

UNIVERZITET U BEOGRADU

SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Dragan B. Đurđević

**RAZVOJ MODELA ZA IZBOR I
UOBLIČAVANJE KOMISIONE ZONE**

doktorska disertacija

Beograd, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC
ENGINEERING

Dragan B. Đurđević

**DEVELOPMENT OF MODELS FOR
ORDER PICKING AREA SELECTION
AND DESIGN**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

MENTOR

Redovni profesor dr Momčilo Miljuš,
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

ČLANOVI KOMISIJE

Redovni profesor dr Momčilo Miljuš,
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

Redovni profesor dr Vladeta Gajić,
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Vanredni profesor dr Milorad Kilibarda,
Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet

datum odbrane: _____

Razvoj modela za izbor i uobličavanje komisijone zone

REZIME:

U savremenim uslovim poslovanja skladište je bitna logistička komponenta lanaca snabdevanja. Pred njega se postavljaju sve kompleksniji zadaci, što u značajnoj meri usložnjava njegovu strukturu i funkcionisanje – pre svega procesa koji se realizuju. Od tih procesa, a naročito u slučaju skladišta distributivnog tipa (Distributivnog centra), posebno mesto imaju procesi komisijoniranja. Performanse procesa komisijoniranja su u velikoj meri zavisne od izabrane – primenjene tehnologije skladištenja, layout-a, tehnološkog oblika komisijonog sistema, i načina na koji je sam proces organizovan i upravljan. Veoma značajan aspekt ovog problema, do sada nedovoljno istražen u literaturi, odnosi se direktno na pitanje izbora i uobličavanja komisijone zone. Ovaj problem u svom integralnom obliku bio je predmet istraživanja u okviru ove disertacije. Za rešavanje problema izbora i uobličavanja komisijone zone je predložena i razvijena nova iterativna procedura sa dva hijerarhijska nivoa odlučivanja. Na prvom nivou – u okviru konceptualne faze identifikuju se prihvatljive varijantne tehnološke koncepcije komisijone zone. Za dolaženje do skupa prihvatljivih varijanti se predlaže i primenjuje novi metodološki pristup koji, u odnosu na standardne, omogućava brže rešavanje zadataka generisanja i izbora. Na drugom nivou procedure, u fazi uobličavanja varijanti, pristupa se njihovom dovođenju u svoj najpovoljniji oblik. Tom prilikom se određuju bitni projektni parametri sa ciljem ostvarenja zadatih performansi skladišnog sistema, odnosno njegovog sistema za komisijoniranje. Centralno mesto na ovom nivou procedure ima određivanje veličine komisijone zone zbog njenog velikog uticaja na performanse i operativne troškove. Za određivanje optimalne veličine komisijone zone predlaže se primena odgovarajućeg iterativnog postupka. U okviru ovog postupka za rešavanje određenih zadataka odlučivanja koriste se

odgovarajući parcijalni modeli (pre svega za optimalnu alokaciju skladišnog kapaciteta na robe i za procenu specifičnih skladišnih troškova). U postupak određivanja optimalnih veličina komisione zone uključene su sve izabrane varijantne koncepcije identifikovane na prvom hijerarhijskom nivou. Procedura se završava, shodno uvedenim kriterijumima, izborom predloga rešenja koncepcije komisione zone koji se koristi u daljim fazama procesa projektovanja skladišta. Radi demonstracije predložene procedure dat je prikaz njene primene na karakterističnom zadatku projektovanja komisione zone u skladištu. Analiza ostvarenih rezultata je pokazala značajan nivo primenljivosti ove procedure i njenih parcijalnih modela na rešavanje problema u domenu izbora i uobličavanja komisione zone u procesu tehnološkog projektovanja skladišta.

Ključne reči: *komisioniranje, komisiona zona, skladište, procedura projektovanja*

Naučna oblast: *Logistika*

Uža naučna oblast: *industrijska logistika, lanci snabdevanja, skladišni sistemi*

UDK: 621.796: 005.5(043.3)

DEVELOPMENT OF MODELS FOR ORDER PICKING AREA SELECTION AND DESIGN

Abstract:

In a modern business environment warehouse represents an important logistic component of supply chains. Warehousing faces increasing complexity of tasks, which results in higher complexity of a warehouse's structure and its operations. That is especially notable in distribution type of the warehouses (distribution centers - DC), where order picking processes are dominant type of processes. Order picking performances mostly depend on chosen or applied warehousing technology, layout, technological design of an order picking system and the process organization and control. Selection and design of an order picking area is one important aspect of this problem which is not much covered in the literature and therefore represents main research focus of this doctoral dissertation. As the solution for the problem of the order picking areas selection and design, a new iterative procedure based on two hierarchical decision levels has been proposed and developed. Acceptable variants of a technological concept of the order picking area are identified on the first level (conceptual level). This methodological approach enables faster solving process with respect to develop and selection of order picking area than the standard one. On the second level, which is focused on a design of technological variants, order picking area variants have been adapted to achieve their most adequate form. In this level, relevant project parameters have been determined, so that goal performances of the warehousing system, i.e. its order picking system are achieved. Focus of this level is an issue of the order picking size, due to its influence to performances and operational costs. An iterative modeling/designing procedure has been proposed and applied in order to find an optimal size of the order picking area. In this procedure specific partial models have been used to find optimal allocation of warehousing capacity to (particular) stock (types), as well as to estimate specific warehousing costs. The

procedure of finding the optimal size of order picking area includes all selected technological variants identified in the first hierarchical level. The procedure is ending when, according on selected criteria, the solution for order picking area is found. This solution is then used in further phases of the warehouse design project. To test proposed procedure, one characteristic task of the order picking design is solved. Analysis of results shows that the proposed procedure and partial models have significant level of applicability for problems that belong to the area of selection and design of the order picking area, within process of the technological design of the warehouse.

Keywords: *order picking, order picking area, warehouse, design procedure*

Scientific area: *Logistics*

Field of Academic Expertise: *industrial logistics, supply chains, warehouse systems*

UDC: 621.796: 005.5(043.3)

SADRŽAJ

SPISAK SLIKA	III
SPISAK TABELA.....	V
SPISAK SKRAĆENICA.....	VI
UVOD.....	1
1 MESTO I ULOGA KOMISIONE ZONE U SKLADIŠNOM SISTEMU	8
1.1 Skladište.....	9
1.1.1 Tipovi skladišta	11
1.1.2 Osnovni skladišni procesi i funkcionalne celine.....	14
1.2 Komisioniranje - Komisioni sistemi.....	19
1.2.1 Tehnološki aspekt	22
1.2.2 Organizacioni aspekt.....	31
1.2.3 Upravljački aspekt.....	34
1.2.4 Tendencije u razvoju komisionih sistema.....	39
1.3 Komisiona zona.....	40
2 PROBLEMI PRI IZBORU I UOBLIČAVANJU KOMISIONE ZONE.....	50
2.1 Proces projektovanja skladišta	51
2.2 Projektne odluke za izbor i uobličavanje komisione zone	58
2.3 Pregled relevantnih istraživanja	63
2.3.1 Radovi posvećeni procedurama projektovanja	63
2.3.2 Radovi posvećeni primenljivim projektnim metodologijama.....	66

2.3.3	Radovi posvećeni specifičnim projektnim odlukama.....	68
2.4	Zaključni komentar.....	78
3	RAZVOJ POSTUPKA ZA IZBOR I UOBLIČAVANJE KOMISIONE ZONE	80
3.1	Procedura za rešavanje PIUKZ.....	82
3.1.1	Definisanje projektnog zadatka za izbor i uobličavanje KZ	84
3.1.2	Generisanje i izbor prihvatljivih varijantnih TKKZ	89
3.2	Uobličavanje TKKZ.....	103
3.2.1	Postupak za određivanje veličine KZ	104
3.2.2	Optimizacioni model alokacije	107
3.2.3	Troškovni model.....	112
3.3	Demonstracija primene predložene procedure	114
3.3.1	Testiranje modela na primeru.....	115
3.3.2	Rešavanje optimizacionog modela	117
3.3.3	Ulazni podaci i prikaz rezultata	118
3.4	Zaključni komentar.....	120
	ZAKLJUČAK	122
	LITERATURA	127
	PRILOZI	134
	BIOGRAFIJA AUTORA	148

SPISAK SLIKA

Slika 0.1	Metodologija rada	5
Slika 1.1	Skladište kao karika u lancima snabdevanja (uprošćeni prikaz)	12
Slika 1.2	Osnovne komponente WMS i njihova relacija sa osnovnim aktivnostima u skladištu (razvijeno na bazi [74])	18
Slika 1.3	Tipična struktura skladišnih operativnih troškova [75]	19
Slika 1.4	Zahtevi prema komisionom procesu (prema [14]).....	20
Slika 1.5	Komisioni sistem - pregled i međusobne veze aktivnosti	21
Slika 1.6	Klasifikacija sistema za komisioniranje paketnih jedinica (na osnovu klasifikacije [26])	22
Slika 1.7	Prikaz viljuškara za horizontalni transport (paletna kolica; viljuškar komisioner za horizontalni transport)	24
Slika 1.8	Prikaz viljuškara za komisioniranje u vertikalnoj ravni (a) i Čovek na AS/RS uređaju man-on-board (b)	25
Slika 1.9	Pick to belt.....	27
Slika 1.10	Tipična koncepcija kada su u pitanju vrlo brze robe (robe se izdvajaju u paketnom obliku sa paleta smeštenih pored transportera)	27
Slika 1.11	Tipična koncepcija kada su u pitanju brze robe (robe se skladište u paletnim regalima i izdvajaju u paketnom obliku na transporter postavljen u radnom prolazu)	28
Slika 1.12	AS/RS.....	29
Slika 1.13	Automatsko komisioniranje paketnih jedinica	30
Slika 1.14	Komisioniranje slojeva paketnih jedinica sa palete - varijantna tehnička rešenja	30
Slika 1.15	Generisanje tipičnih metoda komisioniranja [34].....	33
Slika 1.16	Prikaz jedne integracije hardvera i softvera u procesima komisioniranja [87].. ..	34

Slika 1.17	Rad primenom "papirne" tehnologije.....	35
Slika 1.18	Rad primenom RF uređaja.....	37
Slika 1.19	Pick to light.....	38
Slika 1.20	Pick to voice.....	39
Slika 1.21	Komisiona zona kao zasebna celina	43
Slika 1.22	Vertikalno razdvajanje skladišne zone na KZ i RZ (Ha)	44
Slika 1.23	Primer horizontalnog razdvajanja KZ i RZ (Hb).....	45
Slika 1.24	Razdvajanje KZ i RZ dodeljivanjem posebnih skladišnih prolaza (Hc).....	46
Slika 1.25	Varijantni oblici "tunel" komisioniranja	47
Slika 1.26	Osnovne skladišne funkcije u KZ	47
Slika 2.1	Globalna struktura procesa projektovanja (razvijeno na bazi [28, 42])	52
Slika 2.2	Načelni dijagram određivanja veličine KZ [28]	60
Slika 2.3	Vremensko angažovanje komisionera.....	62
Slika 3.1	Procedura za rešavanje PIUKZ.....	83
Slika 3.2	Struktura TKKZ i međuzavisnost osnovnih komponenti.....	89
Slika 3.3	Odnos relevantnih faktora izbora prihvatljivih varijanti.....	92
Slika 3.4	Varijantne kombinacije tehnologija i metoda komisioniranja paketnih jedinica (na osnovu)	98
Slika 3.5	K2-Pick to belt ⁹	99
Slika 3.6	Formiranje tehnološke koncepcije.....	102
Slika 3.7	Drugi nivo procedure - faza detaljnog projektovanja- uobličavanje za VTKj105	
Slika 3.8	Prikaz određivanja stepena zadovoljenja na osnovu raspodele tražnje	110
Slika 3.9	Uprošćen prikaza TKKZ – (vertikalna podela paletnog regala: tip Ha)	114
Slika 3.10	Prikaz tehnološke koncepcije korespondentnom matricom tehnoloških zahteva (TZ) i tehnoloških elemenata (TE)	114
Slika 3.11	Određivanje optimalne veličine KZ na osnovu minimuma ukupnih troškova za varijantu 1	119

SPISAK TABELA

Tabela 1.1 Pregled razloga za uvođenje skladišta	10
Tabela 1.2 Podtipovi KS <i>in the aisle</i> [31]	26
Tabela 1.3 Kriterijumi za izbor načina prostorne organizacije [45].....	48
Tabela 1.4 Kriterijumi za izbor varijante vremenske organizacije punjenja i izdvajanja kod tipa prostorne kombinacije punjenja i izdvajanja [45].....	49
Tabela 3.1 Kompatibilnosti tehnologije skladištenja i komisioniranja paketnih jedinica kod <i>Pick to pallet</i> i <i>Pick to belt</i> manualnih KS	95
Tabela 3.2 Parametri za izbor tehnologije skladištenja u KZ (izvedeno na bazi [86])	96
Tabela 3.3 Kompatibilne kombinacije tehnološkog i organizacionog oblika	97
Tabela 3.4 Pregled performansi pojedinih tehnologija za komisioniranje paketnih jedinica[37]; [ft (stopa)= 0.305m; K=1000; \$- USD]	100
Tabela 3.5 Podaci o tražnji za robama u periodu komisioniranja	109
Tabela 3.6 Podaci o tražnji za robama u analiziranom periodu komisioniranja (prikazane su vrednosti $P_i(U_i)$ verovatnoće sa kojom slučajna promenljiva (U_i) zadovoljava tražnju po robama).....	116
Tabela 3.7 Vrednost ulaznih parametara po varijantama	118
Tabela 3.8 Prikaz izlaznih rezultata modela:Varijanta 1	119

SPISAK SKRAĆENICA

- AA** - *Assignment Allocation*
- AS/RS** - *Automated Storage Retrieval System*
- COI** - *Cube Per Order*
- DC** - *Distributivni centar*
- DEA** - *Data Envelopment Analysis*
- DSS** - *Decision Support System*
- EAQ** - *Economic Assignment Quantity*
- FIFO** - *First In First Out*
- FRP** - *Forward Reserve Problem*
- GPZ** - *Globalni Projektni Zadatak*
- H** - *Hibridni oblik komisione zone*
- HSO** - *Hijerarhijska Struktura Odlučivanja*
- I** - *Inegrirani oblik zone*
- KS** - *Komisioni Sistem*
- KZ** - *Komisiona Zona*
- LP** - *Linerano Programiranje*
- PIUKZ** - *Problem Izbora i Uobličavanja Komisione Zone*
- PPZ** - *Parcijalni Projektni Zadatak*
- R** - *komisiona zona fizički razdvojena od zone rezervi*
- RF** - *Radio Frequency*
- RZ** - *Zona Rezervi*
- TKKZ** - *Tehnološka Konceptija Komisione Zone*
- TK** - *Tehnološka Konceptija*
- VTKKZ** - *Varijantna Tehnološka Konceptija Komisione Zone*
- WMS** - *Warehouse Management System*

UVOD

Savremene tržišne prilike, okarakterisane pre svega, pojačanom konkurencijom zainteresovanih subjekata za plasman svojih roba i/ili usluga, predstavljaju razlog da minimizacija troškova poslovanja i podizanje kvaliteta proizvoda i usluga dobije na posebnom značaju. Na sceni su nove poslovne filosofije, strategije i programi koje u težište stavljaju korisnika i njegov interes. U takvim uslovima skladište postaje bitna logistička komponenta u lancima snabdevanja koja obezbeđuje konkurentnost, omogućavajući da se korisnički zahtevi realizuju na način koji omogućava lakši tok robe do korisnika, i veću prilagođenost u ispunjavanju zahteva korisnika (povećana spremnost za isporuku, skraćeno vreme isporuke, veću pouzdanost isporuke, i dr. koje kupac (korisnik) očekuje od isporučiooca robe), a uz istovremeno smanjenje ukupnih troškova logistike. Ovakvi zahtevi, postavljeni pred skladišne sisteme, u značajnoj meri usložnjavaju njegovu strukturu i funkcionisanje – pre svega procesa koji se realizuju u skladištu. Od tih procesa poseban značaj i mesto imaju procesi komisioniranja.

Zbog toga je pravilno projektovanje komisioniranja jedan od osnovnih preduslova uspešnog tehnološkog rešenja skladišta. Iz tog razloga težište ovog rada je posvećeno problemima izbora i uobličavanja komisione zone kao posebno bitnog i osetljivog u ovom domenu.

Komisioniranje¹ je zbog svog značaja duže vreme predmet interesovanja, i tema brojnih istraživanja. Ovaj pojam označava proces koji se realizuju u skladištima komadne robe i uključuje sve aktivnosti koje prate izdvajanje traženog asortimana robe prema vrsti i količini u cilju ispunjenja korisničkih narudžbina.

¹ Termin *komisioniranje* (nemački *kommissionierung*, engleski *order picking*, francuski *la preparation de commandes* i dr.) vodi poreklo iz nemačkog govornog područja i široko je prihvaćen i u našim stručnim krugovima.

Zahtevi za komisioniranjem se pojavljuju u različitim kontekstima u lancima snabdevanja, vezano za proizvodnju (montažu) ili distribuciju. Skladišta sa izraženom distributivnom funkcijom predstavljaju primer skladišta kod kojih je ovo dominantna aktivnost. Ovaj rad je obuhvatio ovaj tip skladišta i to gde se pri komisioniranju kao merodavni oblik pojavljuju *paketne jedinice tereta*. Kod ove vrste skladišta u ulaznom toku se sreću u većini slučajeva transportno-manipulativne jedinice sa homogenim sadržajem, dok sadržaj i pojavni oblik jedinice otpreme u izlaznom toku određuju zahtevi korisnika. Iz tog razloga tipične su situacije da se od skladišta, zahteva formiranje transportno-manipulativne jedinice sa mešovitim sadržajem. U ovakvim situacijama komisioniranje predstavlja jedan od najosetljivijih procesa koji se realizuje u skladištu.

Performanse procesa komisioniranja su u velikoj meri zavisne od izabrane – primenjene tehnologije skladištenja, layout-a, tehnološkog oblika komisionog sistema, i načina na koji je sam proces organizovan i upravljani. Neki od pomenutih faktora bili su već predmet istraživanja različitog nivoa i obima u literaturi.

Posebno značajan aspekt ovog problema, ali do sada nedovoljno istražen u literaturi, odnosi se direktno na pitanje *izbora i uobličavanja komisione zone*. Ovaj aspekt može da igra centralnu ulogu u realizovanju komisioniranja u uslovima kada se insistira na njegovim visokim performansama (npr. visokoj proizvodnosti u kratkom vremenu). Iz tog razloga, postavlja se kao posebno interesantno pitanje da li je moguće pravilnim *izborom i uobličavanjem komisione zone*, u okviru skladišnog rešenja, stvoriti pretpostavku za maksimizaciju performansi procesa komisioniranja (npr. proizvodnost, skraćanja vremena obrade narudžbina), vodeći računa o troškovnom aspektu i drugim parametrima. Imajući ovo u vidu ovaj problem se prirodno nametnuo kao izazov koji je bio predmet istraživanja u okviru ove doktorske disertacije.

Sama ideja o uvođenju komisione zone u prostornoj organizaciji skladišta nije nova i prisutna je u praksi. Uvođenje i formiranje komisione zone motivisano je očekivanim pozitivnim efektima od koncentracije roba i komisionog rada na manjem prostoru koji se manifestuju preko: (i) skraćanja neproduktivnih kretanja

komisionera, (ii) lakšeg i bržeg pronalaženja i izdvajanja traženih artikala, (iii) lakšeg upravljanja procesom, što sve zajedno doprinosi skraćanju vremena obrade narudžbina i povećanju proizvodnosti. Analizirana rešenja iz prakse kompromituju potencijal koji ova ideja realno nosi i u manjoj meri, od očekivane, ostvaruju postavljeni cilj. Razlozi se mogu identifikovati, sa jedne strane, u oblasti neadekvatnih projektnih rešenja, koja su kao po pravilu, zasnovana na proizvoljnim procenama, ili pak na nekritičkom pruzimanju određenih izvedenih rešenja iz prakse, bez uzimanja u obzir ključnih aspekata koji opredeljuju pogodnost za njihovu primenu. Česte greške iz ovog domena su izbor »pogrešnog« tipa zone i/ili njena neadekvata uobličenosť (u pogledu primenjene tehnologije, veličine, layout-a, i sl.). Sa druge strane su razlozi iz oblasti upravljanja radom komisione zone gde se ne uvažavaju i zanemaruju faktori kao što su: dinamička prirode zaliha u skladištu, stohastika i nestacionarnost tražnje za određenim robama ili robnim grupama i primenjuju neodgovarajući modeli za alokaciju roba u komisionu zonu. Ovo direktno rezultira povećanim troškovima rada, produženjem vremena obrade narudžbine, ometanjem u radu i sl. Kritička analiza izvedenih rešenja upućuje da se ovom problemu mora pristupiti sa mnogo više pažnje kakao u procesu projektovanja, tako i u fazi primene rešenja.

Raspoloživa literatura ne pruža dovoljnu podršku za ove probleme, već ih samo parcijalno analizira i rešava. Takav pristup, uz niz pretpostavki (koje su sa različitim nivoom realnosti) smanjuje mogućnost rešavanja problema na zadovoljavajući način.

Projektovanje skladišta je kompleksan proces usmeren ka realizaciji unapred definisanog cilja. Kako skladište podrazumeva postojanje određenih skladišnih podsistema i realizaciju određenih procesa, otuda i njegovo projektno rešenje ima za cilj da definiše te podsisteme i procese kao i njihove međusobne relacije, na način da se realizacija tokova (materijala i informacija) u okviru skladišta obavlja na zahtevani način (sa zahtevanim servis stepenom i/ili odgovarajućim investicionim ograničenjima - cenom sistema).

U procesu projektovanja skladišta uvođenje specijalizovanih skladišnih zona za njegove primarne aktivnosti predstavlja vrlo bitnu odluku sa posledicama na mnoge skladišne aspekte. Određene zone u skladištu se uobličavaju za skladištenje i puno iskorišćenje skladišnog prostora – zone rezervi, dok se druge, komisijone zone, uobličavaju i prilagođavaju zahtevima procesa komisijoniranja. Komisijona zona se u odnosu na zonu rezervi može pojaviti u nekoliko tipičnih varijantnih koncepcija, koje se razlikuju, pre svega, po prostornoj organizaciji i primenjenoj tehnologiji i performansama.

