N_{p\_d}$  - broj prolaza za transportne dizalice:

$N_{p\_k}$  - broj prolaza za komisioniranje

$n_{LA}$  - broj pozicija (lokacija) u dužinu regala

$n_{LB}$  - broj pozicija (lokacija) u širinu regala

A - dužina skladišnog regala ( mm )

B - širina skladišnog regala ( mm )

C - visina skladišnog regala ( mm )

$a_L$  - širina skladišne lokacije ( mm )

$b_L$  - dubina skladišne lokacije ( mm )

$c_L$  - visina skladišne lokacije ( mm )

$d_p$  - dužina palete ( mm )

$\check{s}_p$  - širina palete ( mm )

$v_p$  - visina palete ( mm )

$e_d$  - uzdužni razmak između paleta u regalu ( mm )

$e_s$  - širinski razmak između paleta u regalu ( mm )

$e_v$  - dodatak za podizanje jediničnog tereta ( mm )

$e_{C1}$  - dodatak za visinu regala od poda do najniže skladišne lokacije ( mm )

$e_{C2}$  - dodatak za visinu iznad regala ( mm )

$h_T$  - maksimalna visina jediničnog tereta bez palete ( mm )

V - širina prolaza za viličare ( mm )

D - širina prolaza za automatizirane dizalice: = 1600 mm

K - širina komisionih prolaza ( mm )

$p_1$  - širina prolaza na kraju regala ( mm )

$p_2$  - širina prolaza za manevriranje na prednjem dijelu ( mm )

Ast ( mm ) - minimalna širina prolaza za odabrani viličar

$P_{VNA}$  - ukupna VNA skladišna površina (  $m^2$  )

$P_{AS/RS}$  - ukupna AS/RS skladišna površina (  $m^2$  )

$t_{vožnje}$  - vrijeme vožnje transportnog sredstva u jednom ciklusu ( s )

$t_k$  - konstantno vrijeme u jednom ciklusu ( s )

$t_{kp}$  - vrijeme izuzimanja palete na primopredajnoj stanici ( s )

$t_{kx}$  - vrijeme odlaganja palete na prvoj prosječnoj lokaciji ( s )

$t_{ky}$  - vrijeme izuzimanja palete sa druge prosječne lokacije ( s )

$t_R$  - vrijeme rotacije palete u međuregalnom prolazu ( s )

$t_{ky}$  - vrijeme odlaganja palete skladišnoj lokaciji u komisionom regalu ( s )

$t_{dc}$  - ukupno prosječno vrijeme trajanja dvostrukog ciklusa ( s )

$t_{jc}$  - ukupno prosječno vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa ( s )

$t_{cp}$  - ukupno prosječno vrijeme trajanja ciklusa popunjavanja ( s )

$v_{x \max}$  - maksimalna horizontalna brzina transportnog sredstva ( m/s )

$v_{y \max}$  - maksimalna vertikalna brzina transportnog sredstva ( m/s )

Q - nosivost transportnog sredstva (kg ili N )