Pored istaknutih pozitivnih efekata, odluka pri uvođenju i uobličavanju komisijone zone utiče i na povećanje zahteva za skladišnim prostorom, generiše dodatne troškove za njenim opremanjem i radom. Poseban značaj za rad komisijone zone dobija skladišna funkcija punjenja. Njen osnovni zadatak sastoji se u dopremi robe – punjenju robom iz zone rezervi kada nivo zaliha robe u komisijonoj zoni padne na određeni nivo. Između veličina jedinice tereta kojom se obavlja punjenje i učestanosti punjenja postoji tesna veza sa velikim uticajem na dimenzionisanje elemenata komisijone zone. Na osnovu prethodnog, logično sledi da veća komisijona zona generiše veće troškove prostora (a time i cene objekta i rada) i njegovog opremanja. Sa druge strane kod manjih zona semože očekivati da su ovi troškovi manji. Međutim, kako veličina zone opada tako se troškovi njenog punjenja povećavaju, jer zalihe u komisijonoj zoni sada moraju biti češće popunjavane. Ovaj problem usko je povezan i sa pitanjem koliko prostora u komisijonoj zoni dodeliti svakoj od roba.

Imajući sve prethodno navedeno u vidu može se zaključiti da je problem uvođenja i uobličavanja komisijone zone u okviru skladišnog rešenja vrlo kompleksan zadatak koji traži detaljniju ekonomsku i kvantitativnu analizu i odmeravanje uticaja različitih faktora u skladišnim procesima. Tema ovog rada je proistekla iz težnje da se u procesu projektovanja da odgovarajuća podrška pri donošenju odluka kod *izbora i uobličavanja komisijone zone*.

Iz gore navedenih razloga, u okviru ove disertacije dat je uvid u uticaj različitih varijantnih rešenja na performanse procesa komisijoniranja, što je od presudnog

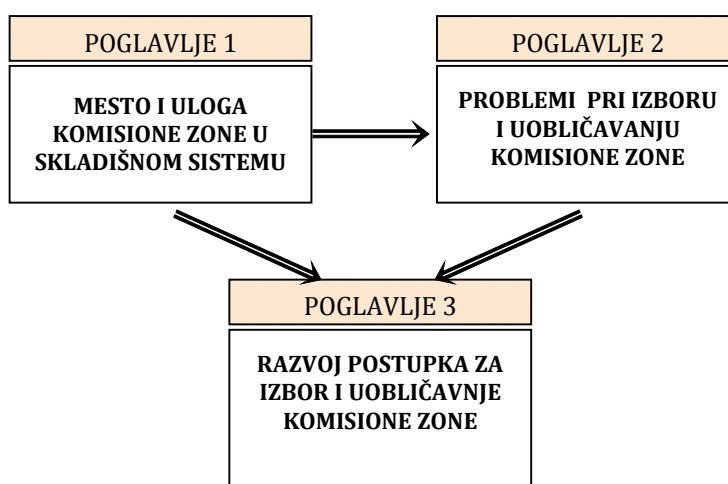
značaja za izbor i uobličavanje komisione zone. U ovom kontekstu relevantna su sledeća pitanja:

- Pod kojim uslovima ima smisla uvođenje i primena određenog oblika komisione zone?
- Koji su pojavni oblici jedinice tereta pogodni za komisionu i zonu rezervi?
- Koja je tehnologija u komisionoj i njoj odgovarajućoj zoni rezervi?
- Kolika treba da bude komisiona zona?
- Koja roba i u kojoj količini ide u komisionu zonu?

Uzimajući u obzir prethodno navedene činjenice, postavljena pitanja i osnovne pravce istraživanja mogu se definisati sledeći ciljevi ovog rada:

- Razvoj postupka za izbor i uobličavanje komisione zone
- Razvoj odgovarajućih modela podrške za donošenje projektnih i upravljačkih odluka u procesu izbora i uobličavanja komisione zone

Navedeni ciljevi ostvareni su u okviru ovog rada kroz metodologiju koji obuhvata nekoliko celina (slika 0.1):



Slika 0.1 Metodologija rada

Kao što je predstavljeno na slici 0.1, rad je organizovan iz sledećih poglavlja:

Prvo poglavlje obuhvata nekoliko celina. Polazi se od razloga za formiranje i uvođenje skladišta u lance snabdevanja, daje klasifikacija skladišta i opisuje specifičnost pojedinih tipova. Nakon toga, dat je prikaz osnovnih skladišnih procesa i funkcionalnih celina. Opisuje se proces komisioniranja zbog njegovog značaja i uticaja na performanse skladišta, posebno u pogledu troškova i stepena zadovoljenja zahteva korisnika. Shodno tome, nastavak poglavlja posvećen je komisionim sistemima. Dat je pregled osnovnih tipova komisionih sistema (prema pojavnom obliku, tehnološkoj, organizacionoj i upravljačkoj formi). U nastavku ovog poglavlja se istražuju oblici prostornog uklapanja analiziranih komisionih sistema u rešenje skladišta. Ovde se kao posebno bitan aspekt tog problema ističe odnos komisijone zone i skladišne zone rezervi i u tom pogledu identifikuju tipični prostorni oblici koncepcija komisijone zone. Poglavlje se završava pregledom i opisom osnovnih koncepcija komisijone zone.

Drugo poglavlje je posvećeno identifikaciji i strukturiranju problema pri izboru i uobličavanju komisijone zone. Radi sagledavanja geneze problema opisane su i opšte odlike procesa projektovanja. S obzirom da se problem analizira i rešava u sklopu procesa projektovanja skladišta, dat je opis identifikovanih problema u ovoj oblasti, njihove strukture, međuzavisnost i hijerarhija u procesu projektovanja.

Drugi deo ovog poglavlja je posvećen pregledu i analizi relevantnih istraživanja. Pregled je obuhvatio: (i) istraživanja u oblasti projektovanja skladišta – procedura projektovanja i (ii) istraživanja posvećena specifičnim pitanjima problema komisijone zone koja se postavljaju u procesu projektovanja skladišta.

Na osnovu sprovedene analize i diskusije raspoložive literature iz ove oblasti i uočenih nedostataka definisani su pravci mogućih daljih istraživanja.

Treće poglavlje posvećeno je rešavanju problema izbora i uobličavanje komisijone zone. Za rešavanje problema izbora i uobličavanja komisijone zone je predložena i razvijena nova iterativna procedura sa dva hijerarhijska nivoa odlučivanja. Na prvom nivou – u okviru konceptualne faze identifikuju se prihvatljive varijantne tehnološke koncepcije komisijone zone. Za dolaženje do skupa prihvatljivih

varijanti se predlaže i primenjuje novi metodološki pristup koji omogućava brže rešavanje zadataka generisanja i izbora u odnosu na standardne - teorijski pristup. Na drugom nivou procedure, u fazi uobličavanja varijanti, pristupa se njihovom dovođenju u svoj najpoboljniji oblik. Tom prilikom se određuju bitni projektni parametri sa ciljem ostvarenja zadatih performansi skladišnog sistema, odnosno podsistema komisioniranja. Centralno mesto na ovom nivou procedure ima određivanje veličine komisione zone zbog njenog uticaja na operativne troškove. Za dolaženje do optimalnih vrednosti predlaže se i primenjuje iterativni postupak. U okviru ovog postupka za rešavanje određenih zadataka odlučivanja koriste se odgovarajući parcijalni modeli (pre svega za optimalnu alokaciju skladišnog kapaciteta na robe i za procenu specifičnih skladišnih troškova). Tom prilikom, karakteristike realnih sistema – tehnoloških koncepcija uslovile su i razvoj novih parcijalnih modela zbog nemogućnosti direktne primene modela iz literature. U postupak određivanja optimalnih veličina komisione zone uključene su sve izabrane varijantne koncepcije identifikovane na prvom hijerarhijskom nivou. Procedura se završava, shodno uvedenim kriterijumima, izborom predloga rešenja koncepcije komisione zone koji se koristi u daljim fazama procesa projektovanja. U narednoj celini ovog poglavlja, radi demonstracije predložene procedure dat je prikaz njene primene na jednom karakterističnom zadatku projektovanja komisione zone u skladištu. Na kraju su sagledane mogućnosti primene procedure/modela kao alata podrške pri tehnološkom projektovanju skladišta.

U zaključnim razmatranjima, dati su doprinosi ove disertacije, kao i mogući pravci daljih istraživanja.

1 MESTO I ULOGA KOMISIONE ZONE U SKLADIŠNOM SISTEMU

Funkcionisanje moderne ekonomije, kako u nizu faza reprodukcije tako i u nizu drugih delatnosti, značajno zavisi od kvaliteta realizacije tokova materijala. Ovaj značaj je prisutan, počevši od tokova sirovina, preko tokova u procesima proizvodnje, finalizacije proizvoda, pa sve do isporuke gotovih proizvoda krajnjim korisnicima. Tipično, ovi tokovi se realizuju kroz lance snabdevanja, tj. kroz mrežu proizvodnih, transportnih i skladišnih sistema, u okviru kojih posebno mesto ima logistika. Prethodno naveden termin, logistika, a u okviru nje posebno skladištenje (zbog teme ovog rada) će biti ovde detaljnije predstavljena.

Značenje termina logistika i njegov obuhvat se menjao tokom vremena i usklađivan je sa opštim tehno-ekonomskim razvojem, shodno tome, prate ga i brojne definicije. Mnogi autoriteti iz oblasti logistike kao najopštiju navode definiciju koju je izdao Council² of Logistics Management [85], prema kojoj se logistika definiše kao deo procesa lanaca snabdevanja, sa zadatkom da efikasno i efektivno planira, implementira i upravlja robnim tokom (proizvodnim i povratnim), kao i skladištenjem roba, usluga i sa njima povezanih informacija od izvora do tačke korišćenja u cilju zadovoljenja zahteva korisnika. Pri tome proizvodni tok podrazumeva tok proizvodnje i distribucije do krajnjeg korisnika. Posmatrajući krajnje pojednostavljeno samo fizičku realizaciju robnih tokova, moguće je osnovni zadatak i suštinu logistike svesti na obezbeđenje prave robe u pravoj količini u željenim uslovima na pravom mestu u pravo vreme uz minimalne troškove. Pri ovakvom pristupu logistici, osnovni realizatori fizičkog toka robe su logistički podsistemi: transport, pretovar i skladištenje.

² www.clm1.org

Transport robe, posmatran u najopštijem smislu, predstavlja logistički proces kojim se ostvaruje veza između prostorno razdvojenih celina (izvorišta i odredišta tokova robe) sa ciljem njihovog prostornog povezivanja.

Pretovar robe se može posmatrati kao karika koja povezuje transport i skladištenje na mestima njihovog dodira. Shodno tome, po pravilu se pojavljuje na početku i na kraju ovih procesa.

Skladištenje, kao logistički proces, odnosno skladište kao podsistem u okviru logističkog sistema se pojavljuje kao mesto (mesta) na kome se roba (zalihe) privremeno zadržava(ju) – čuva(ju) ili se na neki drugi način deluje na nju do trenutka ponovnog zahteva za njom. U okviru tokova roba, skladište je uobičajeno mesto realizacije isporuke - prijema robe, odnosno razdvajanja ili spajanja robnih tokova. Zbog svog prisustva u robnim tokovima i delovanja na njih u okviru lanaca snabdevanja, skladištima je i u praksi i u teoriji posvećena značajna pažnja. Iz tog razloga, u narednom tekstu je kroz definicije, opise i dr. bliže predstavljen ovaj podsistem logistike.

1.1 Skladište

Objekti, uređene površine, oprema, ljudi i drugi elementi sistema tehnološki usaglašeni i organizovani, a koji se koriste za odlaganje i čuvanje robe, definišu se kao skladišta. Pojam skladišta pored materijalnog aspekta u sebi sadrži i skladišni proces kao organizovanu realizaciju transportno-pretovarno-skladišnih operacija koje se odvijaju sa određenim ciljem, a prema utvrđenom redosledu [78].

Činjenica da postojanje bilo kojih zaliha sobom nosi potrebu za investiranjem u obrtna sredstva koja u osnovi predstavljaju umrtvljeni kapital koji direktno ne donosi dobit, kao i sami troškovi postojanja i rada skladišta doprineli su da je skladište dugo pratio negativan imidž i posmatrano je kao nužno zlo koje samo generiše troškove. Napori praktičara i istraživača u oblasti logistike činjeni su u nameri da se nivo zaliha minimizira do prihvatljivog nivoa, uzimajući u obzir

negativne posledice odsustva zaliha i razmotri mogućnost funkcionisanja lanaca snabdevanja bez prisustva i korišćenja skladišta ili bar redukcije njihovog broja. Uprkos značajnim poboljšanjima u savremenoj logistici, potreba za formiranjem zaliha i korišćenjem skladišta opravdana je brojnim razlozima, za šta se argumentacija može pronaći u velikom broju izvora [78], [53], [9], [12] i [74]. Pregled nekih osnovnih razloga njihovog postojanja dat je u Tabeli 1.1.

Tabela 1.1 Pregled razloga za uvođenje skladišta

AUTOR/I	OSNOVNI RAZLOZI ZA POSTOJANJE SKLADIŠTA
[78] Vukićević, S. (1995)	<ul style="list-style-type: none"> • Prostorno, vremensko i kvantitativno usaglašavanje tokova robe, • Obezbeđenje sigurnosti u radu sistema, i • Prilagođavanje asortimana robe između proizvodnje i potrošnje
[53] Lambert, D. i ostali (1998)	<ul style="list-style-type: none"> • Ostvarivanje preduslova ekonomičnosti transportnih procesa (kombinovanje vidova transporta, jedinica tereta i sl). • Ostvarivanje preduslova za ekonomičnost proizvodnje (sinhronizacija raznih procesa) • Ostvarivanje popusta pri kupovini veće količine ili kupovini unapred • Obezbeđenje izvora snabdevanja • Podrška strateškom opredeljenju firme pri opsluživanju klijenata • Predupređenje promena i uslova na tržištu (stohastičnost, kolebanje tražnje i ponude, konkurencija) • Savlađivanje vremenskih i prostornih razlika između vremena i mesta proizvodnje i potrošnje • Usaglašavanje najmanjih logističkih troškova sa željenim nivoom opsluge • Podržavanje strategije <i>Just In Time</i> snabdevača i korisnika • Obezbeđuje korisnicima <i>mix-a</i> proizvoda umesto pojedinačnih roba • Obezbeđuje privremeno skladištenje materijala za otpad ili reciklažu • Obezbeđuje privremeno skladištenje u aktivnostima pretovara (direktna isporuka, <i>cross-docking</i>)
[9] Ballou, R.H., (2004)	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjenje transporta – proizvodnih troškova • Koordinacija snabdevanja i potrošnje • Podrška proizvodnom procesu • Podrška marketing procesima
[12] Bartholdi, J.J., Hackman, S.T., (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Konsolidacija proizvoda – smanjenje transportnih troškova i obezbeđenje usluge korisnicima • Ostvarivanje uštede na osnovu ekonomije obima • Obezbeđivanje prerade proizvoda i usluga koje povećavaju vrednost proizvoda (<i>value –adding processing</i>) • Smanjenje roka isporuke proizvoda
[74] ten Hompel, M., Schmidt, T., (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizacija logističkih performansi • Obezbeđenje kontinuiteta proizvodnje • Stvaranje dodatne vrednosti • Smanjenje transportnih troškova • Koordinacija snabdevanja i potrošnje-izravnanje sezonske fluktuacije • Ostvarenje uštede na osnovu ekonomije obima • Deo proizvodnog procesa

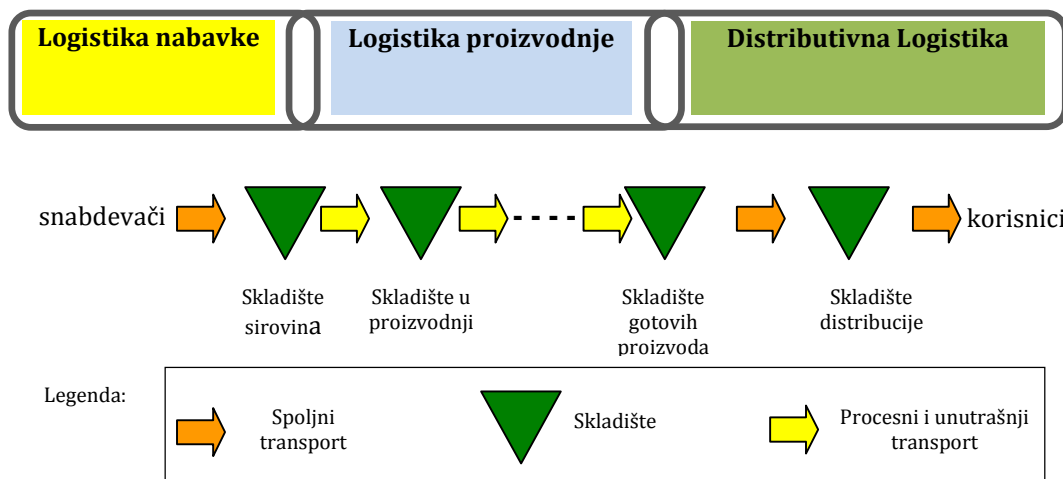
Savremene tržišne prilike, okarakterisane pre svega, pojačanom konkurencijom zainteresovanih subjekata za plasman svojih roba i/ili usluga, predstavljaju razlog da minimizacija troškova poslovanja i podizanje kvaliteta proizvoda i usluga dobije na posebnom značaju. Na sceni su nove poslovne filosofije, strategije i programi koje stavljaju korisnika i njegov interes u središte interesovanja. U takvim izmenjenim uslovima skladište postaje bitna logistička komponenta u lancima snabdevanja koja obezbeđuje konkurentnost, omogućavajući da se korisnički zahtevi realizuju na način koji omogućava lakši tok robe do korisnika, i veću prilagođenost u ispunjavanju zahteva korisnika (povećana spremnost za isporuku, skraćeno vreme isporuke, veću pouzdanost isporuke, veću spremnost na ostale usluge koje kupac (korisnik) očekuje od isporučioaca robe), a uz istovremeno smanjenje ukupnih troškova logistike. Sve navedeno je uticalo da se zaustavi trend smanjenja broja, a u nekim slučajevima dovode i do uvođenje novih skladišta u lance snabdevanja [22].

Iz predstavljenog, jasno je da skladišta mogu da imaju različite uloge u lancima snabdevanja. Ova raznolikost je generisala i veliki broj različitih zahteva za formiranjem i funkcionisanjem skladišta, što je rezultiralo širokim spektrom primenjenih tehničkih i tehnoloških rešenja (sistema) skladišta. To nameće potrebu i klasifikacije skladišta, čemu je u narednom delu posvećena veća pažnja.

1.1.1 Tipovi skladišta

U lancima snabdevanja³, skladišta kao njihova bitna karika, se pojavljuju u različitim kontekstima sa specifičnim ulogama, koje se mogu podeliti na skladišta logistike nabavke, skladišta logistike proizvodnje ili pak skladišta distribucije (slika 1.1).

³ Lanac snabdevanja podrazumeva razmenu materijala i informacija u logističkim procesima koja se proteže od prikupljanja i nabavke sirovina do isporuke gotovih proizvoda krajnjem korisniku; svi isporučioци, davaoci usluga i korisnici predstavljaju veze-karike u lancu snabdevanja.



Slika 1.1 Skladište kao karika u lancima snabdevanja (uprošćeni prikaz)

Široka paleta različitih skladišta se pojavljuju u ovim ulogama. Njihovu klasifikaciju je moguće napraviti po različitim osnovama, na primer: prema vrsti robe koja se skladišti, prema pojavnom obliku robe, prema stepenu obrađenosti robe, prema mestu u procesu reprodukcije, prema tehnološkoj funkciji skladišta i mnogim drugim kriterijumima, koji mogu biti od značaja za konkretnu analizu, a klasifikacija često podrazumeva i primenu više kriterijuma istovremeno. U skladu sa tim u literaturi se sreću brojne klasifikacije, (videti [12], [37] i [39]). Za potrebe ovoga rada pogodna je podela Rouwenhorst i ostali(2000) [69] na dva osnovna tipa:

- proizvodno skladište, i
- distributivno skladište.

Proizvodno skladište je prilagođeno i uređeno, pre svega, u skladu sa zahtevima proizvodnje. Njegova osnovna uloga se sastoji u obezbeđenju kapaciteta za smeštaj zaliha (sirovina, poluproizvoda i sl.) potrebnih procesu proizvodnje, kao i prihvatanje gotovih roba iz proizvodnog procesa. Sirovine i gotovi proizvodi mogu zahtevati skladištenje - čuvanje za duži vremenski period, tipično na primer, u slučajevima kad se nabavlja veća količina sirovina u odnosu na tekuće potrebe proizvodnje, ili pak kada proizvedena količina gotove robe prevazilazi tražnju za tim robama. Dominantan proces u ovom tipu skladišta predstavlja skladištenje - mirovanje

(zaliha) robe, i primenjena tehnologija u skladišnoj zoni treba da podrži takve zahteve - zahteve za skladišnim kapacitetom za čuvanje zaliha, uz minimizaciju investicionih i operativnih troškova. U skupu skladišta u proizvodnji se mogu sresti i međufazna i puferna skladišta. Skladišta ovoga tipa, shodno ulozi, imaju drugačije zahteve. Pošto je tražnja za određenim komponentama koje se ugrađuju u procesu proizvodnje-montaže (ili rada na radnom mestu) uglavnom poznata unapred, priprema robe i njena otprema moraju biti realizovani u kratkim rokovima da bi se izbeglo nepotrebno stajanje proizvodnih linija (radnih mesta). Na osnovu toga proističe da je za ova skladišta bitan kriterijum vreme odziva.

Kod distributivnih skladišta procesi skladištenja i procesi rukovanja imaju podjednak značaj. Osnovna funkcija distributivnog skladišta je da skladišti robe i da ispunjava korisničke narudžbine. Broj različitih artikala u skladištima ovoga tipa može biti izuzetno veliki, dok količina po narudžbini može biti relativno mala (uz po pravilu kratak rok realizacije kompletiranja narudžbine), što vrlo često vodi ka kompleksnom i skupom procesu komisioniranja. Otuda, se distributivna skladišta često optimiziraju u odnosu na ovaj kritični proces. Glavni kriterijum za uobličavanje skladišta ovde postaje proizvodnost (brzina realizacije narudžbine) koju je potrebno ostvariti uz minimizaciju investicionih i operativnih troškova.

Skladišta distributivnog tipa moguće je razlikovati i po nivou koji ona "pokrivaju", kao npr. centralno, regionalno ili lokalno skladište. Centralno skladište po pravilu drži puni asortiman robe za područje koje opslužuje, omogućujući na taj način snabdevanje regiona sa minimalnim ukupnim zalihama. Lokalno skladište opslužuje manje geografsko područje u kome je i locirano, stvarajući na taj način mogućnost brze reakcije na korisničke zahteve. Nekada se u ovim skladištima čuvaju samo brze robe, iz razloga minimiziranja nivoa zaliha u lancima snabdevanja.