#### 9.4. Tehnički crteži

List 1 – Tloct VNA skladišne zone

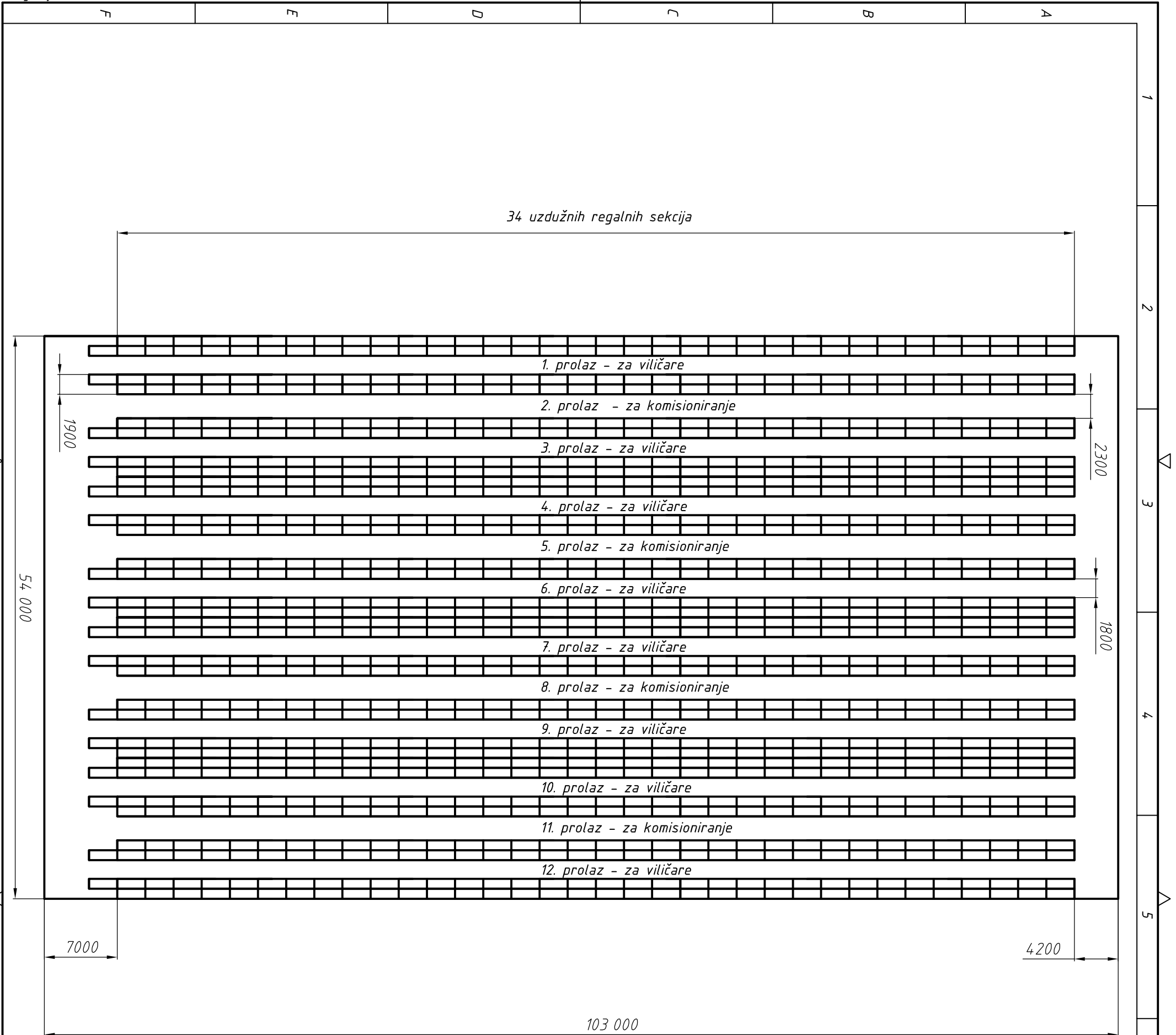
List 2 – Tloct AS/RS skladišne zone

List 3 – VNA regal za komisioniranje

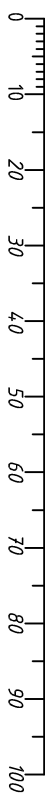
List 4 – VNA skladišni regal

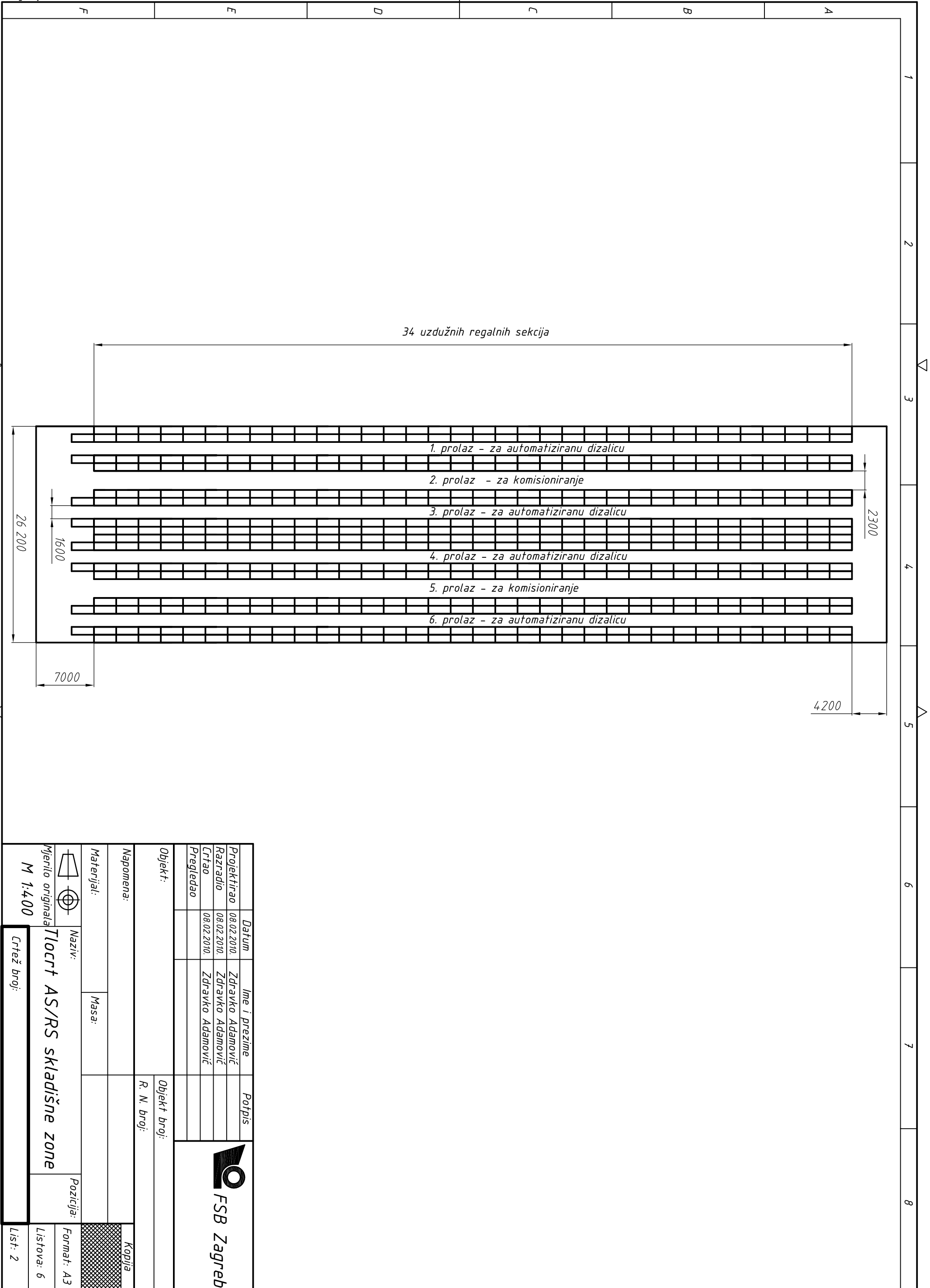
List 5 – AS/RS regal za komisioniranje

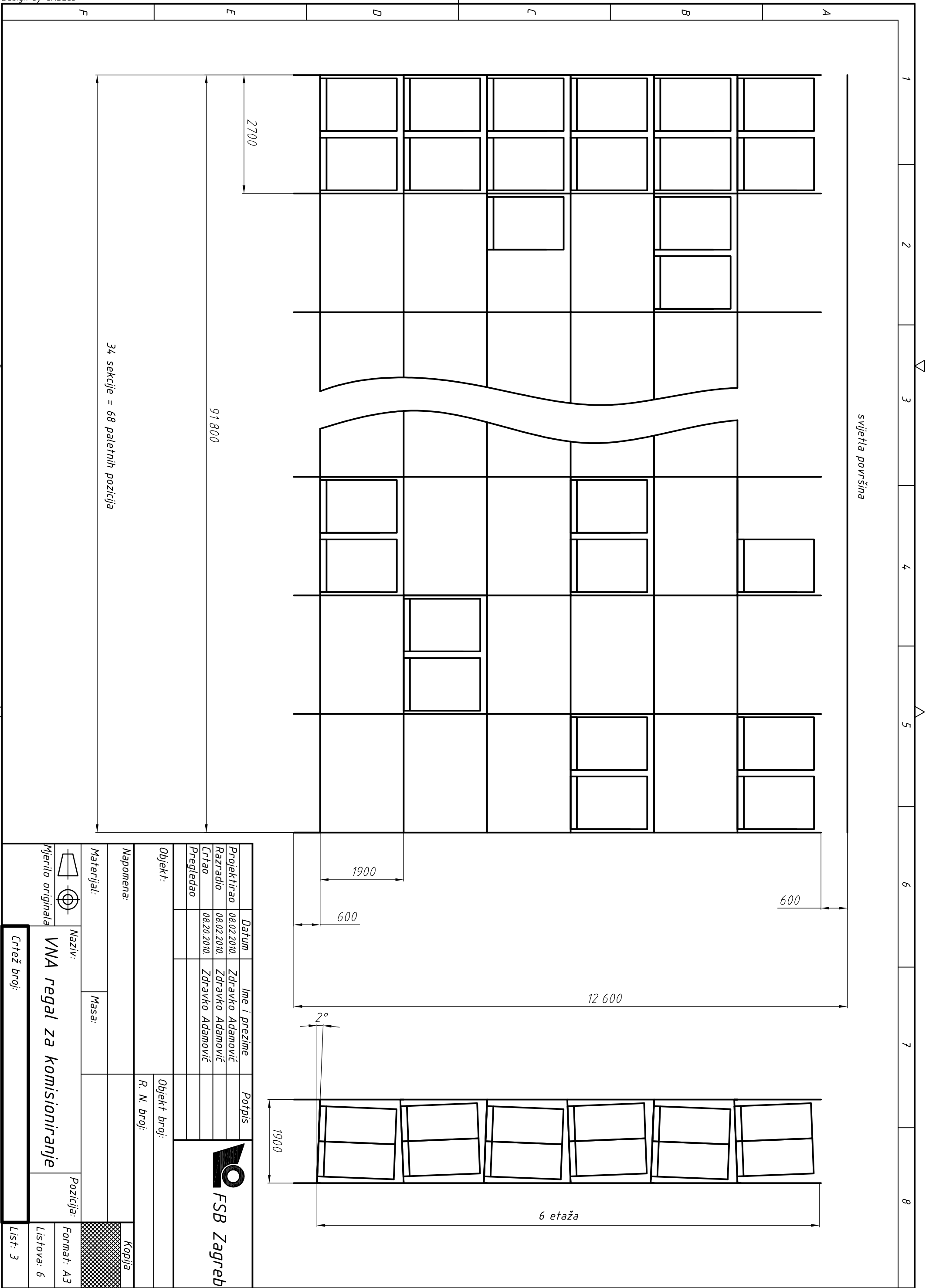
List 6 – AS/RS skladišni regal



Projektirao		Datum		Ime i prezime		Potpis	
Razradio		08.02.2010.		Zdravko Adamović			
Crtao		08.02.2010.		Zdravko Adamović			
Pregledao							
Objekt:				Objekt broji:			
Napomena:				R. N. broji:			
Materijal:		Masa:		Kopija			
Naziv:		Mjerno originala		Format: A3		Listova: 6	
M 1:400		Tlocrt VNA skladišne zone		List: 1			
Crtež broji:							







34 sekcije = 68 paletnih pozicija

svijetla površina

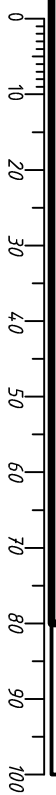
<b>Projektirao</b>	08.02.2010.	Zdravko Adamović	Potpis
<b>Razradio</b>	08.02.2010.	Zdravko Adamović	
<b>Crtao</b>	08.20.2010.	Zdravko Adamović	
<b>Pregledao</b>			