Naravno, u praksi su moguće kombinacije ovih osnovnih tipova skladišta. Bez obzira na moguće kombinacije i eventualne podele, svako od skladišta realizuje skup osnovnih procesa kroz primenu funkcionalnih celina (podsistema).

1.1.2 Osnovni skladišni procesi i funkcionalne celine

Kao što je već rečeno skladište predstavlja objekat ili mesto, u okviru tokova roba, na kome se roba (zalihe) privremeno zadržava (čuva) pri čemu je moguće da se na neki drugi način obrađuje do trenutka ponovnog zahteva za njom. Bez obzira na tip i ulogu skladišta u lancima snabdevanja, i primenjenu tehnološku koncepciju osnovni skladišni zadatak u opštem slučaju se može raščlaniti na sledeće osnovne elemente:

- prijem robe od strane snabdevača skladišta,
- skladištenje prispele robe,
- izdvajanja (komisioniranje) robe na osnovu zahteva korisnika skladišta i priprema za otpremu, i
- otpremu pripremljene robe iz skladišta za korisnika i
- realizaciju informacionih tokova.

Prva četiri osnovna elementa skladišnog zadatka: zahtevi za prijemom, skladištenjem, komisioniranjem i otpremom robe generišu i potrebu za realizacijom odgovarajućih skladišnih procesa (prijema, skladištenja, komisioniranja i otpreme). Između dve granične aktivnosti - ulaska i izlaska robe - realizuju se neke ili sve od sledećih aktivnosti sa robom: (1) Prijem, (2) Prerada i/ili kontrola na ulazu, (3) Uskladištenje, (4) Skladištenje, (5) Iskladištenje, (6) komisioniranje i sortiranje, (7) Pakovanje i otprema i kontrola na izlazu, (8) *cross docking*. Realizacija ovih procesa predstavlja suštinu funkcionisanja svakog skladišta i zbog značaja, u narednom tekstu daće se njihov kraći opis.

(1) Prijem robe obuhvata skup procesa koji uključuje:

- prijem svih roba prispelih u skladište,
- kvalitativnu i/ili kvantitativnu kontrolu prispele robe,
- otpremu robe iz prijemne zone do skladišne ili nekog druge zone u skladištu.

(2) Prerada robe na ulazu može da se opciono pojavi kao zahtev za realizaciju u cilju njenog prilagođenja narednoj fazi (procesu) u skladištu. Tipične situacije ovakve vrste su kada roba stiže nepaletizovana, a skladišti se u paletnom obliku. Još je složenija situacija rada sa prispelom neupakovanom robom, koju treba pakovati i eventualno paletizovati pre upućivanja u skladišnu zonu (ili realizacije nekih drugih narednih procesa). U okviru ove funkcije mogu da se pojave i zahtevi za pripremom jedinica za otpremu u situacijama kada je sadržaj narudžbine unapred poznat ili je sa velikom verovatnoćom moguće pretpostaviti sadržaj buduće narudžbine.

(3) Uskladištenje je funkcija kojom se roba smešta u skladišnu zonu. Ona podrazumeva transport robe do skladišne lokacije i njeno odlaganje na određenu skladišnu lokaciju.

(4) Skladištenje je najčešće statička funkcija kojom se ostvaruje osnovna funkcija, a to je mirovanje i čuvanje robe do trenutka pojave zahteva za njom. Zadatak ove funkcije je stvaranje povoljnih uslova za ispunjenje kvantitativnih i kvalitativnih zahteva povezanih sa posedovanjem i ulogom zaliha. Kvantitativnim zahtevima definiše se potreba za obezbeđenjem adekvatnog skladišnog prostora i skladišne opreme koja će omogućiti prihvatanje zahtevane količine i asortimana zaliha. Kvalitativni zahtevi tiču se obezbeđenja takvih uslova koji će onemogućiti neželjene promene upotrebne vrednosti zaliha robe.

(5) Iskladištenje je inverzna funkcija uskladištenju, a odnosi se prvenstveno na pronalaženje i izuzimanje robe sa skladišne lokacije prema narudžbini. U zavisnosti od vrste i veličine narudžbine u odnosu na količinu naručene robe, mogu se razlikovati dve situacije:

- (5a) izdvajanje skladišne jedinice kojom se ispunjava zahtev iz narudžbine, gde se ona iz skladišne zone transportuje u otpremnu zonu, i
- (5b) izdvajanje skladišne jedinice kojom se ispunjava zahtev iz komisione zone - kada se radi o popuni komisione zone iz skladišne zone-zone rezervi.

(6) Komisioniranje obuhvata iskladištenje i otpremu robe prema zahtevima korisnika, definisanih u narudžbenici. Proces komisioniranja se, u zavisnosti od rešenja skladišnog sistema, primenjene koncepcije prostornog i tehnološkog oblikovanja i uklapanja pojedinih funkcionalnih celina, može realizovati u različitim delovima skladišta: u skladišnoj zoni i/ili u njenom specijalizovanom delu – komisionoj zoni. U funkciji od primenjene organizacione forme – metode komisioniranja, može se pojaviti i potreba za sortiranjem odnosno konsolidacijom izdvojene robe pre upućivanja u zonu otpreme.

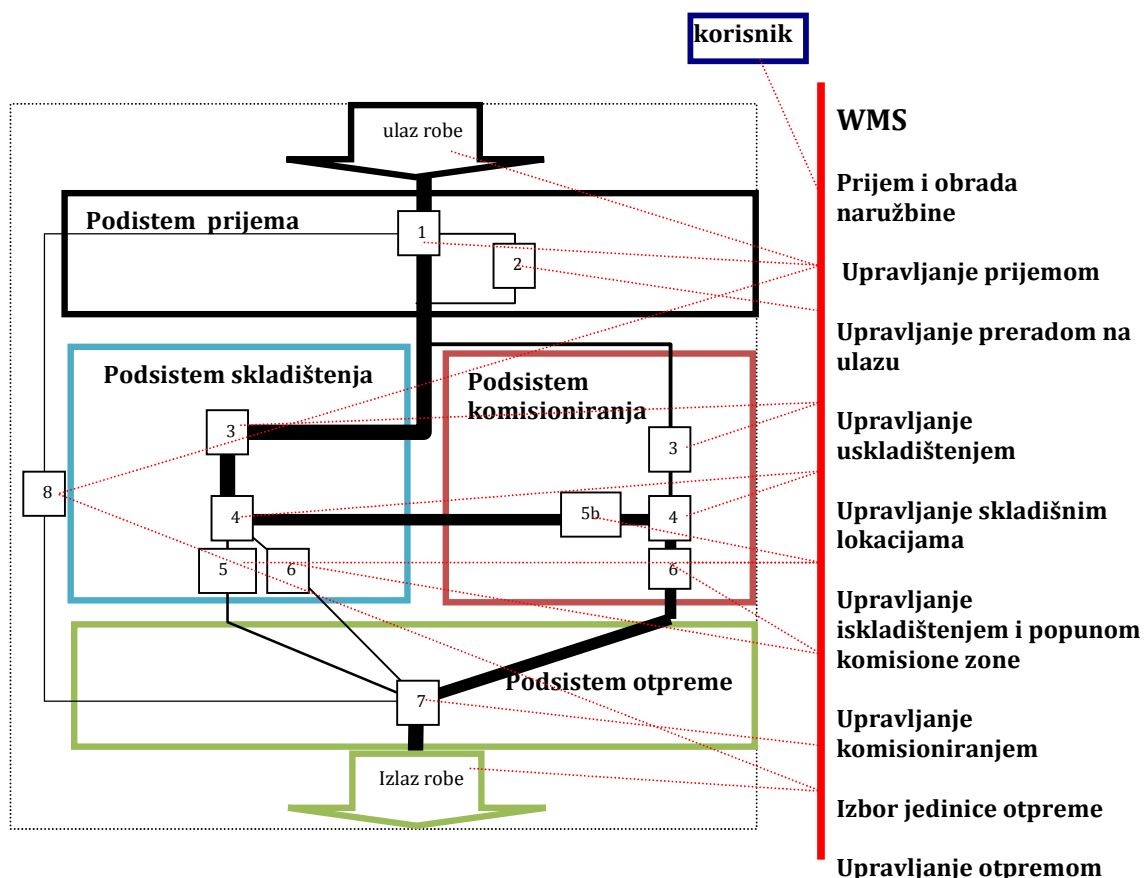
(7) Otprema robe predstavlja u velikoj meri inverznu funkciju prijemu robe u skladište. Ona podrazumeva aktivnosti za obezbeđenje izlaska robe iz skladišta i to:

- prikupljanje i po potrebi pakovanje i označavanje robe,
- čekanje na otpremu i proveru izdvojenog sadržaja prema narudžbinama,
- sastavljanje robe po korisnicima i/ili po transportnim sredstvima,
- utovar robe na sredstva spoljnog transporta i kontrolu, i
- otpremanje vozila.

(8) *Cross docking* se izvršava kada se primljena roba sa prijemnog fronta direktno upućuje na otpremni front skladišta (kratko se zadržava u skladištu i po pravilu ne ide u skladišnu zonu i ne zahteva komisioniranje, ili ga pak zahteva u maloj meri).

Shodno karakteristikama zahteva u osnovnim skladišnim procesima, mogu se primeniti i odgovarajući podsistemi (zone) u okviru kojih se realizuju ove aktivnosti. Pa tako, podsistemi prijema, čuvanja, komisioniranja i otpreme (na odgovarajući način povezani podsistemom unutrašnjeg transporta) čine osnovnu strukturu skladišta. Prostor, oprema i radnici predstavljaju osnovne resurse (pod)sistema angažovanih za ispunjenje postavljenih zahteva. U skladu sa raznovrsnošću robnih tokova i transformacija na pojavnom obliku robe, skladište može imati složeniju ili jednostavniju strukturu, tako da se i ovi podsistemi mogu pojaviti sa različitim stepenom razvijenosti, diferenciranosti i povezanosti.

Pored pomenutih funkcija fizičke realizacije tokova robe, u skladištu, jasno, egzistiraju i informacioni tokovi. Same informacije kao i aktivnosti prikupljanja, obrade i razmene informacija postale su jedne od ključnih komponenti skladišnog sistema. Upravljanje u oblasti tokova roba i informacija u skladištu nametnuto je samom činjenicom da se u skladištu ovi tokovi realizuju, kao i pristupom da se ni jedna aktivnost ne realizuje bez određenog upravljanja (koje je neodvojivo od toka informacija). S obzirom da skladišni sistem predstavlja složen i organizovan sistem, upravljanje se u njemu pojavljuje kao pretpostavka i kao zahtev. Ovo danas podrazumeva primenu odgovarajućeg informacionog sistema koji treba da obezbedi prikupljanje, pripremu, obradu i prezentaciju svih informacija koje su neophodne za funkcionisanje skladišta. Visoka tačnost, kompletnost i blagovremenost ispunjavanja narudžbina su ključne performanse rada skladišta, a dobar informacioni i komunikacioni sistem su pretpostavka za dostizanje ovih ciljeva. Posebno mesto u ovom ima primena odgovarajućeg *Warehouse Management Systems* (WMS), koji omogućava da se skladišnim aktivnostima upravlja u realnom vremenu. Osnovne komponente WMS i njihova veza sa osnovnim aktivnostima u skladištu su pokazane na slici 1.2.



Legenda:

(1) Prijem, (2) Prerada na ulazu, (3) Uskladištenje, (4) Skladištenje, (5) Iskladištenje, (6) komisioniranje i sortiranje (7) Pakovanje i otprema, (8) cross docking

Slika 1.2 Osnovne komponente WMS i njihova relacija sa osnovnim aktivnostima u skladištu (razvijeno na bazi [74])

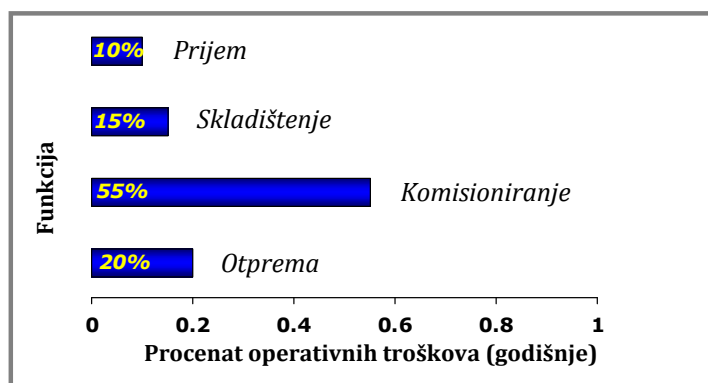
Zbog sve većeg prisustva opisanih tendencija u privrednim i drugim delatnostima, ukazano je da se pred skladišta postavljaju sve složeniji zahtevi. Posebno diverzifikacija asortimana i povećanje zahteva za frekventnijom isporukom manjih narudžbina uz sve izraženije insistiranje na tačnosti isporuke (po sadržaju i vremenu) direktno utiče na "zaoštavanje" zahteva za komisioniranjem, čiji kvalitet realizacije može da bude presudan za funkcionisanje celog skladišta. Iz tog razloga ovoj funkciji - komisioniranju - se, shodno cilju ovog rada, u daljem tekstu posvećuje posebna pažnja.

1.2 Komisioniranje - Komisioni sistemi

Komisioniranje, kao što je prethodno već istaknuto, predstavlja jedan od bitnih procesa koji se realizuju u skladištima komadne robe i uključuje sve aktivnosti koje prate izdvajanje traženog asortimana robe prema vrsti i količini, a u cilju ispunjenja zahteva korisnika - narudžbina. Zahtevi za komisioniranjem se pojavljuju u različitim kontekstima u lancima snabdevanja, vezano za proizvodnju (montažu) ili distribuciju.

Mada komisioniranje, kako je već napomenuto, predstavlja samo deo od ukupnog rukovanja robom izvršenog u skladištu, njegov značaj je veoma veliki. Dostupne analize iz literature [27], [37] i [79] pokazuju da:

- troškovi komisioniranja često premašuju 50% i od ukupnih operativnih troškova skladišta (slika 1.3), i
- da 60% radnog angažovanja u skladištu pripada ovim procesima.

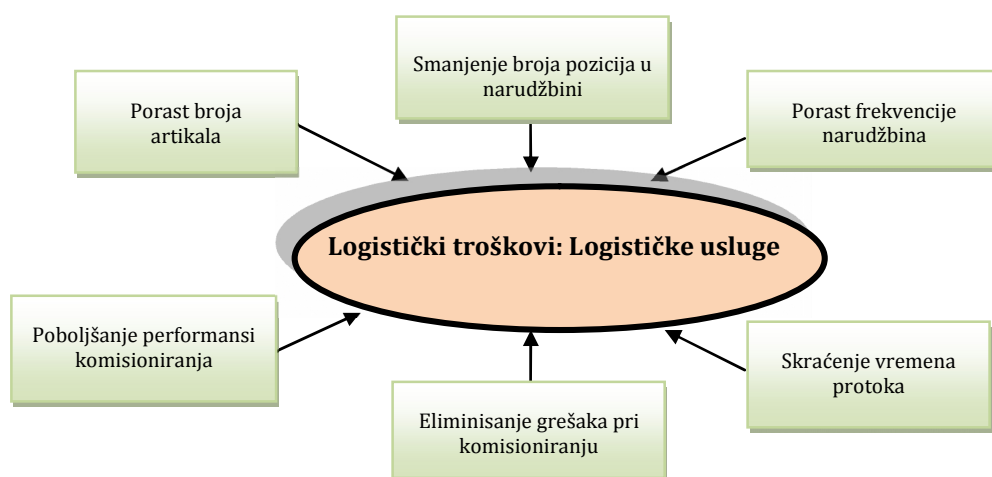


Slika 1.3 Tipična struktura skladišnih operativnih troškova [75]

Pored toga, komisioniranje predstavlja aktivnost koja u velikoj meri definiše kvalitet usluge koje skladište pruža korisnicima, što u savremenim uslovima poslovanja ima posebnu težinu.

Na slici 1.4 dati su osnovni zahtevi prema procesu komisioniranja, odnosno prema njegovim performansama. Ovo postavlja sledeće konkretne ciljeve za komisioniranje:

- povećanje performansi komisioniranja,
- smanjenje nivoa grešaka tokom realizacije komisioniranja, i
- skraćanje vremena protoka narudžbina u komisionom sistemu.



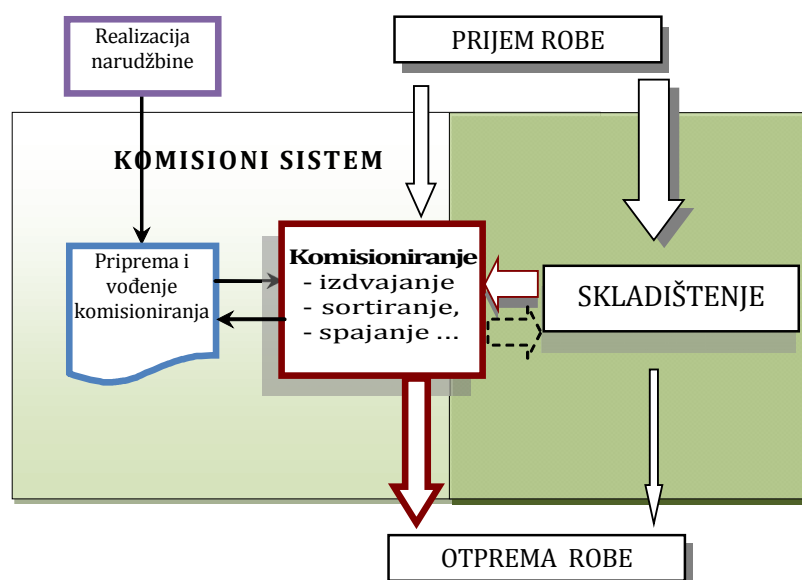
Slika 1.4 Zahtevi prema komisionom procesu (prema [14])

Performanse komisionog procesa u velikoj meri su zavisne od projektnog rešenja skladišta, kao i od načina na koji je sam proces organizovan i upravljani. Značaj ovog procesa u pojedinim skladištima nameće potrebu da i skladišno rešenje (primenom odgovarajuće tehnološke, organizacione i upravljačke forme) bude primarno prilagođeno zahtevima da se ova funkcija realizuje na efikasan način, odnosno da podsistem za komisioniranje bude adekvatno izabran i uobličen.

Komisioni podsistem (KS) u okviru skladišta predstavlja funkcionalno zaokruženu celinu sa elementima povezanim na takav način da omogućavaju izvršenje specifičnih skladišnih zadataka⁴. To su, pre svega, zadaci komisioniranja kojima se po zahtevima korisnika (korisničkim narudžbinama) obavlja priprema robe za otpremu formiranjem jedinica otpreme. Sam proces formiranja jedinice otpreme, u najopštijem (slika 1.5), uključuje aktivnosti povezane sa pripremom i vođenjem

⁴ Shodno tome, on može nadalje da se posmatra kao poseban komisioni sistem (KS).

procesa komisioniranja, izdvajanja, sortiranja i spajanja različitih jedinica robe iz postojećeg skladišnog asortimana. Pri realizaciji ovog procesa karakteristično je da se, po pravilu, pojavljuje potreba za promenom pojavnog oblika robe.



Slika 1.5 Komisioni sistem - pregled i međusobne veze aktivnosti

Potreba za promenom pojavnog oblika robe uzrokovana je činjenicom da u skladištu – skladišnoj zoni, sadržaj skladišne jedinice po količini najčešće prevazilazi zahtevanu količinu u korisničkoj narudžbini. Tendencija povećanja raznovrsnosti pojavnih oblika robe (uz smanjenje broja istih artikala po narudžbini) na izlazu u odnosu na pojavni oblik robe na ulazu u skladište ili u skladišnoj zoni, generiše povećanje kompleksnosti zadataka, odakle proističe i usložnjavanje strukture KS. S obzirom na širok spektar tipova, veličina, funkcija skladišta, kao i asortimana roba i zahteva korisnika razvijen je veliki skup rešenja KS u okviru skladišta, koji se u literaturi klasifikuju primenom različitih kriterijuma [26], [45] i [46], pri čemu se kriterijum(i) određuju shodno potrebama konkretnog istraživanja. Ovde, s obzirom na obuhvat istraživanja disertacije, je dat pregled tipičnih KS prilagođenih za komisioniranje paketnih jedinica.

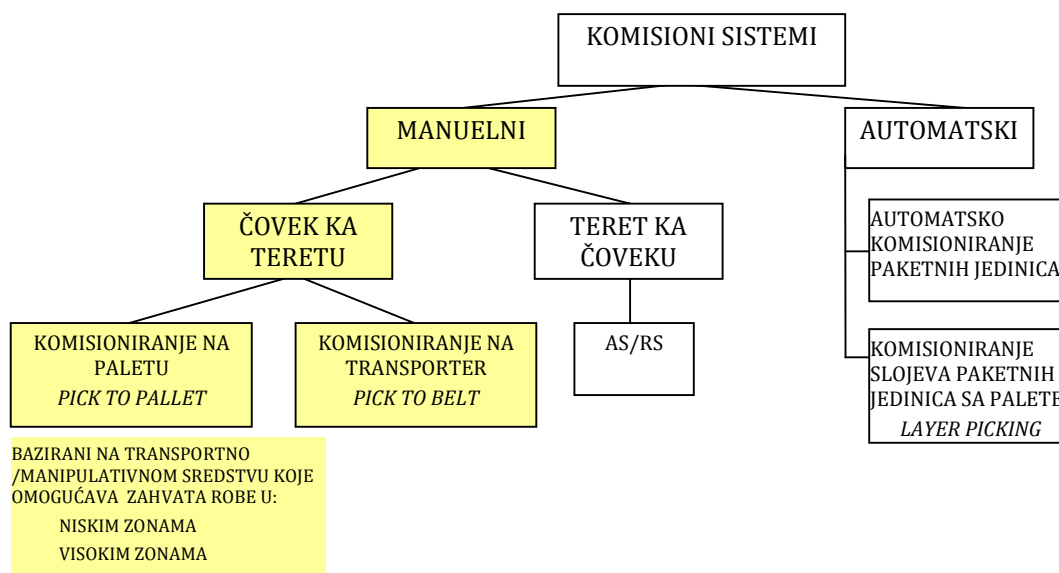
Imajući u vidu da KS predstavlja sistem sa funkcionalnim jedinstvom tehnološkog, organizacionog i upravljačkog dela, za potrebe ovog rada pogodno je KS raščlaniti na: *tehnološki, organizacioni i upravljački aspekt*, uz prihvatanje činjenice da dobar

KS može postojati samo u uslovima kada su ova tri dela uspešno komponovana i međusobno usaglašena. Zbog njihovog značaja, oni su ovde detaljnije predstavljeni.

1.2.1 Tehnološki aspekt

Sa tehnološkog aspekta, najzastupljenija, a za potrebe ovog rada svrsishodna je podela KS u odnosu na nivo automatizacije procesa. Shodno tom kriterijumu moguće razlikovati dva osnovna tipa KS (slika 1.6):

- manuelne sisteme i
- automatske sisteme.



Slika 1.6 Klasifikacija sistema za komisioniranje paketnih jedinica (na osnovu klasifikacije [26])

U manuelne sisteme klasifikuju se svi oni kod kojih izdvajanje robe u procesu komisioniranja realizuje čovek, a u automatske one kod kojih se proces komisioniranja realizuje bez neposrednog – direktnog učešća čoveka. Manuelni sistemi predstavljaju dominantan tip u praksi, dok je primena automatskih sistema retka i ograničena je samo na specijalne situacije⁵. U okviru manualnih sistema nalazi se široka lepeza rešenja/opreme koji za određene aktivnosti u procesu

⁵ Napolitano, M., (2012), Supply Chain Management Rreview, Special Report: 2012 Warehouse/DC Operations Survey: Mixed signals, pp 68-76

komisioniranja primenjuju manji ili veći stepen mehanizacije/automatizacije. Na osnovu načina realizacije "susretanja/povezivanja čoveka i robe" kod izdvajanja robe u procesu komisioniranja, ovi sistemi se dalje klasifikuju na sisteme:

- čovek - ka - teretu i
- teret - ka - čoveku.

Čovek-ka-teretu je sistem gde komisioner u realizaciji komisionih zadataka odlazi do skladišnih lokacija sa robom (najčešće u komisionoj zoni) da bi izdvojio odgovarajući broj traženih jedinica robe. Pošto se komisiona aktivnost odvija u radnom prolazu, ova klasa KS se često u literaturi označava i kao "in-the-aisle" sistemi⁶. U okviru ove klase KS, a na osnovu mesta odlaganja zahvaćene jedinice komisioniranja, moguća je razlikovati dva osnovna koncepta:

- pick to pallet i
- pick to belt.

U konceptu *pick to pallet* komisioner, krećući se kroz radni prolaz, obilazi skladišne lokacija sa robom, izdvaja zahtevanu robu u određenoj količini, slaže je na paletu i time postupno formira paletnu jedinicu, koju po završetku ciklusa predaje u otpremnu ili sortirnu zonu (shodno primenjenom metodu komisioniranje). Pri tome kretanje radnika-komisionera i palete, u zavisnosti od tipa KS i primenjene vrste transportno-manipulativnog sredstva, može biti:

- horizontalno - po podu (primenom ručnih/motorizovanih paletnih kolica ili viljuškara komisionera za horizontalni transport i omogućeno je zahvatanje robe u niskim zonama , ili
- istovremeno i horizontalno i vertikalno (primer su viljuškar za komisioniranje u vertikalnoj ravni (*cherry picker* i regalski slagač *man-on-board*) koji omogućavaju zahvatanje robe u visokim zonama. Detaljniji opis ovih varijanti dat je u [34], a ovde se opisuju samo osnove varijanti.

⁶ Prema De Kosteru et al. 2007, 80% KS u zapadnoj Evropi pripada sistemima ovoga tipa.

Varijanta zasnovana na primeni *ručnih paletnih kolica* (slika 1.7) omogućava komisioneru da krećući se sa paletom odlazi do skladišnih lokacija, izdvaja robu i slaže je na paletu do njenog fizičkog popunjavanja ili kompletiranja naloga, nakon čega je transportuje do otpremne zone ili zone sortiranja (ako radi o *batch* metodu komisioniranja). Ovu tehnologiju karakterišu niska investiciona ulaganja, međutim njena primena uzrokuje niz nepovoljnosti, kao na primer: mogućnost izdvajanja robe ograničena je samo na donje visinske nivoe regala, mogući dugi putevi, potrebno je da prolazi budu široki (troši skladišni prostor na neproduktivne sadržaje) da se u njima omoguće mimoilaženje komisionera i/ili sredstava za uskladištenje i iskladištenje.

Viljuškar komisioner za horizontalni transport omogućava komisioneru da prevozi i izdvaja robu i sa skladišnih lokacija koje su prostorno značajnije udaljene. Izdvajanje robe komisioner obavlja sa poda ili bez silaska sa vozila i iz tih razloga u ovoj tehnologiji visina dohvata je takođe ograničena na donje nivoe skladišnih regala. Izdvojene jedinice robe odlažu se na paletu koju nosi viljuškar. Česte su varijante ovog tipa sredstava sa produženom viljuškom, koja omogućava jednovremeno postavljanje dve palete, tako da komisioner može na racionalniji način (u jednom obilasku) da obrađuje jednu (veliku) ili više malih narudžbina (slika 1.7).

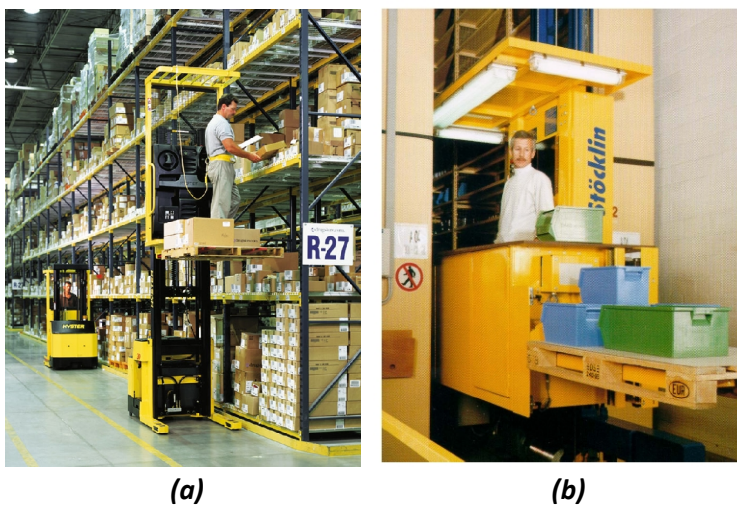


Slika 1.7 Prikaz viljuškara za horizontalni transport (paletna kolica; viljuškar komisioner za horizontalni transport)

Viljuškar za komisioniranje u vertikalnoj ravni omogućava da se komisioniranje obavlja i u gornjim nivoima regala, podižući komisionera na potrebnu visinu za

zahvatanje jedinica sa paleta u regalu (slika 1.8a). Primena ove tehnologije deluje u pravcu smanjenja potrebnog skladišnog prostora za komisioniranje, jer se za ovu funkciju koristi treća dimenzija - visina skladišta. Jasno je da u takvom radu produktivnost komisionera opada u odnosu na horizontalne varijante i obično se primenjuje u situacijama visoke gustine skladištenja i niske tražnje za robama.

Man-on-board predstavlja varijantu AS/RS. Kod ove varijante komisioner na uređaju odlazi do skladišnih lokacija pri izdvajanje robe (slika 1.8b). U ovom sistemu za čuvanje robe se najčešće koriste police, fioke i paletni regali i drugi oblici skladišnih tehnologija. U pogledu slobode kretanja uređaja sistem se pojavljuje u dve varijante: sa vezanim i slobodnim uređajem, tj. uređajem dodeljenim jednom skladišnom prolazu ili sa uređajem namenjenom za rad u više skladišnih prolaza. Primena ovog tipa tehnologije omogućava veliku uštedu u prostoru jer je omogućen rad i na visinama značajno iznad dohvata komisionera (oko 12 m). Međutim, zbog relativno male vertikalne brzine produktivnost u radu sa ovim sredstvom nije posebno visoka. Nadalje, visoka cena ovog sredstva, ga često eliminiše kao varijantu pri poređenju sa konkurentnim tehnologijama (baziranih na primeni komisionih kolica, transportera i sl.) tako da je oblast njegove primenu ograničena, pre svega, na situacije kada je potrebna velika gustina skladištenja različitih roba (a pre svega "sporih" roba) i kada je cena prostora izuzetno visoka.



Slika 1.8 Prikaz viljuškara za komisioniranje u vertikalnoj ravni (a) i Čovek na AS/RS uređaju man-on-board (b)

Tipični tehnološki oblici ovih komisionih sistema - tipične tehnologije mogu biti predstavljeni različitim kombinacijama tehnologija skladištenja i manipulisanja, kako je to prikazano u Tabeli 1.2.

Tabela 1.2 Podtipovi KS *in the aisle*[31]

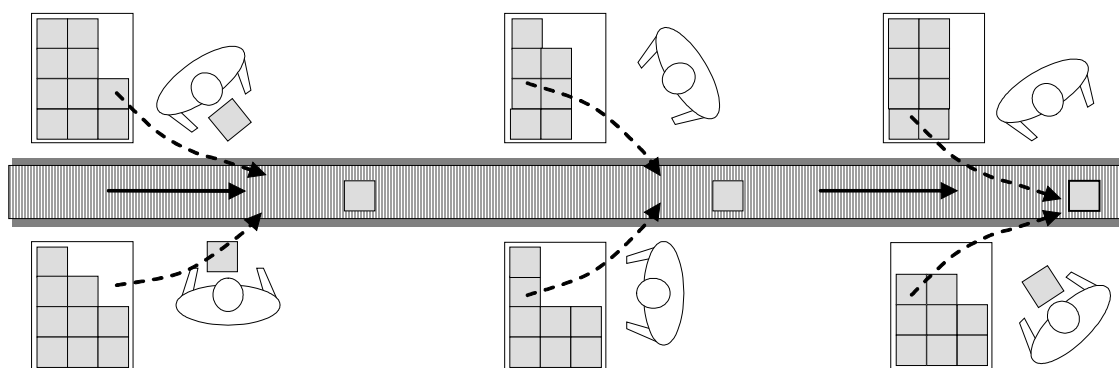
TEHNOLOGIJA SKLADIŠTENJA	NIVO ZAHVATA ROBE	KRETANJE			
		Peške	Na sredstvu		
Tehnologija za skladištenje paletizovane robe (paletni regali) i Tehnologija skladištenja paketnih jedinica robe (police)	Nisko	<i>Walk and pick</i> sa kolicima za komisioniranje ili komisioniranje na paletu koja je na paletnim kolicima	Viljuškar komisioner za horizontalni transport		
	Visoko			Viljuškar komisioner za komisioniranje u vertikalnoj ravni - <i>cherry picker</i>	<i>Man-on board</i>

Koncept *pick to belt* podrazumeva da komisioner izdvojene jedinice robe, u tipičnom slučaju iz skladišnog regala u svojoj zoni rada, odlaže na transporter obično valjkasti ili trakasti transporter ili njihovu kombinaciju (slika 1.9). Transporter se postavlja u radnom prolazu ili u njegovoj blizini. Njegova funkcija je da izdvojene jedinice robe otpremi do sortirne zone, gde se nakon procesa sortiranja formiraju jedinice otpreme, u posmatranom slučaju mešovite palete. Osnovna prednost sistema *pick to belt* je u mogućnosti značajnog porasta produktivnosti komisionera zbog smanjenja njegovog kretanja između komisionih (skladišnih) lokacija. Osnovni nedostatak ove varijante je potreba investicija u dodatne sisteme sortiranja, posebno u slučaju zonskog komisioniranja sa naknadnim sortiranjem. Oblast efikasne primene ove varijante je u komisionim zonama sa visokim obimom komisioniranja. U nastavku dat je sažet pregled karakterističnih varijanti i neke od tipičnih koncepcija baziranih na primeni transportera.



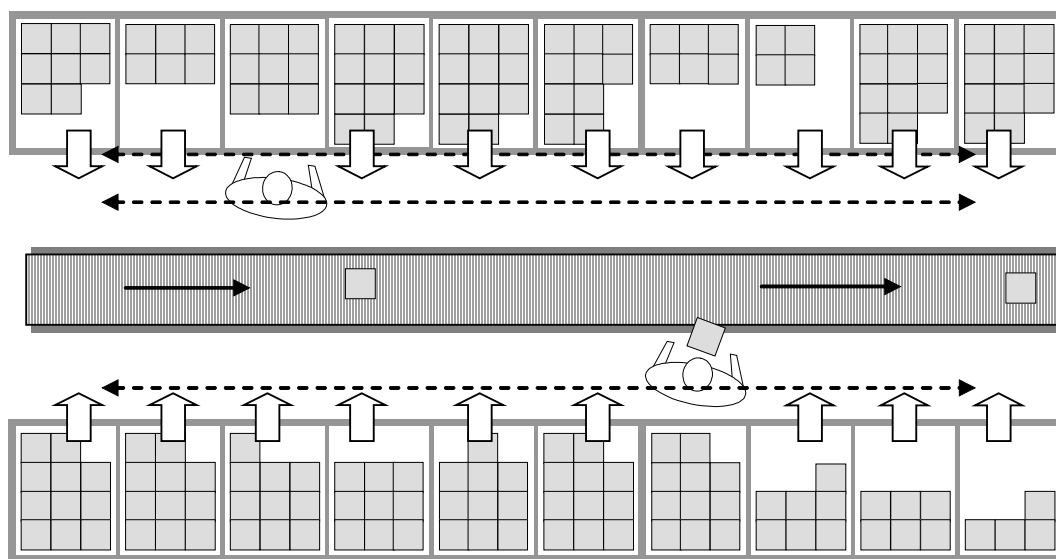
Slika 1.9 Pick to belt

Vrlo aktivne (*brze*) robe mogu biti rukovane na efikasniji način ako se direktno smeštaju u komisionu zonu koja je locirana neposredno pored transportera i ako komisioner obavlja izdvajanje robe direktno na transporter (slika 1.10). Ovakav pristup ne predstavlja pogodno rešenje u pogledu *layout*-a jer ne koristi efikasno prostor i praktičan je samo u situacijama kada su jedinice robe zaista takvih karakteristika u pogledu aktivnosti da se naručuju tako često kako pristižu u skladište, a troše se u kratkom vremenskom intervalu (na primer u jednom danu).



Slika 1.10 Tipična koncepcija kada su u pitanju vrlo brze robe (robe se izdvajaju u paketnom obliku sa paleta smeštenih pored transportera)

Za *aktivne (brze) robe* koje nemaju brzinu izlaska iz skladišta kao robe prethodne grupe (ne komisioniraju se u celosti na nivou dana) koncepcija se razlikuje. Kada se u skladištu pojavljuju u paletnom obliku a komisioniraju u paketnom obliku, tipična koncepcija predviđa skladištenje paletnih jedinica u regalima, iz kojih se izdvojeni paketi odlažu na transporter postavljen u radnom prolazu (slika 1.11).

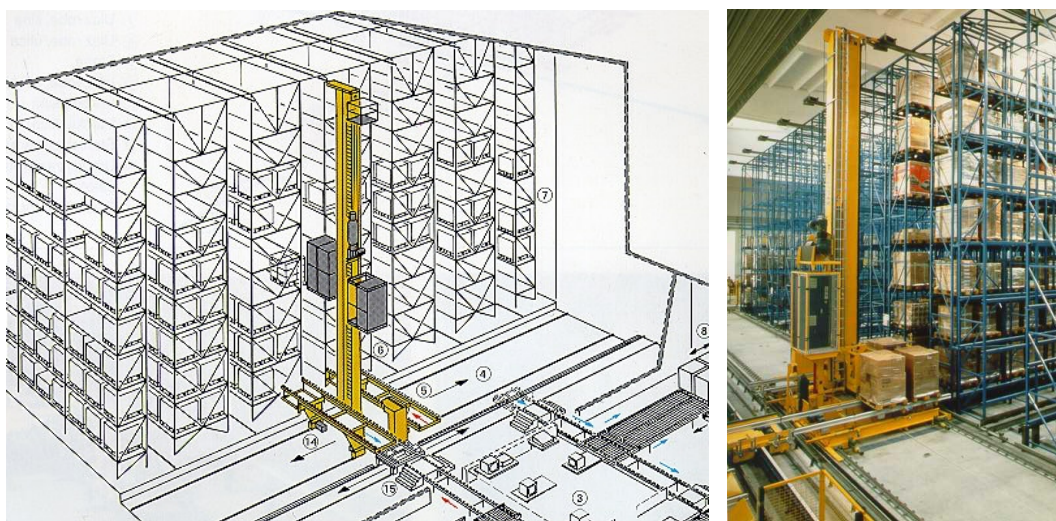


Slika 1.11 Tipična koncepcija kada su u pitanju brze robe (robe se skladište u paletnim regalima i izdvajaju u paketnom obliku na transporter postavljen u radnom prolazu)

Srednje do nisko aktivne robe koje su u paletnom obliku, skladište se na sličan način kao prethodna klasa robe. Ako postavljanje transportera u skladišni prolaz ne predstavlja ekonomično rešenje, onda su mogu primeniti neki oblici kombinacija *pick to pallet* i *pick to belt*. Kada je transportno rastojanje značajno – roba se prvo, izdvajanja i odlaže na paletu na nekom od transportno - manipulativnih sredstava sa pogonom i nakon toga transportuje i pretovara na transporter koji je odnosi u dalje faze (sortiranje i otprema).

Teret-ka-čoveku je sistem u kome se roba za komisioniranje u datom trenutku transportuje iz zone skladištenja i postavlja na mesto za komisioniranje da bi se tamo izdvojila od strane komisionera (slika 1.12). Višak robe (eventualna preostala količina iz sadržaja skladišne jedinice) posle izdvajanja se vraća u zonu skladištenja. Vreme potrebno za kretanja komisionera koje je predstavljalo značajnu stavku u vremenskoj strukturi komisionih zadataka prethodnog tipa (koje prema [71, 75] iznosi i do 60% od ukupnog vremena,) sada je izbegnuto, ali se povećava vreme izdvajanja i vreme čekanja na dopremu tražene robe do komisionog mesta. Generalno, ovi sistemi podrazumevaju uključenje većeg stepena mehanizacije/automatizacije. Tipičan predstavnik je AS/RS (*Automated Storage*

and Retrieval Systems) koji predstavlja automatizovanu verziju visokoregalnog paletnog skladišta. Bitna karakteristika za ovu koncepciju je kompjuterski upravljani podsistem za uskladištenje i iskladištenje, koji rukuje sa paletnim jedinicama. U kontekstu komisioniranja, primena ovog sistema podrazumeva izdvajanje palete iz skladišne zone - regala i njenu dopremu do komisionog mesta gde komisioner izdvaja potrebnu količinu jedinica robe, a preostala roba na paleti se vraća u skladišnu zonu.



Slika 1.12 AS/RS

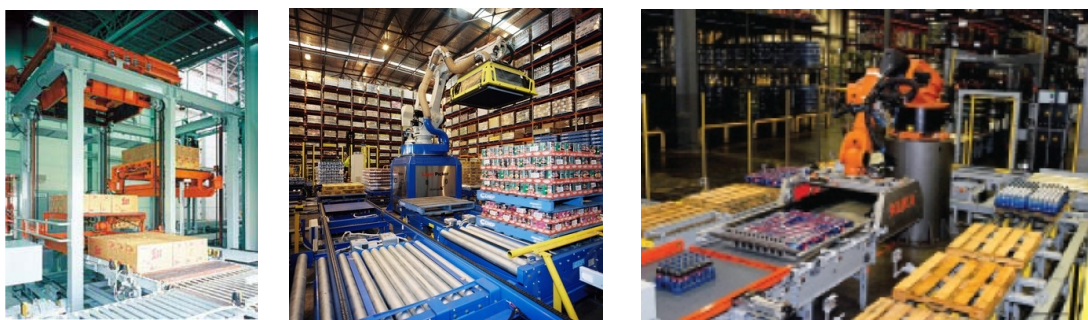
Automatsko komisioniranje pakernih jedinica[37] je sistem koji omogućava automatsko uskladištenje i iskladištenje pakernih jedinica tereta (slika 1.13). Za skladištenje pakernih jedinica tereta tipično se koriste - protočni regali-police. Kako se radi o potpuno automatizovanom sistemu, učešće čoveka je eliminisano - nepotrebno. Visoka proizvodnost (500 pakernih jedinica na čas) i ušteda u radnoj snazi su osnovne pogodnosti ovog tipa. Glavne mane ovog sistema su visoki inicijalni troškovi i visoki zahtevi za održavanjem. Primena ovog tipa KS podrazumeva fizičko razdvajanje KZ od RZ.



Slika 1.13 Automatsko komisioniranje paketnih jedinica

Komisioniranje slojeva paketnih jedinica sa palete (Layer picking)

Ova koncepcija se koristi za mehanizovano/automatizovano izdvajanje – zahvatanje slojeva (*layer-a*) paketnih jedinica sa palete. U tipičnim slučajevima paletna jedinica se doprema iz zone rezervi (AS/RS) do uređaja za *Layer picking*. Mašina/uređaj zahvata sloj paketnih jedinica i odlaže na paletu za formiranje nove jedinice otpreme. Nakon toga ta paleta se vraća u RZ, a nova se doprema i postupak se ponavlja do konačnog formiranja-ispunjenja korisničkih narudžbina. Postoje različita varijante koncepcija bazirane na različitim tehničkim rešenjima za zahvatanje slojeva paketnih jedinica (slika 1.14). *Layer Picking* oblast racionalne primene nalazi u situacijama kada korisnici naručuju velike količine robe u količinama koje odgovaraju *layer* kvantitetima i kada su troškovi rada izuzetno visoki.



Slika 1.14 Komisioniranje slojeva paketnih jedinica sa palete - varijantna tehnička rešenja

1.2.2 Organizacioni aspekt

Organizacija procesa komisioniranja se odnosi na definisanje načina realizacije samog procesa - metod komisioniranja. Pri tome se, kao bitni faktori izdvajaju korisničke narudžbine sa svojim karakteristikama, a koje u velikoj meri opredeljuju izbor određenog metoda komisioniranja.

Korisnička narudžbina, kao osnovni nosač informacija kojom se inicira komisioniranje, sastoji se od određenog broja redova (linija), koji određuju robe koje treba uzeti i u kojoj količini. Ova narudžbina se po pravilu pretvara u neku formu *naloga za komisioniranje*, prilagođenog potrebama komisioniranja. Nalog se dopunjava specifičnim podacima o robi koju treba uzeti: naziv artikla, količina, fizičke karakteristike (dimenzija težina, način pakovanja i sl.), mesto robe i drugim podacima (broj ciklusa, skladišna zona, datum, informacije o korisnicima i sl.). Na narudžbini se sortiranje redova određuje prema redosledu uzimanja ili nekim drugim zahtevima koje nameće organizacija obrade prilagođena potrebama komisionera, tj. prilagođeno je izvršenju komisionog zadatka.