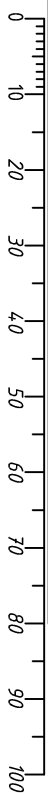
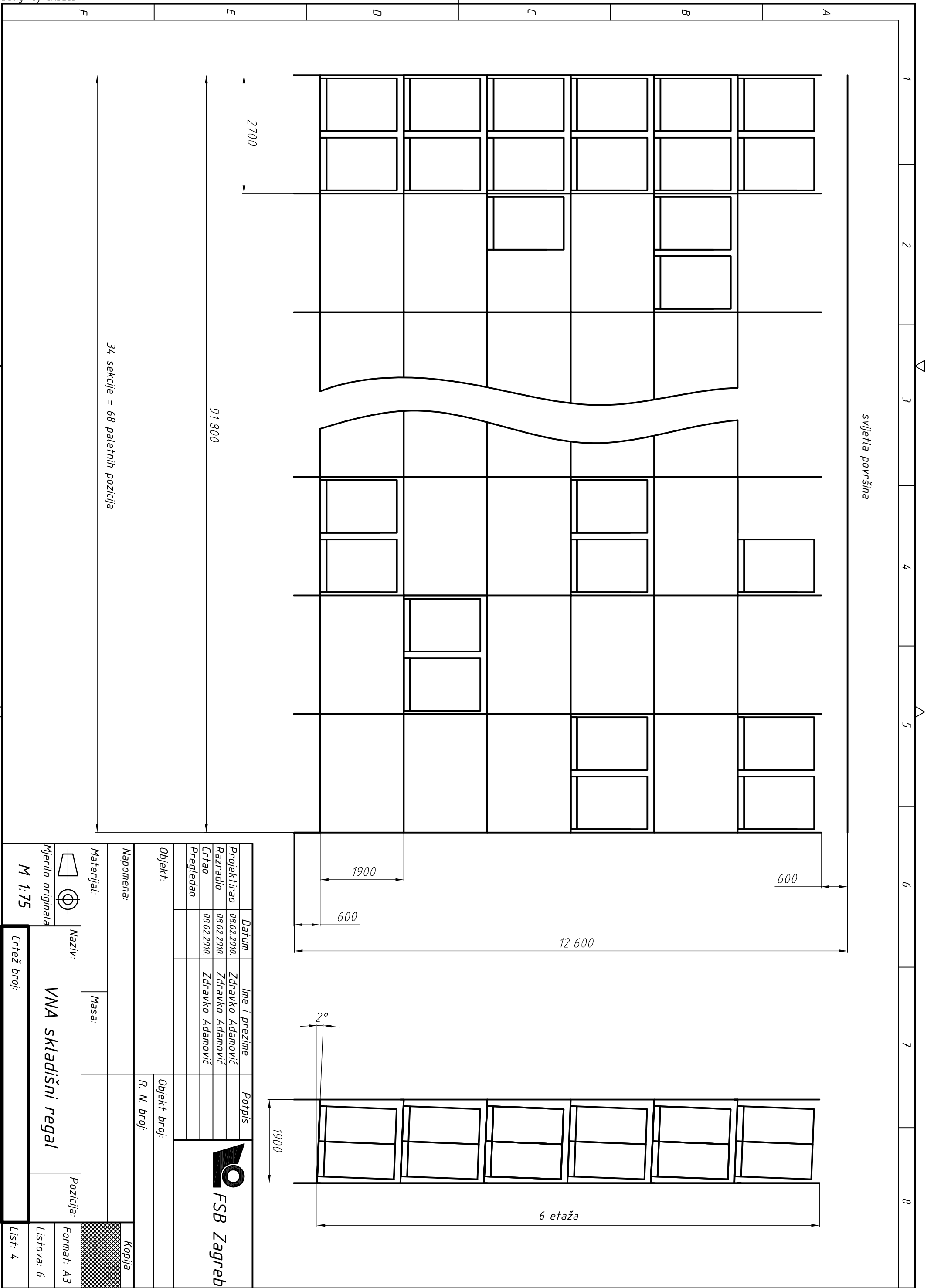