U zavisnosti od izabrane metode komisioniranja primenjuju se različite varijante pretvaranja korisničke narudžbine u nalog za komisioniranje (komisionu narudžbinu). Imajući u vidu potencijalni asortiman roba, broj i vrstu lokacija gde je ona smeštena, primenjenu skladišnu opremu, danas komisioniranje podrazumeva primenu računara i odgovarajućeg softvera za rešavanje ovog, u nekim situacijama veoma komplikovanog zadatka. Realizacije opisanih zadataka (ispunjenja korisničke narudžbine) se različito realizuje u praksi. U literaturi [26], [75] i [76] posvećenoj problemu komisioniranja, sa aspekta organizacije realizacije procesa komisioniranja, kao osnovne metode najčešće se navode:

- pojedinačno komisioniranje,
- grupno (*batch*) komisioniranje i
- zonsko komisioniranje.

Pojedinačno (*sekvencijalno*) komisioniranje je metoda kada jedan komisioner jednovremeno / u jednom ciklusu realizuje samo jednu narudžbinu – odnosno

komisioni nalog; krećući se kroz skladište, od lokacije do lokacije robe shodno nalogu, izdvaja traženi robni sadržaj nakon čega se on otprema do zona pakovanja ili otpreme u skladištu. Glavna prednost ove metode, pored malih troškova pripreme, je da ne narušava integritet korisničke narudžbine. Osnovna mana sekvencijalnog komisioniranja je da pri obradi narudžbine komisioner prelazi veliki put kroz skladište, tako da je vreme puta po poziciji komisioniranja relativno veliko. Nekada interval strpljivosti za ispunjenje narudžbine ne dozvoljava primenu drugih metoda.

Grupno (*batch*) komisioniranje podrazumeva prethodno nakupljanje određenog broja komisionih narudžbina, pa tek nakon toga formiranje naloga za komisioniranje. U ovakvom pristupu svaki od komisionera izdvaja robu za više narudžbina istovremeno. Jasno je da je glavna prednost *batch* metode u odnosu na prethodnu metodu, u redukcija vremena puta po poziciji (liniji) – komisioniranja. Međutim, u ovom slučaju prisutan je problem mogućeg gubljenja integriteta narudžbine i pojavi zahteva za dodatnim manipulacijama kao što je sortiranje i sl. Zbog toga, koristi od smanjenja vremena puta moraju da se uporede sa troškovima sortiranja i eventualnom pojavom grešaka u komisioniranju kod primene ovog metoda. Generalno, ovaj metod može biti pogodan za obradu većeg broja manjih narudžbina (sa jednom do pet linija).

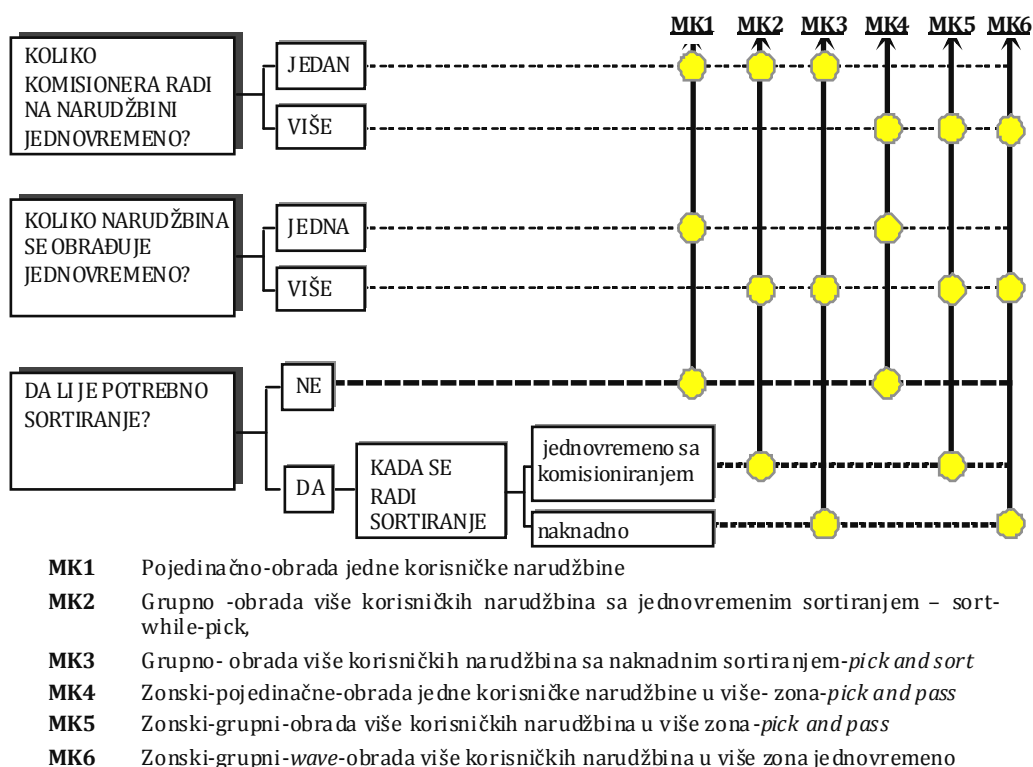
Zonsko komisioniranje je takav metod koji je baziran na pristupu da se svakom komisioneru dodeljuje specifični deo skladišnog područja odakle izdvaja traženu robu. Primenjuje se, tipično, u većim skladištima sa različitim skladišnim formama-tehnologijama, a veličina zone može biti promenljiva. Skup roba za komisioniranje u nekoj zoni je definisan u delu odgovarajućeg naloga. Nakon komisioniranja u zonama pojedinih delova komisionog naloga, neophodno je objedinjavanje parcijalnih sadržaja narudžbine u jedinstveni, traženi sadržaj (saglasno narudžbini), pre otpreme iz skladišta. Glavna prednost ove metode je u uštedi vremena kretanja (puta), jer svaki komisioner pokriva manji deo skladišta tako da vreme kretanja po poziciji može biti znatno manje nego kod prethodne metode. Nadalje, prednost ove metode ogleda se i u činjenici da komisioner postaje

"familijaran" sa robama u svojoj zoni što mu omogućava efikasniji rad. Međutim ovu uštedu u vremenu kretanja treba uporediti sa troškovima eventualnog sortiranja i objedinjavanja komisione narudžbine, kao i manjkavostima nastalim od mogućih grešaka nastalih primenom ove metode.

Kombinovanjem ova tri osnovna metoda komisioniranja, može se izvesti šest različitih, u praksi realno primenljivih, metoda komisioniranja [32]. Njihova struktura se ostvaruje kroz odgovore na sledeća tri pitanja:

- Koliko komisionera radi na obradi jedne narudžbine?
- Koliko narudžbina se obrađuje jednovremeno?
- Da li je potrebno sortiranje i kada se ono realizuje?

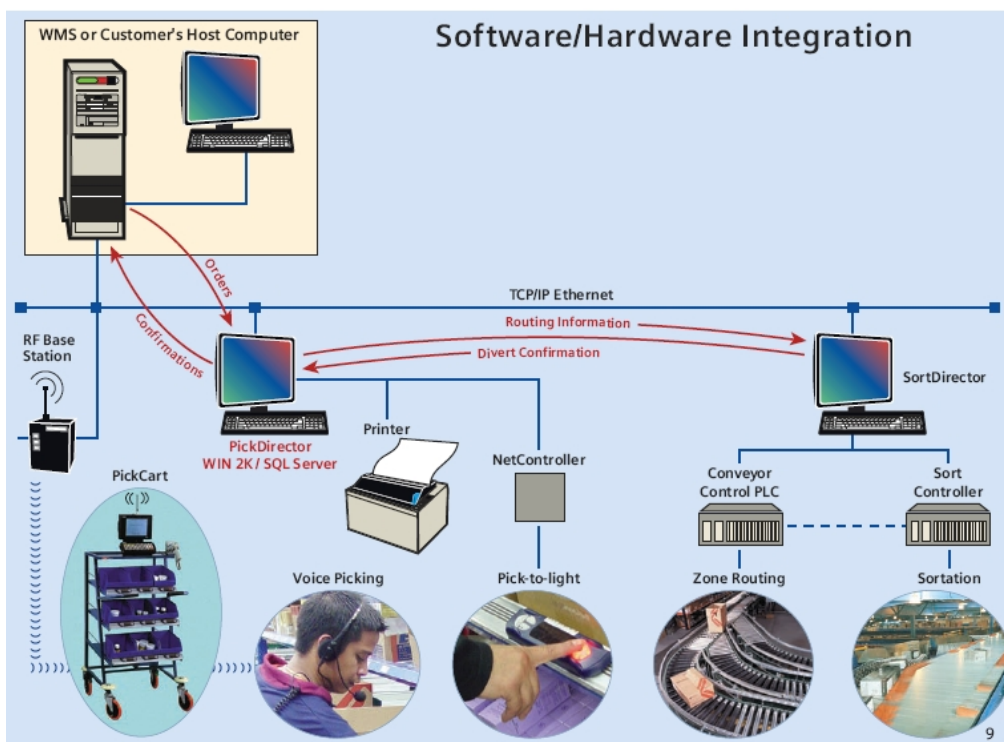
Na slici 1.15 je predstavljeno generisanje ovih šest tipičnih metoda komisioniranja (u zavisnosti od obuhvata aktivnosti), a za detaljniji opis videti [32].



Slika 1.15 Generisanje tipičnih metoda komisioniranja [32]

1.2.3 Upravljački aspekt

Osnovu upravljačkog aspekta određuje primenjeni informacijski sistem koji podržava proces komisioniranja. Informacijski sistem treba da obezbedi prikupljanje, pripremu, obradu i prezentaciju svih informacija koje su neophodne za komisioniranje. Visoka tačnost, kompletnost i blagovremenost ispunjavanja narudžbina su ključne performanse, a dobar informacijski i komunikacioni sistem su pretpostavka za dostizanje ovih ciljeva. Shodno tome, u ovom radu će detaljnije biti opisan samo segment upravljanja koji se odnosi na podesnu i tačnu prezentaciju informacija komisionerima, a kao pomoć u vođenju komisionera pri realizaciji njegovih zadataka. Ovo je po pravilu segment WMS-a (*Warehouse Management System*) sa tipičnom strukturom kao na slici 1.16.



Slika 1.16 Prikaz jedne integracije hardvera i softvera u procesima komisioniranja [87]

Proces komisioniranja može biti upravljan na različite načine. U praksi se sreću dve tipične tehnologije i to tzv. "papirna" i "bezpapirna".

U "papirnoj" tehnologiji, čovek ili računar analiziraju narudžbinu(e) i kreiraju komisionu listu u papirnoj formi za komisionera. Komisioner sa nalogom - listom za komisioniranje (slika 1.17), čitajući liniju po liniju teksta sa liste, pronalazi traženu skladišnu lokaciju sa koje izdvaja traženu količinu robe, notira izvršenu aktivnost ili stanja nastala usled delimičnog ili potpunog nedostatka tražene robe. U dobro organizovanim i upravljanim skladištima, sa iskusnim komisionerima, ovaj sistem funkcioniše korektno. Prednost ovog sistema je u relativno niskim troškovima njegovog uvođenja i primene, ali njegovo korišćenje, u sadašnjem trenutku, je ograničeno na situacije koje karakterišu niski zahtevi u pogledu brzine protoka informacija i obrade naloga. Treba naglasiti da "papirno" komisioniranje generiše značajno veći nivo pojave grešaka.



Slika 1.17 Rad primenom "papirne" tehnologije

Jedna od tendencija razvoja u ovoj oblasti odnosi se na primenu "bezpapirnih" tehnologija. Kod njih se sve aktivnosti pri komisioniranju prate elektronski - papirna komisiona lista se zamenjuje prenosom relevantnih podataka preko nekog medijuma (IR, radio talasi), ka terminalima koji se nalaze na svakom radnom mestu - uređaju ili radniku. Pošto komisioner ne nosi papir, njegove ruke su po pravilu slobodne, a neproduktivne aktivnosti vezane za čitanje, pisanje i sl. su smanjene/eliminirane, tako da raste produktivnost i više od 50% [87]. Pregled pogodnosti "bezpapirnih" tehnologija je naveden u [14], i odnosi se na:

- eliminaciju obrade papira, nema pisanja,

- redukciju vremena traženja artikla (njegove lokacije) / orijentacije,
- oslobađanje ruku za manipulativne aktivnosti (sem kod primene ručnih uređaja),
- redukovanje izuzimanja pogrešnih artikala i količina rezultuje smanjenjem troškova personala za kontrole i povratne tokove,
- optimizaciju ruta komisioniranja,
- mogućnost obrade hitnih narudžbina sa prioritetom,
- ažuriranje zaliha kroz interaktivno komisioniranje,
- podršku kontinualnoj kontroli zaliha,
- redukovane sigurnosne zalihe zbog (praktično neprekidne) kontrole nivoa zaliha,
- mogućnost memorisanja podataka o aktivnostima i njihovom vremenskom aspektu, i
- redukovanje vremena obuke novog personala.

Visoki investicioni troškovi i značajna osetljivost ovih rešenja, posebno u slučaju "pada sistema" predstavljaju njihove glavne mane. Po zastupljenosti primene, izdvajaju se:

- sistemi upravljanja primenom *RF uređaja*,
- sistemi upravljanja *Pick-to light*, i
- sistemi upravljanja primenom *Pick to voice*,

Sistemi upravljanja primenom RF uređaja

Osnovu ovog sistema čini primena RF - komunikacionih veza za povezivanje komisionera i centralnog računara u realnom vremenu. *On-board* ili ručni terminali (slika 1.18) primaju instrukcije i imaju mogućnost za obavljanje niza aktivnosti vezanih za komuniciranje sa centralnim računarom (potvrđivanje, korekciju grešaka i dr.).



Slika 1.18 Rad primenom RF uređaja

Ovaj sistem upravljanja podrazumeva i primenu sistema za automatsku identifikaciju koji u realizaciji komisione aktivnosti pomaže u pronalaženju i potvrđivanju skladišne lokacije, kao i jedinica izdvojene robe. Primena ovog sistema podesna je u situacijama komisioniranja roba većih pojava oblika (paketa, paleta) dok kod jedinične robe - komada ovaj sistem može da bude nepogodan.

Pick-to light sistemi upravljanja

Kod *pick-to-light* upravljanja za vođenje komisionera se koristi displej za prikaz lokacije i količine za izdvajanje artikla iz narudžbine (slika 1.19). Displej može biti instaliran na regalu, a i kao pomoć pri komisioniranju iz karusela, protočnih regala i polica, AS/RS –a. Postoji više tehničkih rešenja ovog sistema. Iskustva ukazuju da ovaj sistem oblast racionalne primene nalazi kod komisioniranja "srednje brzih" i "brzih roba" manjih / pojedinačnih jedinica - komada, dok se manje koristi kod komisioniranja paketnih jedinica. Pošto zahteva hardver i odgovarajuću komunikaciju za svaku komisionu lokaciju, lakše ga je ekonomski opravdati tamo gde postoji veliki obim zahteva izdvajanja po robi.



Slika 1.19 Pick to light

Pick - to - voice sistemi upravljanja

Ovi sistemi upravljanja zasnovani su na govornoj komunikaciji, gde računar transformiše elektronske podatke u glasovnu komandu, na osnovu koje komisioner vrši zahtevane manipulacije sa robom (slika 1.20). U drugom smeru, softver glasovnu poruku komisionera (potvrda aktivnosti, nedostatak robe i dr.) transformiše u odgovarajući elektronski oblik za računar.

Prednost se ogleda u potpunom oslobađanju ruku komisionera od sporednih aktivnosti i usredsređenje samo na aktivnosti uzimanja - izdvajanja robe, pri čemu informacije ne mora da prati vizuelno npr. na monitoru, već glasovnom komunikacijom sa mašinom (računarom).

Mana ovih sistema je u otežanom raspoznavanju glasa (razni akcenti, pol, nivo znanja jezika i dr.), rad u uslovima povećanog nivoa buke, kao i moguće neprihvatanje/nerealizovanje zadatah naredbi.

Navedene tehnologije se razlikuju u pogledu investicionih zahteva, produktivnosti, tačnosti i ergonomije⁷.

⁷ Ovi aspekti nisu obuhvaćeni temom ovog rada, za detaljnije informacije o tome (videti [30], [33] i [34]).



Slika 1.20 Pick to voice

1.2.4 Tendencije u razvoju komisionih sistema

Pored svih nastojanja za širom primenom mehanizacije i automatizacije u cilju zamene i rasterećenja ljudskog rada, čovek kao komisioner u dogledno vreme neće biti potisnut iz ove oblasti. Mnoge aktivnosti u procesu komisioniranja moguće je automatizovati (npr. prenos informacija, kretanje robe i/ili komisionera) i one se primenjuju u brojnim realnim sistemima. Izdvajanja - uzimanja robe u procesu komisioniranja predstavlja posebno nezgodnu aktivnost u ovom pogledu. Naročito je to izraženo u situacijama kada se rukuje sa robom različite veličine, oblika, težine i dr., pri izuzimanju proizvoljnog broja jedinica iz osnovnog pakovanja - kada manuelno rukovanje još uvek nema racionalnu alternativu. Nova rešenja koja bi trebalo da u potpunosti omoguće automatsko komisioniranje su, zbog visokih zahteva za standardizacijom predmeta komisioniranja neefleksibilna i njihovo uvođenje generiše značajne troškove, pa je rentabilnosti njihove primene veoma ograničena. Slična je situacija i sa primenom robota kao komisionera. Sve to potvrđuje navedeno, da komisioniranje još uvek predstavlja radno intenzivnu i veoma zahtevnu aktivnost po više faktora.

S obzirom na ove činjenice, kao i dalje očekivano dominantno prisustvo komisionih sistema koji su zasnovani na učešću radne snage za realizaciju niza komisionih aktivnosti, ovaj rad je i posvećen iznalaženju nekih mogućnosti racionalizacije KS baziranih na ovim koncepcijama. To se prvenstveno odnosi na problem

struktuiranja podsistema skladišta, prvenstveno po pitanju potrebe uvođenja *tehnološke koncepcije komisione zone* kao posebnog podsistema u skladištu. Shodno ovom pristupu, dat je detaljniji osvrt na ovaj podsistem skladišta.

1.3 Komisiona zona

Skladište kao složen sistem sastoji se od skupa prostorno-funkcionalnih celina - skladišnih zona. Shodno osnovnim skladišnim procesima kao osnovne pojavljuju se zone: prijema, čuvanja/skladištenja, komisioniranja i otpreme. U skladu sa raznovrsnošću robnih tokova i transformacija na pojavnim oblicima robe, skladište može imati više ili manje složeniju strukturu, tako da se i ove zone mogu pojaviti sa različitim stepenom razvijenosti, diferenciranosti i povezanosti. U tom pogledu ovde je akcenat fokusiran na komisionu zonu (KZ) i njenoj analizi je posvećen naredni deo ovog rada.

KZ predstavlja deo skladišnog prostora namenjen realizaciji procesa komisioniranja primenom određenih oblika/tipova komisionih sistema (KS). Pregled KS za komisioniranje paketnih jedinica tereta dat je u prethodnom delu rada. Svaki od potencijalnih KS (*koji predstavlja izvodljive kombinacije tehnološkog, organizacionog i upravljačkog dela*) pruža različite mogućnosti prostornog organizovanja odnosno primenu različitih prostornih oblika KZ, a imajući to u vidu, mogu se kreirati različite koncepcije KZ⁸.

U narednom delu rada, s obzirom na njegovu osnovnu temu, sa više detalja osvetljen je problem KZ. Pri prikazu KZ se polazi od motiva za njeno formiranje, kroz identifikovanje osnovnih tipova KZ i opisa njihovih osnovnih karakteristika.

Uvođenje i formiranje KZ motivisano je očekivanim pozitivnim efektima od koncentracije roba za komisioniranje i komisionog rada na manjem prostoru (veća

⁸ Ovo je detaljnije razmatrano u Poglavlju 3 ovoga rada koje se bavi izborom odgovarajućih koncepcija KZ.

gustina komisioniranja⁹). Ovakav pristup u oblikovanju skladišta vodi ka povećanju efikasnosti komisionera i komisioniranja, pre svega preko: skraćanja neproduktivnih kretanja komisionera¹⁰, lakšeg i bržeg pronalaženja traženih artikala, lakšeg upravljanja procesom, što sve zajedno doprinosi skraćanju vremena obrade narudžbina. Pored istaknutih pozitivnih efekata, ova rešenja KZ prate povećani zahtevi za skladišnim prostorom, a generišu se i dodatni troškovi za njenim opremanjem (primene specijalizovanih tehnologija - KS). Takođe, ovakva prostorna organizacija ispostavlja i dodatne zahteve za uvođenjem skladišne funkcije punjenja, čiji osnovni zadatak se sastoji u dopremi zaliha robe iz (najčešće) RZ kada nivo zaliha robe u KZ padne na određeni nivo (najčešći slučaj kada padne na nulu).

Zona rezervi (RZ), sa druge strane, koristi se za čuvanje i držanje zaliha. U prvom planu je aspekt skladištenja, tako da se izbor skladišne tehnologije prilagođava zahtevima povoljnijeg korišćenja prostora i niže cene po jedinici skladištenja (tipične tehnologije primenjive za ovu zonu za paletizovane robe su blok sistem i tehnologija paletnih regala i dr.).

Imajući prethodno u vidu, KZ i RZ se u sklopu skladišne strukture mogu naći u različitim oblicima prostornog organizovanja. Osnovni prostorni oblici u ovom domenu su:

- KZ je fizički integrisana sa RZ,
- KZ je zasebna celina – fizički razdvojena od RZ,
- hibridna rešenja – KZ je deo u okviru skladišne zone i ona tada može biti oblikovana tako da:

⁹ *Gustina komisioniranja* (broj uzimanja po jedinici dužine pređenog puta) grubo pokazuje koliko efikasno se obrađuje narudžbina. Teži se da broj uzimanja po jedinici pređenog puta bude što veći. Jedan od načina povećanja gustine uzimanja je primena tehnologije koja omogućava veću gustine uskladištene robe – smanjenjem rastojanja između jedinica robe koje se postavljaju za komisioniranje; pored ovoga, mogućnosti za ovo povećanje kriju se u primeni određenih strategija dodeljivanja skladišnih lokacija – lociranja robe u skladištu kao i u primeni određenih metoda komisioniranja.

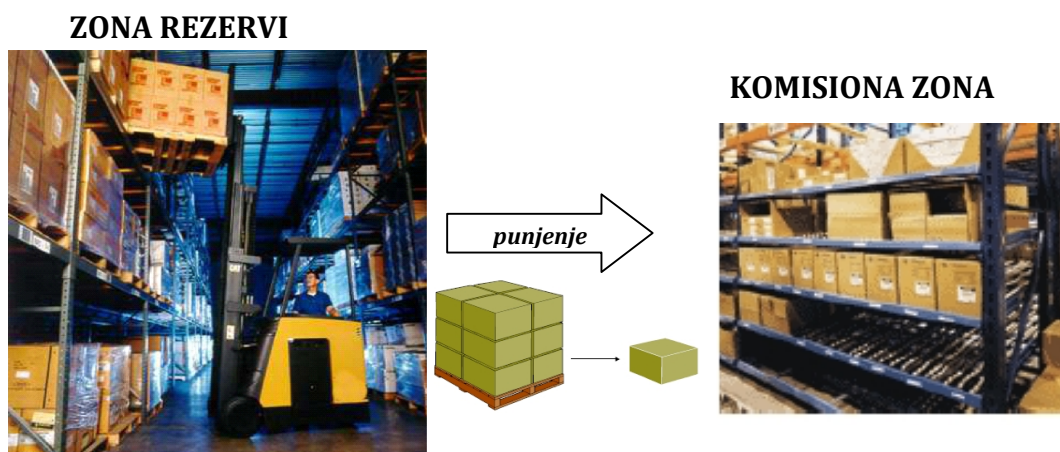
¹⁰ Prema [48] u manuelnim sistemima za komisioniranje pređeni put pri komisioniranju proporcionalan je kvadratnom korenu površine komisione zone, a vreme potrebno za savlađivanje tog puta - kretanja komisionera u komisionom ciklusu predstavlja 60% od ukpnog vremena ciklusa.

- KZ zauzima donje nivoe u skladišnoj zoni, RZ nivoe iznad nje - vertikalno razdvajanje,
- KZ zauzima delove skladišnih prolaza u skladišnoj zoni - horizontalno razdvajanje,
- KZ zauzima posebne skladišne prolaze u skladišnoj zoni.

(I)-Komisiona zona je fizički integrisana sa zonom rezervi kao prostorni oblik, se pojavljuje u situacijama kada ne postoji potreba za jasno diferenciranim KS, a posledica je relativno malog broja zahteva za komisioniranjem. U suprotnom, primenu ovakve organizacione forme skladišnog prostora, bi po pravilu, pratili visoki troškovi komisioniranja, prouzrokovani niskom produktivnosti komisionera (duge putanje i srednje vreme zahvata jedinica). Ovo bi bilo posebno izraženo u slučajevima prisustva: visokog nivoa zaliha i širokog asortimana robe. Takođe, takve situacije bi pratilo i neracionalno skladištenje robe.

(R)-Komisiona zona kao zasebna celina (slika 1.21) je prostorni oblik gde se formiranjem posebne KZ (u prostornom i tehnološkom smislu) postiže koncentracija komisionog rada na manjem prostoru i/ili primenom specijalizovane tehnologije, a time omogućavaju preduslovi za efikasno izvršenje procesa komisioniranja. Takođe je moguće formiranje i efikasnije RZ naročito u slučaju paletizovane robe. Ovakva skladišna organizacija, po pravilu generiše povećanje zahteva za:

- skladišnim prostorom,
- dodatnim investiranjem u "moćne" tehnologije za komisioniranje-KS, i
- dodatnim zahtevima za punjenjem KZ iz RZ.



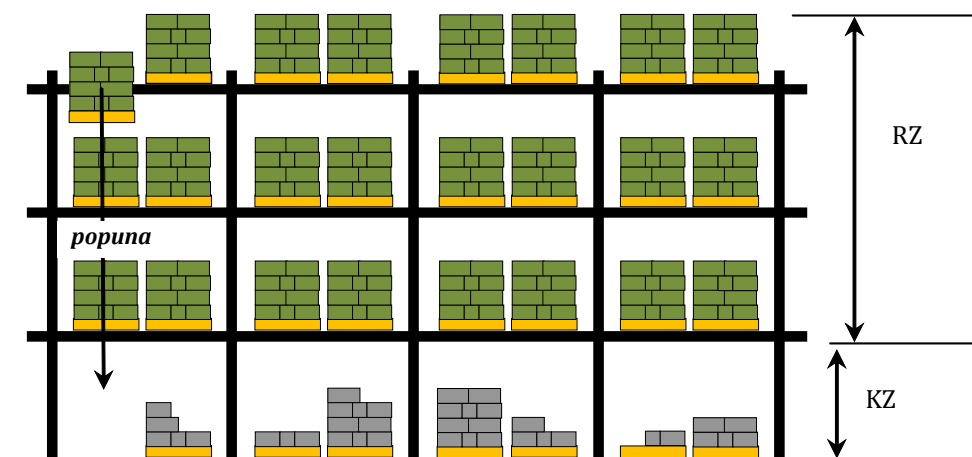
Slika 1.21 Komisiona zona kao zasebna celina

(H)-**Hibridno rešenje** predstavlja kombinaciju i u određenom smislu kompromisno rešenje između prethodno opisana dva prostorna oblika. Ono predviđa razvoj KZ i RZ u istom skladišnom prostoru njegovom specifičnom podelom na ove dve zone. Takvom prostornom organizacijom u određenim situacijama moguće je ostvariti pozitivne efekte ali je naravno karakterišu i određene nepogodnosti i ograničenja. Na primer kod umerenog nivoa zaliha robe, u okviru ovog prostornog oblika, ove je moguće smestiti u blizini prostora za komisioniranje blisko komisionim mestima. Na ovaj način se redukuje transport između ovih zona (prisutan u slučaju razdvojenih zona) i svodi na pretovarno-manipulativnu aktivnost (popunjavanje) koju može da izvede isto sredstvo koje obavlja i uskladištenje. Takođe se pojednostavljuje i olakšava upravljanje zalihama u KZ (održavanje zahtevanog nivoa zaliha na komisionim lokacijama). Ipak ovo samo delimično odvajanje ovih zona ograničava slobodu planiranja prostora i mogućnost slobodnog formiranja KZ i RZ i ostvarivanje-dostizanje efekata koji iz tog proizilaze.

Zbog značaja i prisustva u radu sledi detaljniji opis tipičnih varijanti u okviru ovog oblika.

(Ha) - Komisiona zona zauzima donje nivoe u skladišnoj zoni - vertikalno razdvajanje (slika 1.22)

Kod ove varjante realizacija komisionih i skladišnih aktivnosti se odvija u istom skladišnom prolazu. Zalihe u donjem nivou skladišnih regala su predviđene za komisioniranje, a nivoi iznad njih za skladištenje rezervi. Popuna robom donjih nivoa se obavlja iz RZ. Širina ovakvih prolaza mora da bude dovoljno velika da omogući jednovremeno nesmetano odvijanje aktivnosti uskladištenja/iskladištenja i komisioniranja. Da bi se izbeglo njihovo ometanje pri jednovremenoj realizaciji potrebno je planiranje i usklađivanje ovih aktivnosti.



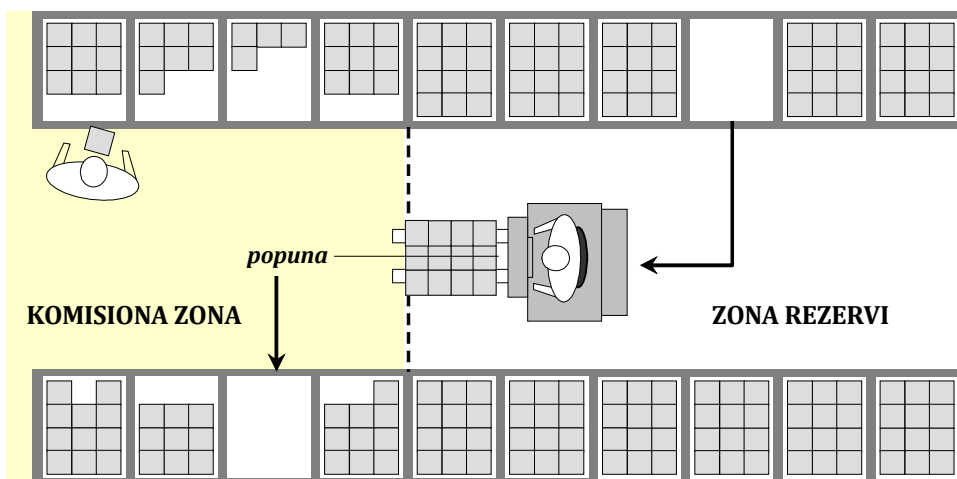
Slika 1.22 Vertikalno razdvajanje skladišne zone na KZ i RZ (Ha)

U donjim nivoima paletnih regala pored prikazane moguća je primena i drugih tehnologija: polica za ručno odlaganje, protočnih - gravitacionih regala/polica i sl.)

(Hb) - Komisiona zona zauzima delove skladišnih prolaza u skladišnoj zoni - horizontalno razdvajanje

Realizacija skladišnih i komisionih aktivnosti obavlja se u istim skladišnim prolazima, s tim što su delovi skladišnih prolaza - na primer njihov prednji deo namenjeni za komisioniranje, a njihov zadnji deo za RZ. Ovakva organizacija prostorno razdvaja skladišne aktivnosti (komisioniranje i uskladištenje/iskladištenje), eliminiše njihovo međusobno ometanje i stvara pretpostavku za jednovremenost njihove realizacije. Primena istih sredstava

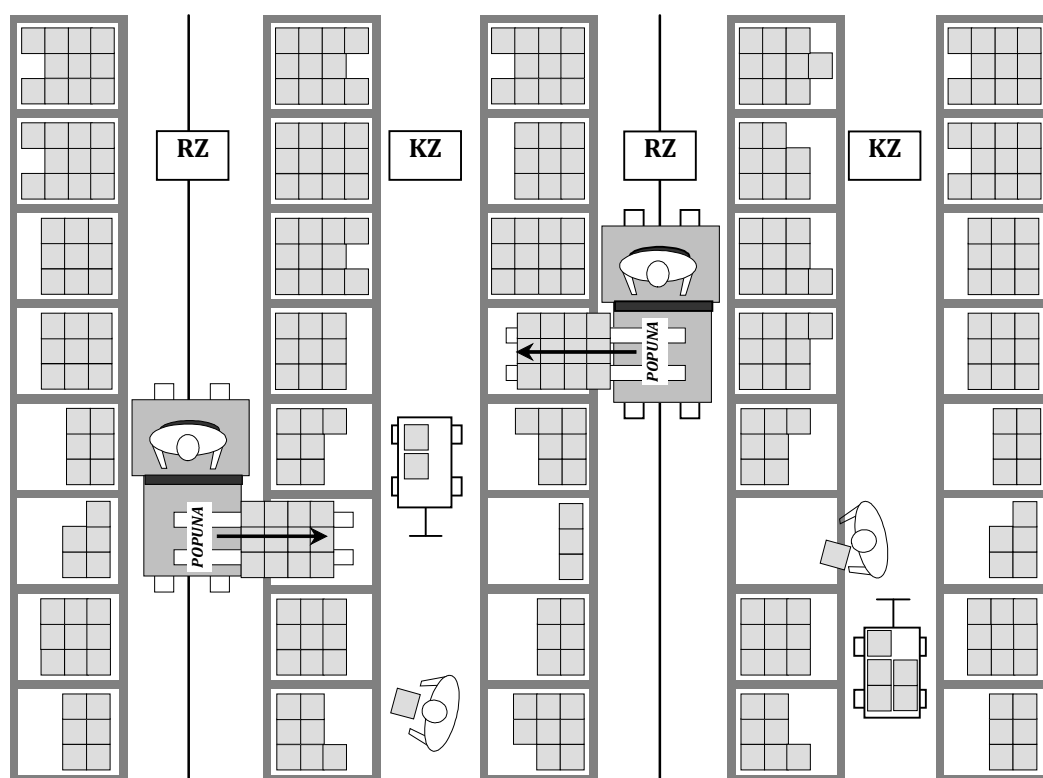
mehanizacije za aktivnosti uskladištenja - iskladištenja u RZ i punjenja KZ omogućava pogodno korišćenje mehanizacije. Međutim, kod ove organizacione forme treba imati u vidu i značajne zahteve za skladišnim prostorom, čemu u velikoj meri doprinosi znatna širina komisijonih prolaza (ista kao u RZ) – slika 1.23.



Slika 1.23 Primer horizontalnog razdvajanja KZ i RZ (Hb)

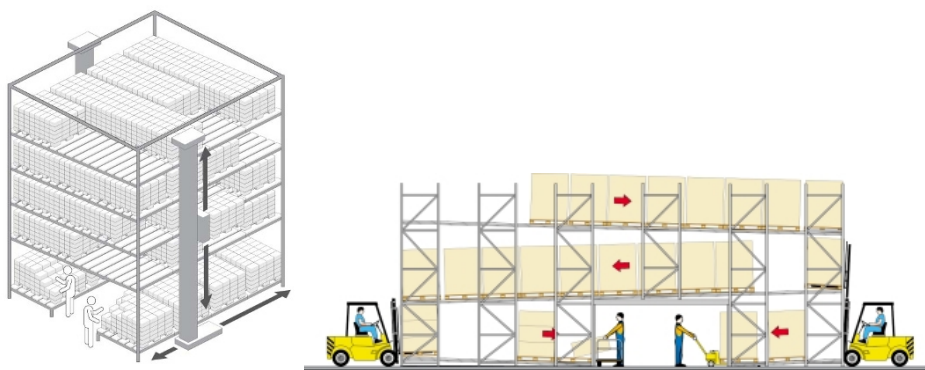
(Hc) - Komisijona zona zauzima posebne skladišne prolaze u skladišnoj zoni

U ovoj varijanti realizacija komisijonih aktivnosti se odvija prostorno nezavisno od skladišnih aktivnosti. Širina ovih prolaza može da bude prilagođena samo zahtevima sredstava i aktivnostima komisijoniranja koje se u njima realizuju. Ovakav vid skladišne organizacije pokazuje izvesne pozitivne efekte u odnosu na prethodni oblik (Hb). On omogućava efikasniju – jednovremenu - realizaciju komisijonih i drugih skladišnih aktivnosti uz otklanjanje mogućnosti njihovog međusobnog ometanja. Osnovnu manu ovog oblika KZ čine dodatni zahtevi za prostorom, što ne samo da povećava cenu samog sistema već, u izvesnim situacijama (kod primene određenih metoda komisijoniranja) može da utiče i na povećanje kretanja pri komisijoniranju.



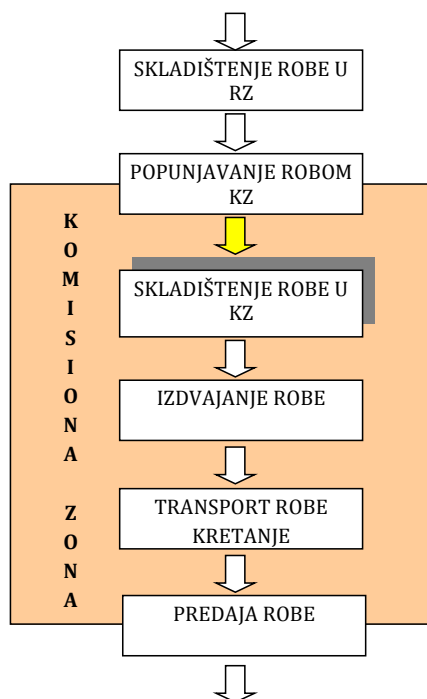
Slika 1.24 Razdvajanje KZ i RZ dodeljivanjem posebnih skladišnih prolaza (Hc)

Jedan od specifičnih oblika prostornog razdvajanja KZ i RZ, a prisutan u praksi, je tzv. "tunel" komisioniranje (slika 1.24). On omogućava jednovremeno i neometano odvijanje procesa komisioniranja i popunjavanja. Komisioniranje se odvija u donjim nivoima direktno sa palete iz prolaza-"tunela", slično kao kod varijante (Ha). U tehnološkom smislu na ovaj prostorni oblik može da se pojavi u varijantama kombinacija različitih tehnologija skladištenja paletizovanog tereta (npr. paletnog i protočnog regala) koji se opslužuju viljuškarom ili nekim tipom slagača (slika 1.25). Velika količina relativno uskog asortimana robe sa velikim protokom predstavlja tipičan zadatak za primenu ovog oblika KZ.



Slika 1.25 Varijantni oblici "tunnel" komisioniranja

Kod prostornih oblika (R) i (H) poseban značaj za rad KZ dobija skladišna funkcija punjenja/popune robom KZ iz RZ (slika 1.26), jer bez blagovremenog popunjavanja/punjenja ove zone nije moguće obavljati komisioniranje na racionalan način.



Slika 1.26 Osnovne skladišne funkcije u KZ

U okviru prostornog oblika (H) moguće je razlikovati dva sistema – dva tipa funkcije popunjavanja[45]:

- Tip 1 - prostorna kombinacija popunjavanja i izdvajanja i
- Tip 2 - prostorno razdvajanje popunjavanja i uzimanja.

Svaki od ovih sistema karakterisan je sa različitim mogućnostima i posledicama po troškove i performanse KS. Kriterijumi za izbor prostorne organizacije dati su u Tabeli 1.3.

Tabela 1.3 Kriterijumi za izbor načina prostorne organizacije [45]

PROSTORNA ORGANIZACIJA	PREDNOSTI	NEDOSTACI	PREPORUKE ZA IZBOR TIPa
TIP 1: prostorna kombinacija popunjavanja i izdvajanja	<ul style="list-style-type: none"> • Niski troškovi jer se instalira samo jedan sistem 	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjuje se proizvodnost komisionera jer se on ne može orijentisati samo na komisionerske aktivnosti • Smanjuje se i pretovarni učinak zbog ograničene mogućnosti popunjavanja • Pojavljuju se dodatni troškovi vezani za organizaciju usklađivanja popunjavanja i uzimanja odnosno komisioniranja 	<ul style="list-style-type: none"> • Pogodan kod malih zahteva za pretovarom • Kod sistema gde je primljena roba dovoljna za jedan komisioni period
TIP 2: prostorno razdvajanje punjenja i izdvajanja	<ul style="list-style-type: none"> • Visoka proizvodnost komisioniranja iz razloga specijalizacije • Visoka proizvodnost manipulisanja tako da se mogu puniti velike količine • Niski troškovi organizacije popunjavanja 	<ul style="list-style-type: none"> • Visoki troškovi instaliranja razdvojenih sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Pogodan kod velikih zahteva za pretovarom • Zahteva višekratno popunjavanje robe za vreme jednog komisionog perioda • Moguća potpuna automatizacija punjenja

Međutim, mora se naglasiti da ove dve varijante prostornog razdvajanja prate i različite mogućnosti vremenskog organizovanja procesa. Kod Tipa 1 - sa prostornom kombinacijom popunjavanja i izdvajanja postoje dve varijante vremena realizacije ovih aktivnosti: Varijanta 1: Istovremeno popunjavanje i komisioniranje (na primer: police se popunjavaju u periodu komisioniranja – izdvajanja) i Varijanta 2: Naizmenično popunjavanje i komisioniranje (vremenska razdvojenost popunjavanja i komisioniranja). Kriterijumi za izbor vremenske varijante dati su u Tabeli 1.4.

Tabela 1.4 Kriterijumi za izbor varijante vremenske organizacije punjenja i izdvajanja kod tipa prostorne kombinacije punjenja i izdvajanja [45].

VARIJANTE VREMENSKE ORGANIZACIJE	PREDNOSTI	NEDOSTACI	PREPORUKE ZA IZBOR TIPA
VARIJANTA 1: istovremeno punjenje i izdvajanje	<ul style="list-style-type: none"> • Moguće popunjavanje u svako vreme • Mogućnost nižih troškova za višestruko manje količine 	<ul style="list-style-type: none"> • Smanjenje proizvodnost komisioniranja • Visok trošak usklađivanja popunjavanja i komisioniranja 	<ul style="list-style-type: none"> • Pogodan uz činjenicu da se dugoročno ne mogu predvideti narudžbine
VARIJANTA 2: naizmenično punjenje i izdvajanje	<ul style="list-style-type: none"> • Mogućnost visokog učinka-proizvodnosti komisioniranja jer je sistem samo posvećen komisioniranju • Nizak trošak organizacije 	<ul style="list-style-type: none"> • Nema brzog popunjavanja • Visok trošak za veća stanja 	<ul style="list-style-type: none"> • Pogodan u situacijama kada su neke komisijone narudžbine koje treba obraditi u ujednom određenom komisijonom periodu unapred poznate

Statičke-Dinamičke KZ

Pored navedene klasifikacije (po kriterijumu prostornog oblika KZ) interesantna je klasifikacija koja zone deli prema stabilnosti robne strukture na:

- statičke i
- dinamičke.

Statičke zone podrazumevaju stabilnu strukturu roba zastupljenih u KZ u dužem vremenskom periodu. *Dinamičke* zone [71] predstavljaju tip sa izmenljivom strukturom kojom se zadovoljava tražnja za određenim robama u kraćim vremenskim periodima (danu ili čak satu i sl.). Dinamičke zone predstavljaju trend u evropskim skladištima [26, 84] iz razloga što njihova primena u određenim situacijama doprinosi povećanju produktivnosti komisioniranja. Postavlja se pitanje kada ih primeniti. Kao varijantni oblik zone u ovoj klasifikaciji pojavljuje se takođe i kombinovani pristup, koji bi mogao da predstavlja kombinaciju statičkih i dinamičkih zona za određene robne grupe, na primer za robe A sa stacionarnom karakteristikama –statičke zone; a dinamičke zone za robe B - sezonske robe i sl.

2 PROBLEMI PRI IZBORU I UOBLIČAVANJU KOMISIONE ZONE

Činjenica je da KZ predstavlja u najvećem broju slučajeva neizostavni deo skladišta, kao i to da postoji njena kompleksna povezanost i uslovljenost sa drugim skladišnim zonama. Zbog toga se nameće kao logičan i celishodan pristup da se i problemi vezani za izbor i uobličavanje ove zone, kao specifični problemi projektovanja, postave i posmatraju u kontekstu tehnološkog projektovanja skladišta.