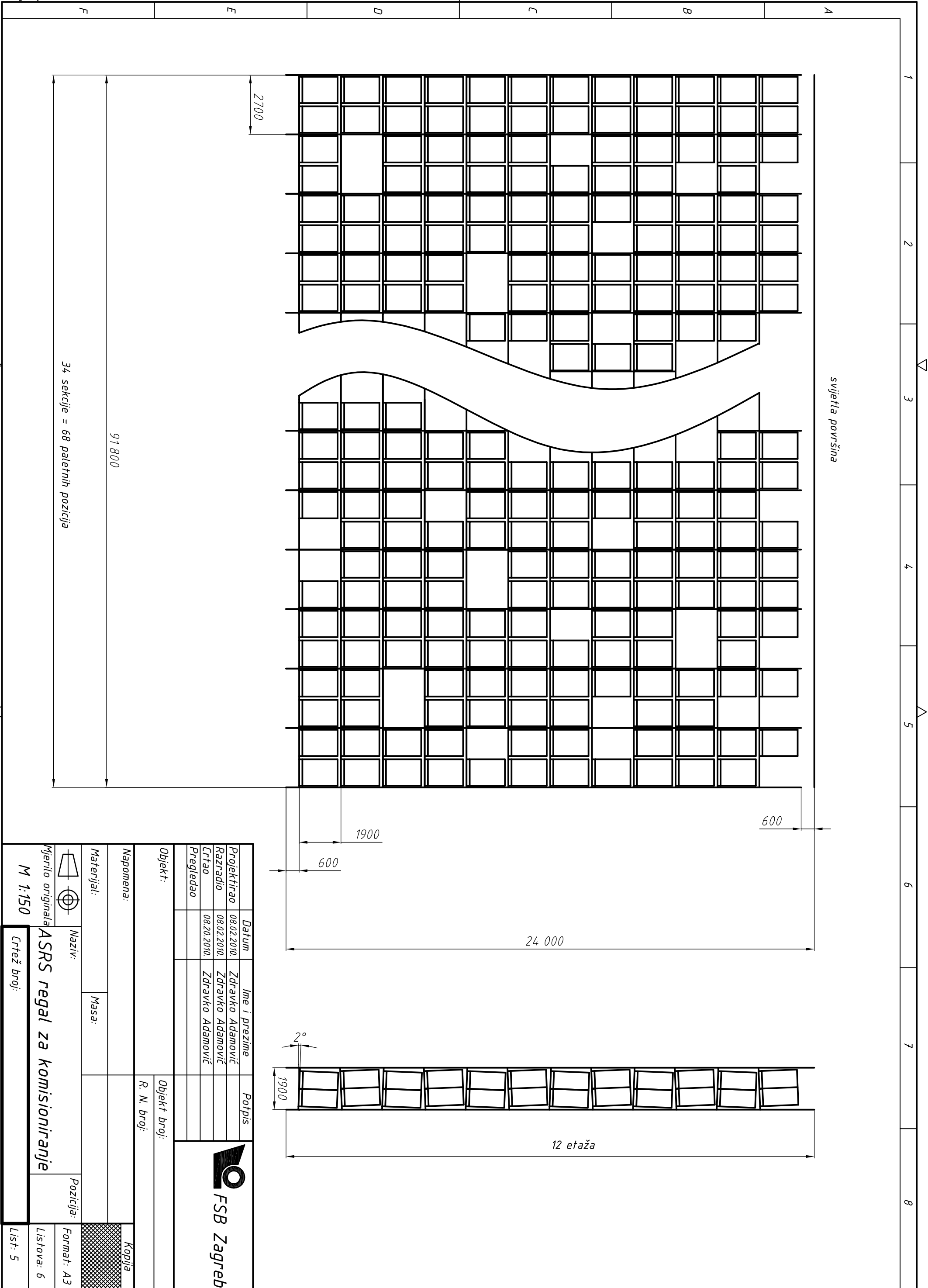
<b>Objekt:</b>	Objekt broj:
<b>Napomena:</b>	R. N. broj:
<b>Materijal:</b>	Masa:

<b>Naziv:</b>	VNA regal za komisioniranje
<b>Format:</b>	A3
<b>Listova:</b>	6
<b>List:</b>	3

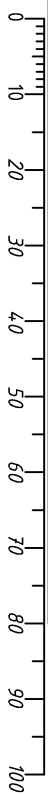
<b>Crtež broj:</b>	
<b>Mjerilo originala</b>	



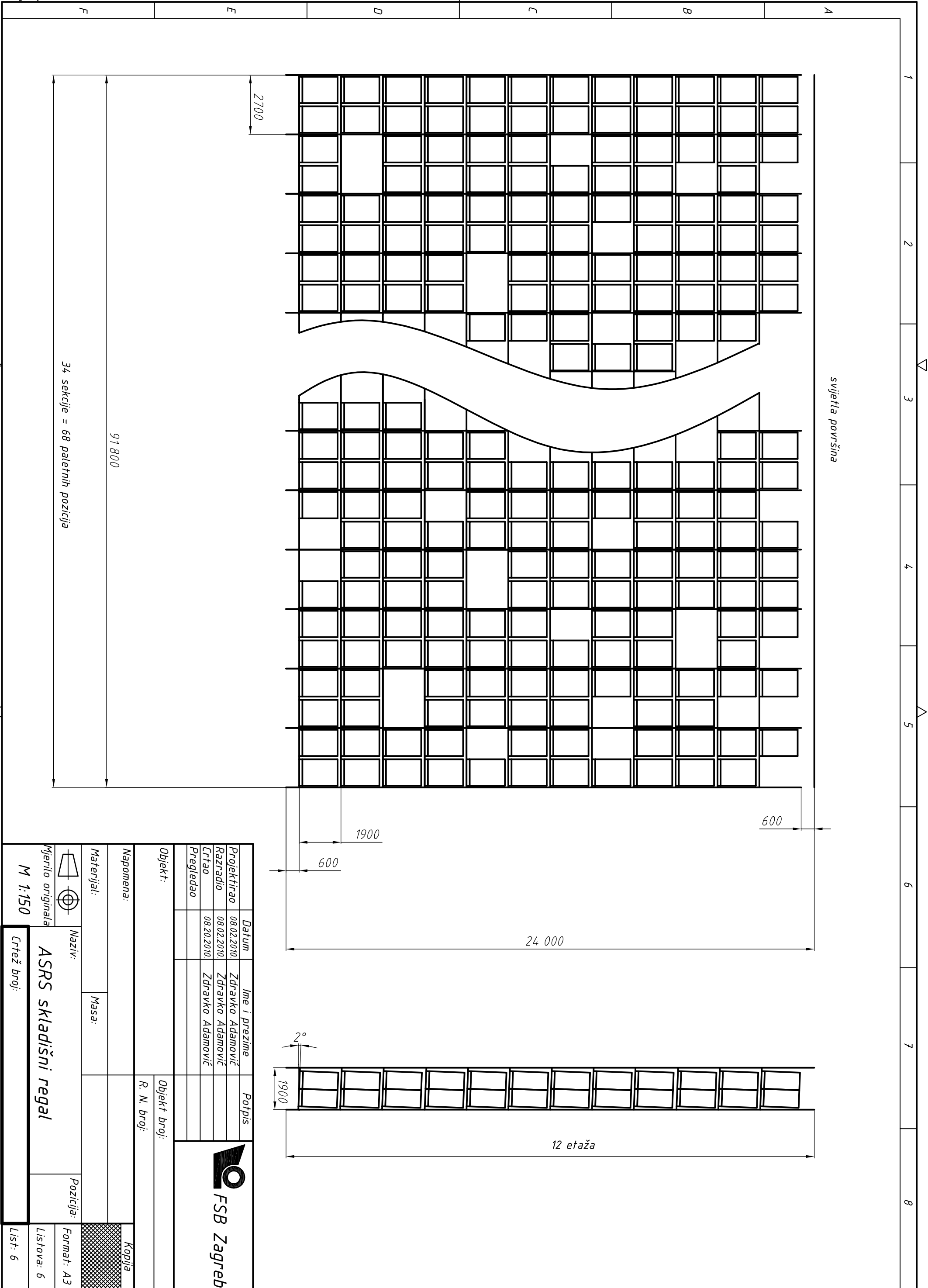




Projektirao		Datum		Ime i prezime		Potpis	
Razradio		08.02.2010.		Zdravko Adamović			
Crtao		08.02.2010.		Zdravko Adamović			
Pregledao							
Objekt:				Objekt broji:			
Napomena:				R. N. broji:			
Materijal:		Masa:		Kopija			
Naziv:		Pozicija:		Format: A3			
Mjerilo originala		M 1:150		Listova: 6			
Crtež broji:				List: 5			







<b>Projektirao</b>	08.02.2010.	Zdravko Adamović	Portpis
<b>Razradio</b>	08.02.2010.	Zdravko Adamović	
<b>Crtao</b>	08.20.2010.	Zdravko Adamović	
<b>Pregledao</b>			
<b>Objekt:</b>	Objekt broji:		
<b>Napomena:</b>	R. N. broji:		
<b>Materijal:</b>	<b>Masa:</b>	<b>Kopija</b>	
<b>Naziv:</b>	<b>ASRS skladišni regal</b>		
<b>Mjerilo originala</b>	M 1:150	<b>Format:</b>	A3
<b>Crtež broji:</b>	Listova: 6		
<b>FSB Zagreb</b>			