Projektovanje, u opšte, u inženjerstvu predstavlja najvažniji zadatak koji, u zavisnosti od vrste projekta, ima za cilj kreiranje novog proizvoda ili sistema. Tehnološko projektovanje skladišta, kao specifičan oblik projektovanja, pripada jednom od najizazovnijih zadataka koji se postavlja pred inženjera logistike. Ono podrazumeva donošenje različitih projektnih odluka, radi kreiranja skladišnog rešenja koje će u najboljoj meri da ispuni postavljene zadatke u skladu sa projektnim ciljevima, zahtevima i ograničenjima. Donošenje projektnih odluka u nekim slučajevima se bazira na primeni egzaktnih modela, dok se u drugim slučajevima zasniva na primeni inženjerskih preporuka, "dobre" prakse, procena i intuicije, što samo projektovanje karakteriše kao aktivnost koja ima elemente nauke a u nekim slučajevima i umetnosti. Sama aktivnost projektovanja podrazumeva obimnu analizu velikog broja različitih podataka, kreiranje odgovarajućih skladišnih podsistema (koji moraju biti usaglašeni međusobno) i procesa u njima donošenjem niza međuzavisnih projektnih odluka. Ono što projektovanje čini kompleksnim je da se ono po pravilu sprovodi u uslovima prisustva konfliktnih ciljeva, ograničenja, zahteva i dr., a sve to uz postojanje velikog broja potencijalno primenjivih varijantnih rešenja. Sve ovo jasno upućuje

na potrebu za pogodnim metodološkim pristupom-kao preliminarnim »alatom« za rešavanje ovako složenog zadatka.

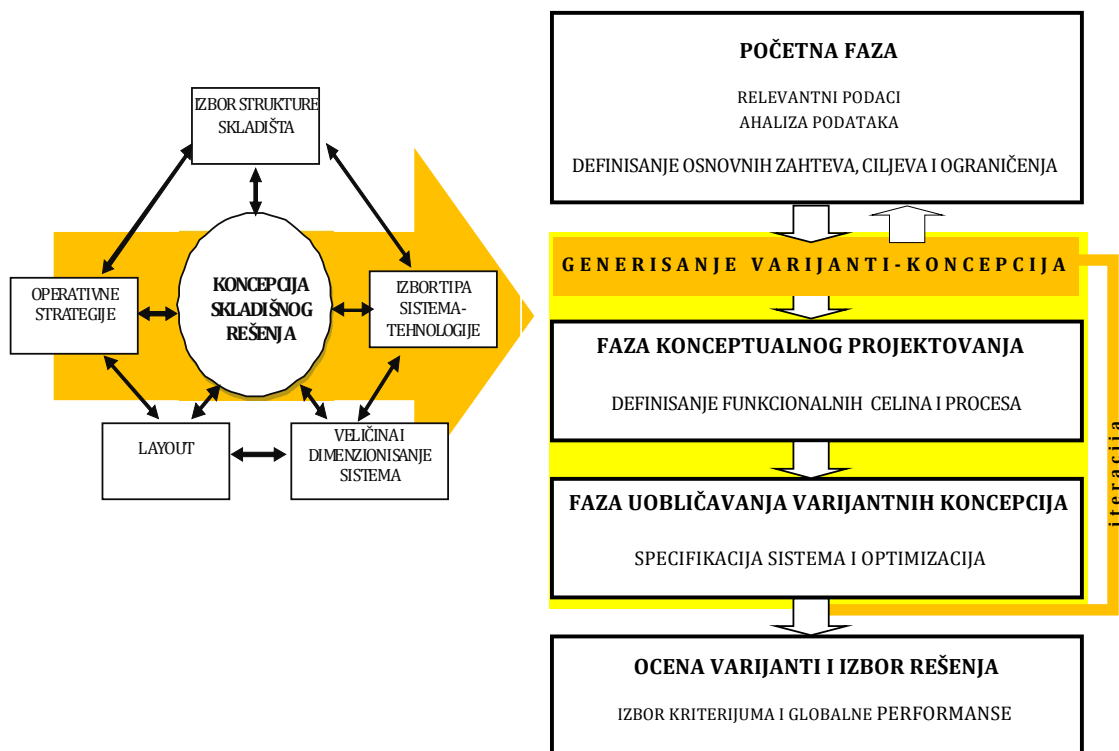
Analizom projektne prakse uočavaju se različiti pristupi koji se primenjuju za rešavanje ovog tipa projektovanja na šta ukazuje i analiza literature. Kao potvrdu ovakvog stanja, Baker i Canessa (2009)[6] daju pregled četrnaest tipičnih metodologija prisutnih u raspoloživoj literaturi i istražuje njihovu primenu u projektnoj praksi vodećih evropskih projektних kuća. Ovakav rezultat jasno ukazuje da projektovanje skladišta, još uvek, prati nepostojanje jedinstveno prihvaćene metodologije u ovoj oblasti. S obzirom na istaknute aspekte koji karakterišu proces projektovanja skladišta i nepostojanja jedinstveno prihvaćene metodologije, u narednom delu, u kraćem obimu, opisane su opšte odlike procesa njegovog projektovanja. To je prezentovano radi sagledavanja geneze problema razvoja rešenja i oblikovanja komisione zone u procesu projektovanja skladišta.

2.1 Proces projektovanja skladišta

Projektovanje skladišta je kompleksan proces usmeren ka realizaciji unapred definisanog cilja. Kako skladište podrazumeva postojanje određenih skladišnih podsistema za realizaciju određenih procesa, tako i njegovo projektno rešenje ima za cilj da definiše te podsisteme i procese kao i njihove međusobne relacije. Tehnološko rešenje ima za cilj da se realizacija tokova (materijala i informacija) u okviru skladišta odvija na zahtevani način, odnosno sa prethodno definisanom funkcijom cilja (najčešće sa zahtevanim kapacitetom, proizvodnosti, servis stepenom ili nekim drugim tehnološkim izmeriteljima). Često se kao funkcija cilja pri projektovanju skladišta pojavljuje minimizacija ukupnih troškova potrebnih za formiranje i rad skladišta (videti [69]) koja može biti praćena odgovarajućim investicionim ograničenjima - cenom sistema.

Proces projektovanja skladišta, kako je to pojednostavljeno prikazano na slici 2.1, se može opisati kao višefazni iterativni proces u kome se u svakoj fazi donose odluke različitog karaktera i nivoa. Većina odluka donetih u pojedinim fazama

projektovanja je međuzavisna tako da se na primer odluke, odnosno rešenja izabrana na višem nivou odlučivanja pojavljuju kao ograničenja na nižem nivou i sl. Zbog toga, dobro definisana hijerarhija odlučivanja će preventivno delovati da ne dođe do lokalne-parcijalne optimizacije bez razmatranja i uvažavanja globalnog konteksta funkcije skladišta.



Slika 2.1 Globalna struktura procesa projektovanja (razvijeno na bazi [29] i [42])

Proces projektovanja tipično započinje fazom prikupljanja i analizom relevantnih podataka, na osnovu kojih je moguće definisanje osnovnih zahteva, ciljeva i ograničenja koji se postavljaju pred sistem koji se projektuje. Određivanje zahteva koji se postavljaju pred sistem zasniva se ne samo na analizi tekućeg stanja već i na prognozi stanja – perspektive za koju se projektuje sistem. Ova faza projektovanja razmatra faktore na koje projektant sistema po pravilu nema uticaja (propisi¹¹,

¹¹ Inženjer projektant mora da bude u stanju da zakonsku regulativu pretoči u projektne zahteve i ograničenja koje projekatno rešenje mora da uvaži i ispuni.

zahtevi višeg sistema i sl.), ali kako oni u velikoj meri utiču na buduće rešenje sistema - njima treba posvetiti veliku pažnju. Neizostavno, analiza bi trebala da obuhvati sledeće osnovne faktore:

- karakteristike sistema koji se projektuje,
- karakteristike narudžbina, i
- karakteristike robe.

Karakteristike sistema koji se projektuje daju informacije o statusu, odnosno mestu i ulozi sistema u širem (po pravilu logističkom) kontekstu i njegove interakcije sa drugim sistemima i okruženjem. One sadrže i informacije o strategijskim ciljevima nadređenog sistema, a takođe i informacije o tipu i broju korisnika, načinu snabdevanja, zahtevanom servis stepenu, ograničenjima (ekonomskim, okruženje i dr.) i sl.

Karakteristike narudžbina sadrže informacije o: broju narudžbina, njihovoj veličini (na primer: broju linija po narudžbinama), intervalu strpljivosti za njihovo ispunjenje i sl. Ove karakteristike po pravilu značajno utiču na rešenje sistema.

Karakteristike robe sadrže informacije o: vrsti robe, broju jedinica robe, veličini jedinica robe, težini i drugim bitnim fizičko-hemijskim svojstvima (temperatura, lomljivost, stepen opasnosti i dr.). One utiču na izbor tehnologije skladištenja i rukovanja. Tako, na primer, neke od karakteristika deluju kao ograničavajući faktor na mogućnost primene određenih tehnologija, što može u izvesnim slučajevima da utiče i na uvećanje ukupnih troškova celog sistema.

Izlazni rezultati početne faze definišu (postavljaju) projektni zadatak koji se u daljim fazama projektovanja operacionalizuje. Tok projektovanja se dalje nastavlja uvođenjem varijantnih koncepcija fazom konceptualnog projektovanja. Ovde se daju osnove sistema [28], posredstvom odluka o strukturi sistema i izborom tipa tehnologije za svaku od skladišnih celina (zona) i procesa, preliminarnim dimenzionisanjem, globalnim layoutom i preliminarnim upravljanjem. U ovoj fazi od posebnog uticaja na formiranje varijantnih tehnoloških koncepcije su priroda jedinica robe kojom se rukuje u skladištu, "priroda"/karakteristike narudžbina

koje se obrađuju u skladištu, procesi vezani za rad sa zalihama robe i brojni drugi faktori kao što su: troškovi lokacije skladišta i skladišne opreme, zahtevani nivo automatizacije i sl. Izbor strukture sistema tiče se problema definisanja funkcionalnih celina i procesa u cilju dostizanja i ispunjenja sistemskih performansi i ograničenja uglavnom ekonomskog karaktera. Potpuno razvijen skladišni sistem prema [83] čini 8 funkcionalnih celina i 20 karakterističnih tokova odgovarajućih pojava oblika tereta. Pri tome autori ističu da svaki sistem ne mora obavezno da sadrži ovu punu konfiguraciju i da je sama struktura sistema zavisna od brojnih spoljnih i unutrašnjih faktora, prisutnih merodavnih zahteva i ograničenja. Izbor tipa tehnologije za realizaciju procesa tiče se pogodnosti određene tehnologije za primenu u nekom od skladišnih podistema – celina uzimajući u obzir merodavne karakteristike robe i sistemske zahteve i ograničenja, pre svega u pogledu kapaciteta, raspoloživog prostora, dozvoljenih visina, opterećenja i sl. Izabrane tehnologije u pojedinim funkcionalnim celinama (podsystemima skladišta) moraju biti međusobno kompatibilne da bi kreirani sistem predstavljao realno izvodljivu varijantu. Između ove i prethodne odluke postoji veliki stepen međuzavisnosti i obično se posmatraju i donose jednovremeno u procesu projektovanja.

Sam proces donošenja ovih odluka tipično se u projektnoj praksi donosi u dva koraka: u prvom se donose odluke na bazi tehničke pogodnosti (definisanje skupa osnovnih konfiguracija koji su u stanju da zadovolje ciljne performanse, a u drugom na osnovu ekonomskih parametara (investicionih i operativnih troškova) iz prethodno definisanog skupa varijanti izdvajaju se one koje ispunjavaju ova ograničenja. Preliminarno dimenzionisanje sistema je povezano sa određivanjem tehno-eksploatacionih karakteristika tehnoloških elemenata skladišta i njegovih podistema. U ovoj fazi projektovanja dimenzionisanje se odnosi na globalno sagledavanje zahteva za skladišnim resursima (prostor, oprema, personal i dr.) i njihovom alokacijom na pojedine podsysteme, što za rezultat ima značajne implikacije na troškove skladišta u pogledu: konstrukcije objekta, rada sa zalihama roba i troškove rukovanja robom u skladištu. Detaljnije dimenzionisanje skladišta i njegovih pojedinačnih komponenti obavlja se u narednoj projektnoj fazi. Globalni

layout sistema posvećen je problemu prostornog rasporeda funkcionalnih celina, što uključuje i definisanje preferentnog toka materijala kroz skladište. Postoji vrlo tesna veza i međuzavisnost između ovih problema i problema dimenzionisanja skladišta. Rešavanje skladišnog *layout*-a tipično se realizuje u nekoliko koraka. Prvi korak sastoji se u određivanju ukupnih potreba za prostorom (problem dimenzionisanja), odnosno proračunom potreba za prostorom po pojedinim funkcionalnim celinama-zonama i njihove međusobne zavisnosti. Nakon ovoga bira se tok materijala kroz skladište definisanjem određene šeme ili glavne putanje tokova. Najpoznatiji su i najšire primenjivani pravolinijski I tok i tok u obliku slova U. Izborom određene šeme tokova prelazi se na lociranje pojedinih funkcionalnih celina po principu povezanosti. Sam problem definisanja *layout*-a nije jednostavan, jer podrazumeva prisustvo više faktora različitog značaja u odlučivanju, po pravilu konfliktnih u pogledu ciljeva, koje treba jednovremeno¹² uključiti u razmatranje. Kao cilj optimizacije može se pojaviti minimizacija ukupnih troškova koji uključuju i troškove objekta i troškove rukovanja materijalom. Najopštiji pristup za rešavanje ovog tipa problema daje Muther u svojoj poznatoj i široko primenjivanoj proceduri poznatoj kao "*The Systematic Layout Procedure*" [58]. Preliminarno upravljanje se odnosi, pre svega, na operativne odluke-odnosno na svakodnevne tekuće zadatke pri funkcionisanju skladišnog sistema. Ono predstavlja definisanje načina na koji se ovi zadaci realizuju. U modernim skladištima, po pravilu se primenjuje *on-line* odlučivanje/upravljanje pomoću računara, korišćenjem upravljačkog sistema za izbor odluka-WMS-a. *On-line* odluke primenjuju se u slučajevima kada je potrebno odrediti: kada se obrađuje određena narudžbina, gde da se skladišti prispela roba, kojim redosledom da se obrađuje narudžbina i niz drugih zadataka. Pri projektovanju skladišta i to u njegovim ranijim fazama – fazi konceptualnog projektovanja bar u najopštijem smislu, ova operativna pravila se

¹² Na primer, skladišnu zonu ne bi trebalo locirati daleko od prijemne zone iz razloga što postoje intenzivni tokovi između ove dve zone. Međutim, pri izboru lokacije pojedinih procesa – odnosno funkcionalnih celina, treba imati u vidu da se procesi koji ispostavljaju visoke zahteve prema skladištenju lociraju u prostor koji povoljno koristi treću dimenziju skladišta – visinu pa ih u skladu sa ovim treba smeštati u delove skladišnog objekta sa najvećom visinom, što dovodi do maksimizacije korišćenja raspoloživog prostora. Takođe je potrebno radno intezivnim procesima obezbediti više prostora u delovima objekta gde je visina objekta niža, ili pak primenom mezanina obezbediti dodatnu površinu u delovima objekta sa većom visinom.

moraju uzeti u obzir, da bi ciljne performanse bile dostignute ili proverene. Takođe, ovo je neophodno, jer njihov izbor utiče i na strukturu samog sistema. Uvođenje određene metode komisioniranja, na primer određeni tipovi *batch* komisioniranja, generišu potrebu za formiranjem zone sortiranja kao zasebne skladišne celine. Na isti način i specificiranjem određene dužine intervala *Wave* metode komisioniranja (obično dužine od 20 minuta do 2 sata) ima reperkusije na skladišne sisteme za komisioniranje, sortiranje i pakovanje (njihove tehnološke elemente i dr.) tako da ovo treba imati u vidu pri kreiranju sistema.

Mada se svaki od ovih problema odnosi na specifični aspekt projektovanja skladišta u konceptualnoj fazi, da bi se dobilo optimalno ili dovoljno kvalitetno prihvatljivo rešenje, oni se moraju u procesu projektovanja uključiti i posmatrati jednovremeno zbog njihove visoke međuzavisnosti. Pored ovog otvara se i pitanje generisanja varijantnih koncepcija-koje su svrsishodne i koliko ih razvijati (spektar)?

Neophodno je ovde istaći da donete odluke u ranim fazama procesa projektovanja –konceptualnoj fazi, kada se opredeljuju neki globalni parametri budućeg - sistema mogu imati presudan uticaj na troškove i performanse skladišta koje će ga pratiti dugi niz godina, možda kroz ceo njegov životni vek. Ova činjenica ukazuje da ovoj fazi procesa projektovanja skladišta treba posvetiti posebnu pažnju. Projektna praksa često zanemaruje ovu činjenicu i pri kreiranju rešenja skladišta česte su dve osnovne greške: sa jedne strane polazeći od ograničenog broja tipskih rešenja prelazi se u drugu – narednu fazu procesa projektovanja, sa opasnošću da neke dobre koncepcije ne uđu u dalje razmatranje; sa druge strane forsira se generisanja većeg broja varijanti što dodatno utiče na porast vremena i troškova ove faze projektovanja.

Kao izlaz iz konceptualne faze projektovanja pojavljuje se nekoliko mogućih varijantnih koncepcija sistema (obično 3-5), koje su prošle provere u smislu izvodljivosti i ekonomičnosti u skladu sa projektnim ciljevima, zahtevima, ograničenjima i eventualno definisanom funkcijom cilja. One će prolazeći kroz

dalje projektne faze uobličavanja varijantnih koncepcija sistema skladišta i njihovog ocenjivanja, stvoriti osnovu za konačan izbor rešenja skladišta.

U fazi uobličavanja varijanti sistema sa većim stepenom detaljnosti se donose odluke koje se tiču dimenzionisanja komponenti sistema, *layout*-a skladišnih zona, izbora operativnih pravila (koja se tiču upravljanja procesima u skladištu) i uklapanja elemenata u celine do formiranja tehnološkog rešenja. Od značaja, u okviru ove faze, je određivanje veličina pojedinih skladišnih zona, a posebno KZ u odnosu na skladišne RZ. Usko povezano sa ovim je i definisanje *layout*-a ovih zona. Kod skladišne zone potrebno je, na primer, odrediti broj skladišnih prolaza, njihovu dužinu i širinu, orijentaciju i sl. Takođe, u ovoj fazi projektovanja potrebno je bliže definisati način realizacije osnovnih skladišnih procesa (skladištenja, komisioniranja i dr.) izborom operativnih pravila. Sve ovo se odvija/sprovodi u okviru koncepcije definisane u prethodnoj fazi. Naravno, čitav proces je iterativne prirode i različite mogućnosti u okviru koncepcija se pojavljuju kao potencijalno pogodne kao rešenje. Dovođenjem koncepcija u optimalni oblik shodno definisanim performansama i kriterijumima ispunjava se uslov da se u narednoj fazi, evaluaciji varijantnih koncepcija dolazi do oblika pogodnog za konačan izbor rešenja - tehnološkog projekta skladišta.

Da bi bilo moguće oceniti pojedina projektna rešenja i kvalitet donetih odluka na pojedinim nivoima u fazama projektovanja skladišta neophodno je uvesti i definisati kriterijume prema kojima će ocenjivanje¹³ biti sprovedeno. Može se sresti veoma veliki broj merodavnih performanse u ovom postupku, a za skladišta su najčešće od značaja sledeće:

- investicioni i operativni troškovi,
- kapacitet,
- fleksibilnost,
- proizvodnost,
- vreme odziva,

¹³ *Benchmarking*, analitički modeli i simulacija predstavljaju osnovne alate za ocenu performansi u skladu sa izabranim kriterijumima.

- kvalitet ispunjenja narudžbina (tačnost) i dr.

Relativna važnost pojedinih performansi/kriterijuma ili njihovih kombinacija varira u zavisnosti od [69], tipa skladišta, nivoa odnosno faza projektovanja u kojima se donose odluke i drugih faktora. Kada su u pitanju skladišta distributivnog tipa najznačajnije su veličina protoka-proizvodnost, vreme odziva, tačnost i troškovi (investicioni i operativni) i u projektovanju mogu se u modelima odlučivanja pojaviti u ciljnoj funkciji ili kao ograničenja. Kada se kriterijumi pojavljuju kao ograničenja potrebno je dostići ciljne vrednosti ne prekoračujući zadati okvir (na primer cenu). Navedena grupa kriterijuma uključuje se u razmatranje, pre svega, u ranim fazama procesa projektovanja-konceptualnoj fazi. Često kombinacija željenog protoka i zahtevanog vremena odziva sistema deluje u pravcu sužavanja skupa potencijalno primenljivih tehnologija i može da vodi npr., ka primeni automatizovanih sistema, a pojačani zahtevi za kvalitetom ispunjenja narudžbina u pogledu tačnosti upućuju na primenu bezpapirnih tehnologija u sferi upravljanja procesom obrade korisničkih narudžbina.

Pri kreiranju rešenja skladišnih sistema, iz razloga istaknute promenljivosti uslova funkcionisanja poslovnih sistema i promenljivosti karakteristika korisničke tražnje u vremenu, danas fleksibilnost dobija posebno na značaju. Fleksibilnost [6] označava prilagodljivost na promene različitog karaktera, npr. vremenskog, kvantitativnog, strukturnog i dr. Uobličavanje skladišnog rešenja uključenjem određene vrste i stepena fleksibilnosti (zavisno od tipa i uloge skladišta) trebalo bi da postane sastavni deo dobre projektne prakse (videti detaljnije u [19, 62]).

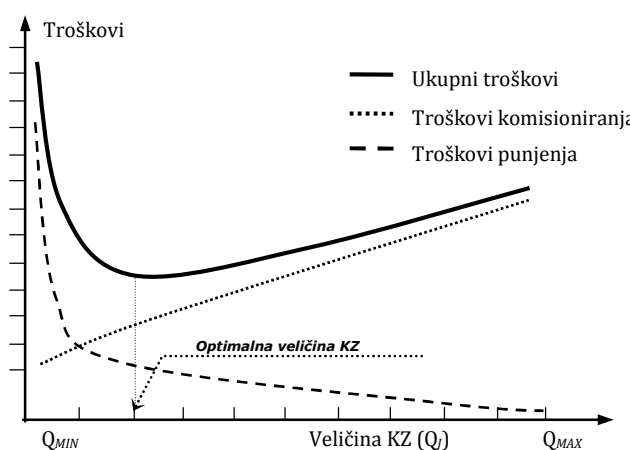
2.2 Projektne odluke za izbor i uobličavanje komisione zone

U procesu projektovanja skladišta uvođenje specijalizovanih skladišnih zona za njegove primarne aktivnosti (npr. skladištenje-čuvanje rezervi, komisioniranje i dr.) predstavlja vrlo bitnu odluku sa posledicama vezanim za mnoge skladišne aspekte. RZ se posebno uobličavaju za skladištenje i uobičajeni cilj je što veći stepen iskorišćenja skladišnog prostora, dok se KZ uobličavaju i prilagođavaju

zahtevima procesa komisioniranja. KZ se u odnosu na RZ može pojaviti u nekoliko tipičnih varijantnih koncepcija, kako je to pokazano u Poglavlju 1, a koje se razlikuju, pre svega, po prostornoj organizaciji i primenjenoj tehnologiji popunjavanja i zahvatanja/iskladištenja roba. Shodno tome, i proces komisioniranja za svaku od koncepcija ima određene specifičnosti.

Pored navedenih pozitivnih efekata od uvođenja i uobličavanja KZ, pri odlučivanju treba imati u vidu da ova odluka utiče i na povećanje zahteva za: (i) dodatnim prostorom u skladištu, (ii) investicijama u specijalizovanu tehnologiju, i (iii) povećanim obimom rada. Pri analizi uvođenja KZ poseban značaj dobija funkcija njenog punjenja robom iz RZ – to se obično realizuje/odvija kada nivo zaliha robe u KZ padne na određeni nivo (najčešći slučaj je kada padne na nulu).

Između veličina jedinice tereta kojom se obavlja punjenje i učestanosti punjenja KZ postoji tesna veza sa velikim uticajem na njeno dimenzionisanje. Analizom procesa, logično sledi da veća KZ [81] sa jedne strane generiše veće troškove prostora (raste cena objekta/zone komisioniranja), njegovog opremanja i pređenog puta, a sa druge strane kod manjih zona manji su i troškovi komisioniranja - komisioner prelazi manja rastojanja pri ispunjavanju narudžbina, manji su troškovi prostora i opreme. Međutim, kako veličina zone opada tako se troškovi punjenja povećavaju, jer zalihe u komisionoj zoni sada moraju biti češće popunjavane (slika 2.2). Ovaj problem usko je povezan i sa pitanjem koju robu dodeliti KZ i koliko prostora u KZ dodeliti svakoj od ovih roba. Moglo bi se reći, na bazi intuicije, da u ovu zonu treba da "idu" samo "posebne" robe u "određenoj" količini.



Slika 2.2 Načelni dijagram određivanja veličine KZ [28]

Raznovrsnost robnih tokova i transformacija na pojavnom obliku roba koje se komisioniranjem potencijalno mogu očekivati u skladištu deluje u pravcu povećanja složenosti njegove strukture. Zbog sve veće kompleksnosti mesta i uloge, u okviru projektnog rešenja skladišta može se pojaviti potreba za specificiranjem većeg broja različitih KZ i RZ, pri čemu se definiše i kroz koje skladišne zone se pojedini robni tokovi realizuju u skladištu.

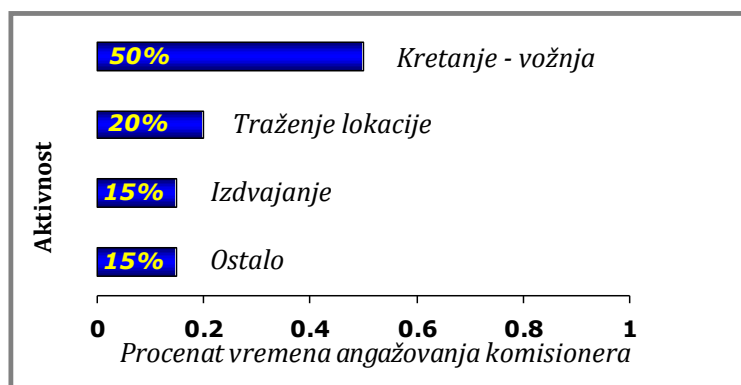
Imajući sve prethodno navedeno u vidu može se zaključiti da je problem uvođenja i uobličavanja KZ u okviru skladišnog sistema vrlo kompleksan zadatak koji traži detaljnu ekonomsku i kvantitativnu analizu i odmeravanje uticaja različitih faktora u skladišnim procesima. Jedna od polaznih odluka u projektovanju tiče se pitanja da li skladište uopšte treba da ima posebnu KZ. U slučaju pozitivnog odgovora, postavlja se niz novih pitanja koja traže odgovor, počevši od pitanja: izbora tipa KZ i primenjenoj tehnologiji, preko pitanja o veličini i layoutu do pitanja koja robe "ide" u KZ i u kojoj količini i dr. Odgovori na ova pitanja (koji nisu međusobno nezavisni) u procesu projektovanja skladišta povezani su sa donošenjem odgovarajućih odluka o:

- izboru tipa KZ ili zona (ako je potrebno uključiti više različitih zona u rešenje)
- izboru tehnologije u KZ,
- veličini i *layout*-u KZ,
- vrsti i količini dodeljene robe u komisionoj zoni.

Prve dve odluke, shodno definisanim fazama procesa projektovanja, pripadaju njegovoj konceptualnoj fazi, a predstavljaju deo problema izbora strukture skladišnog sistema i izbora tipa sistema - tehnologije i odnose se na problem izbora koncepcije komisione zone. Izborom koncepcije (određenog tehnološko, organizaciono i prostornog oblika) KZ formiraju se njeni temelji koji će se u daljim fazama projektovanja nadograđivati do njenog konačnog rešenja. Kako je već rečeno, svaki tip KZ ima specifična svojstva i karakteristike, u pogledu cene i

zahteva za skladišnim resursima, sa jedne strane i mogućnostima u pogledu potencijalnih performansi funkcionisanja sa druge strane, što jasno ukazuje na značaj odlučivanja u ovom segmentu projektovanja u smislu izbora određene koncepcije KZ. Za izabrane koncepcije KZ u fazi uobličavanja sistema u skladu sa (prema) definisanim relevantnim/merodavnim performansama (produktivnost, vreme odziva i sl.) bliže se definiše KZ donošenjem specifičnih odluka - određivanjem njene veličine i *layout*-a. Usko povezano sa ovim odlukama je rešavanje *assignment* i *allocation* problema, odnosno davanje odgovora na pitanja koja roba u kojoj količini se smešta u KZ i za koji period (statički ili dinamički oblik zone). Problem uobličavanja KZ moguće je svesti na određivanje veličine zone i internog *layout*-a. Određivanje veličine KZ sa pripadajućim skupom odluka obično se u literaturi označava kao *Forward Reserve Problem* (FRP). Frazelle i ostali (1994) [36] su detaljnije opisali ovaj problem navodeći troškove opreme i rada kao relevantne za njegovo rešavanje. Kao bitne odluke za uobličavanje KZ nasuprot RZ oni izdvajaju odluke o: veličini KZ, robi koja ide u KZ, količini po dodeljenim robama u KZ i primenjenoj tehnologiji. Osnovni cilj pri donošenju ovih odluka je povećanje efikasnosti i smanjenje troškova procesa komisioniranja.

U situacijama kada je skladišni kapacitet KZ zone poznat, problem *layout*-a zone (za određene tipove komisionog sistema) moguće je svesti na izbor između konfiguracija koje karakteriše nekoliko dugih prolaza ili više kraćih prolaza. Uzimajući vreme odziva sistema kao jednu od ključnih performansi za savremena skladišta, često se u modelima optimizacije *layout*-a KZ traži *layout* koji minimizira pređeni put (rastojanje) pri komisioniranju jedne narudžbine - odnosno komisionog naloga, dok su troškovi u drugom planu [63]. Vreme za komisioniranje jedne narudžbine sastoji se od nekoliko komponenti: kretanja ili vožnje između lokacija zahvatanja robe, izdvajanja robe i ostalih aktivnosti (slika 2.3). Kretanje pri komisioniranju predstavlja ključnu aktivnost koja se uzima u razmatranje, jer su putevi (a time i vreme) kretanja pre svega zavisni od *layout*-a. U manuelnim sistemima (čovek-ka-teretu) ovo vreme je linerana funkcija pređenog rastojanja, pa se često samo rastojanje uzima kao ključni parametar u optimizaciji [48], [60], [63] i [74].



Slika 2.3 Vremensko angažovanje komisionera

Iz svega prethodno navedenog može se još jednom istaći i zaključiti da je problem izbora i uobličavanja KZ u okviru projektovanja skladišta vrlo složen zadatak sastavljen od većeg broj međuzavisnih odluka čije donošenje prati analiza i odmeravanje uticaja različitih faktora u skladišnim procesima. Sigurno da nijedna odluka ne može biti doneta bez odgovarajućih podataka, ili pouzdanih procena, proračuna i prognoza čijom bi se analizom stvorila neophodna podloga za odlučivanje. Generalno, za donošenje pravih odluka u ovoj oblasti neophodne su pre svega, pouzdane informacije o robama i narudžbinama. Podaci o narudžbinama i njihova analiza daju sliku o tome kako korisnici naručuju robu, dok se podaci o robama i sprovedena analiza koriste kao podloga za izbor tehnologije skladištenja. Pored ove pretpostavke za sveobuhvatno rešavanje ovog kompleksnog zadatka (koji se pojavljuje u različitim fazama procesa projektovanja i podrazumeva donošenje odluka različitog nivoa) neophodno je primeniti odgovarajući/pogodan postupak koji će u najboljoj meri da uvaži visok stepen međuzavisnosti između različitih aspekata - pitanja u okviru ove problematike, sa jedne strane uz zadržavanje čvrste veze sa globalnim aspektom projektovanja skladišta sa druge strane, kao konteksta u kome se ovaj zadatak rešava. Ovom aspektu problema, kao težištu ovog rada, posvećeno je Poglavlje 3, dok je u nastavku ovog poglavlja dat pregled relevantnih istraživanja povezanih sa problemima koji su prisutni kod izbora i uobličavanja KZ.

2.3 Pregled relevantnih istraživanja

S obzirom na temu ove disertacije i kontekst u kome se problem izbora i uobličavanja KZ analizira, pregled relevantnih istraživanja fokusiran je na:

- (i) istraživanja u oblasti projektovanja skladišta uopšte-procedura projektovanja, i
- (ii) istraživanja posvećena specifičnim pitanjima problema KZ, koja se postavljaju i pojavljuju u procesu projektovanja skladišta (izbor tipa komisione zone, izbor tehnologije, veličina i *layout* KZ; problemi dodeljivanja skladišnih lokacija u KZ – odnosno donošenju odluka o vrsti i količini dodeljene robe u KZ).

U okviru pregleda literature, data je i kritička analiza razvijenih i primenjenih modela u pogledu njihove prilagođenosti potrebama rešavanja praktičnih projektnih problema. Na osnovu ovako sprovedene analize i uočenih nedostataka definisani/predloženi su i pravci daljih istraživanja u cilju prevazilaženja uočenih nedostataka, a neki od njih su predmet istraživanja u okviru ovog rada.

2.3.1 Radovi posvećeni procedurama projektovanja

Projektovanje realnih skladišnih sistema, kako je već opisano, je često komplikovan zadatak, usled prisustva širokog spektra spoljašnjih i unutrašnjih faktora koji imaju uticaj na projektno rešenje. Prema Ashayeri i Goetschalckx (1988) [4] kao spoljašnji faktori navode se marketing kanali, karakteristike korisničke tražnje, karakteristike snabdevanja, nivo zaliha, ukupna tražnja za robama, stanje ekonomije i sl., a kao interni faktori izdvajaju se karakteristike sistema (tehnologija), organizacija i operativna pravila. Kompleksnost problema koja karakteriše i prati proces projektovanja skladišta dodatno dobija na težini ako se radi o skladištu kod koga komisioniranje predstavlja dominantnu aktivnost. Ovo upućuje na potrebu postojanja procedure koja na jedan celovit i sveobuhvatan način pristupa njihovom rešavanju. Detaljniji pregled modela i radova posvećenih

različitim aspektima problematike projektovanja skladišta dat je u preglednim radovima [3], [6], [23], [42], [69] i [76].

Ashayeri i Gelders (1985) [3] porede dva različita pristupa za rešavanje skladišnih projektnih problema, analitički i simulacioni. Zaključujući da primena samo jednog od ovih pristupa ne predstavlja dobru strategiju za projektovanje skladišta već da kombinovanje ova dva pristupa vodi ka pogodnom projektnom metodu. Otuda, predlažu kao potencijalno rešenje dvostepenu proceduru za projektovanje skladišta. U prvom koraku ove procedure korišćenjem analitičkih modela poredile bi se različite projektne alternative - koncepcije i na relativno brz način bi se došlo do nekoliko izvodljivih alternativa čime bi se smanjila oblast istraživanja. A nakon toga u drugom koraku primenjuju se simulacioni modeli.

Cormier i Gunn (1992) [23] daju pregled tri grupe modela posvećenih proizvodnosti, kapacitetu i projektovanju skladišta, a van den Berg(1999) [76] daje pregled metoda i tehnika za planiranje i upravljanje skladišnih sistema.

Rouwenhorst i ostali (2000)[69] definišu projektovanje skladišta kao strukturirani pristup donošenja odluka na strateškom, taktičkom i operativnom nivou u cilju dostizanja jednog broja dobro definisanih kriterijuma performansi. Strateški nivo, pored ostalih, uključuje odluke o definisanju toka procesa u skladištu i to definisanjem zahtevanih procesa i skladišnih funkcionalnih celina (zona) i odluke o izboru tehnologije u zonama. Odluke na taktičkom nivou odnose se na dimenzionisanje resursa (npr. veličine pojedinih skladišnih celina), određivanjem *layout*-a i brojnih organizacionih pitanja. Glavne odluke na operativnom nivou tiču se problema dodeljivanja i upravljanja skladišnim resursima (ljudima, opremom i prostorom). U skladu sa hijerarhijom odlučivanja odluke donete na višem nivou predstavljaju ograničenje za odluke na nižem nivou odlučivanja. Tako npr. autori ističu da strateška odluka o razdvajanju KZ i RZ implicira da na taktičkom nivou odlučivanja ove zone treba dimenzionisati, a na operativnom nivou definisati strategiju popunjavanja komisione zone iz zone rezervi. Na osnovu jednog sveobuhvatnog pregleda literature projektovanja i upravljanja skladišta, autori

zaključuju da nedostaju radovi orijentisanih ka projektovanju nasuprot prisutnim radovima posvećenih analizi problema projektovanja.

Gu i ostali (2010) [42] daju detaljan pregled istraživanja posvećenih skladišnom projektovanju. Oni odluke povezane sa projektovanjem skladišta dele u pet međuzavisnih kategorija: određivanje globalne strukture sistema, određivanje veličine i dimenzija sistema i njegovih zona, određivanje detaljnog layout-a u svakoj skladišnoj zoni, izbor tipa tehnologije i izbor operativnih strategija. Određivanjem globalne strukture sistema (konceptualno projektovanje) determinišu se materijalni tokovi u skladištu, definišu funkcionalne skladišne celine-zone i tokovi između pojedinih zona. Odluke posvećene dimenzionisanju određuju ukupnu veličinu i dimenzije sistema, a takođe se tiču i pitanja alociranja prostora na različite skladišne celine-zone. Odluke o *layout*-u definišu detaljnu konfiguraciju unutar jedne funkcionalne celine-zone. Odluke o izboru opreme definišu nivo automatizacije i identifikuju tip tehnologije za skladištenje, transport, komisioniranje, sortiranje i dr. Izborom operativnih strategija određuje se kako će skladište funkcionisati, npr. u pogledu skladištenja i komisioniranja. Iz širokog skupa operativnih strategija (detaljnije Gu i ostali (2007) [41]) u fazi projektovanja razmatraju se one operativne strategije koje imaju globalni efekat na druge projektne odluke i zbog toga moraju biti uključene u razmatranje i u projektnoj fazi. Takve operativne strategije su npr. strategije dodeljivanja skladišnih lokacija, izbor metoda komisioniranja (*sort-while-pick* ili *pick-and-sort*) i dr.

Baker i Canessa (2008) [7] daju pregled četrnaest tipičnih metodologija prisutnih u raspoloživoj literaturi i istražuje njihovu primenu u projektnoj praksi vodećih evropskih projektnih kuća. U okviru posmatranih metodologija sam proces projektovanja identifikovan je kao kompleksan proces, koji autori prevazilaze njegovim raščlanjivanjem na određeni broj karakterističnih projektnih koraka, čiji broj se zavisno od autora kreće u rasponu od tri do četrnaest. Povezanost i značajna međuzavisnost ovih koraka nameću kao neophodnost određeni stepen ponavljanja ovih koraka – iteracije u okviru predstavljenih metodologija. Takođe, kao zajedničku karakteristiku analiziranih metodologija autor ističe da veliki broj

mogućnosti koje prate odlučivanje na svakom od koraka, u okviru procesa projektovanja, otežava ili čak onemogućava nalaženje optimalnog rešenja skladišta ili nekih njegovih podsistema.

Prethodno navedeni i analizirani radovi posvećeni su opštim problemima projektovanja skladišta, metodološkim pristupima i kategorizaciji projektnih odluka koje se donose u procesu projektovanja. Njihov značaj i doprinos je upravo u tim segmentima, koji daju smernice za razvoj metodologije projektovanja, identifikuju i klasifikuju projektne odluke, uspostavljaju hijerarhiju odluka u procesu projektovanja, daju sveobuhvatan pregled dosadašnjih istraživanja po pojedinim aspektima projektovanja. Međutim, mora se konstatovati da njihova primena kao konkretnog projektnog alata nije moguća. Izuzetak od ovoga predstavljaju radovi [40], [82] i [83] koji nude izvesne procedure projektovanja koje imaju praktičnu svrhu i otuda će oni biti predmet analize u nastavku rada.

2.3.2 Radovi posvećeni primenljivim projektnim metodologijama

Gray i ostali (1992) [40] razvili su metod za projektovanje skladišta korišćenjem hijerarhijskog pristupa. Pošto je rešavanje čitavog sistema suviše kompleksan zadatak koji može da se ostvari primenom jednog modela, prezentovan je metod baziran na hijerarhijskoj strukturi donošenja odluka. Autori su definisali tri nivoa hijerarhije: uobličavanje sistema i izbora tehnologije, odluke alokacije jedinica robe i operativna pravila. U okviru ovih odluka su sadržane odluke nižeg ranga, kao na primer: raspoređivanje jedinica robe po zonama, određivanje veličine *batch* narudžbine i druge slične odluke. Rešenje je nađeno u iteraciji između ova tri nivoa odluka, a koja se sprovodi dok se ne iznađe rešenje koje minimizira ukupne troškove. Ovakva struktura razmatra interakcije i osnovne relacije između svih odluka pa i pojedinačnih odluka. Autori preporučuju korišćenje analitičkih modela unutar svakog nivoa za eliminisanje loših rešenja, kao i primenu simulacije za ocenu valjanosti pojedinih prihvatljivih rešenja, koja su prošla analitičke modele. Primena ovog pristupa ilustrovana je na primeru skladišta rezervnih delova. Osnovna zamerka ovom modelu možda je najbolje iskazana u radu [15], gde autori

dovode u pitanje njegovu primenu van konteksta za koji je razvijan (studije slučaja).

Yoon i Sharp (1996) [83], nude jednu originalnu proceduru projektovanja KS baziranu na iterativnoj *top-down* dekompoziciji i *bottom-up* modifikaciji. Oni dele proces projektovanja u tri glavne faze: *input stage* (ulazna faza), *selection stage* (faza izbora) i *evaluation stage* (faza evaluacije). U prvoj, ulaznoj fazi identifikuju se potrebni podaci o zahtevima višeg sistema u smislu ciljeva i ograničenja (raspoloživi budžet, projektni vek, ukupan raspoloživ prostor, visina objekta, broj radnih smena i dr.), o korisničkim narudžbinama i proizvodima i potom obavlja njihova analiza na osnovu čega se definiše globalna struktura sistema. Ona se u opštem slučaju sastoji od osam funkcionalnih celina – zona i dvadeset materijalnih tokova (izraženih u paletama, kutijama ili pojedinačnim pojavnim oblicima jedinica proizvoda). U drugoj fazi izbora projektant mora da izabere svojstva svakog podsistema u pogledu potrebnog kapaciteta, specifikacije tipa tehnologije i operativnih strategija, a takođe i definisanje fizičkih transformacija jedinica proizvoda i transformacije informacija (prilagođenje informacija koje nosi narudžbina). U trećoj fazi – evaluaciji sistema se sprovodi kvantitativno i kvalitativno poređenje/vrednovanje različitih podsistema, koje može voditi ka novom izboru i specifikaciji u okviru druge faze (što je i logično za iterativni postupak). Razvijenu proceduru, isti autori, demonstrirali su primeru prikazanom u radu [82].

Pored istaknutog afirmativnog stava u okviru ove procedure, postoje izvesni aspekti koje treba preispitati. Ovde se navode komentari za neki od njih: pre svega, pretpostavka o determinističkom obeležju zahteva je teško prihvatljiva pretpostavka u realnim sistemima koji sadrže brojne stohastičke elemente i/ili uticaje; problem je i to što autori ne predstavljaju model za odlučivanje između različitih metoda komisioniranja, *layout*-a skladišne/komisione zone, a problematični su i pristupi za alociranje prostora u komisionoj zoni za pojedine robe. S obzirom na značaj uticaja ovog aspekta na rešenje komisione zone on će biti predmet detaljnije analize u Poglavlju 3.

Dallari i ostali (2009) [25] polazeći od procedure Yoon i Sharp-a [83], razvijaju metodologiju za podršku projektovanju, stavljajući akcenat, pre svega, na fazu selekcije. Identifikacija varijanti, po njima, predstavlja najosetljiviju fazu čitavog procesa projektovanja, jer se tada definišu ključne karakteristike svakog sistema. Predstavljena studija fokusirana je na projektovanje komisionih sistema. Analiza je uključivala preko 68 reprezentivnih skladišta skorije izgrađenih u Italiji. Rezultati pokazuju da broj linija komisioniranih na dan, uz broj jedinica proizvoda i srednju veličinu narudžbina predstavljaju ključne parametre za izbor komisionog sistema. Mora se konstatovati da nedostaje ocena performansi funkcionisanja tih sistema da bi predloženi pristup predstavljao valjan izvor informacija kod budućeg projektovanja skladišta.

2.3.3 Radovi posvećeni specifičnim projektnim odlukama

Dobar pregled radova posvećenih problemima projektovanja i upravljanja skladištem, odnosno njegovog KS, može se videti u radovima [26], [41], [42] i [69]. U ovom delu pregleda literature ograničen je na radove posvećene (a) problemima izbora koncepcije KZ i (b) problemima uobličavanja KZ, tj. podproblemima koje ove dve grupe uključuju, kao što su: izbor tipa KZ (u okviru izbora izbor strukture sistema), izbor tipa tehnologije, dimenzionisanje, FRP i interni *layout*.

a) Problem izbora koncepcije komisione zone

Uvidom i analizom raspoložive akademske literature uočava se nedostatak radova direktno posvećenih problemu izbora koncepcije KZ. Određeni aspekti povezani sa rešavanjem ovog problema se mogu pronaći u sklopu procedura projektovanja u prethodno pomenutim radovima ([25], [40] i [83]), kao i u ograničenom broju radova, od kojih su relevantni prezentirani u nastavku.

Tako, Yoon i Sharp (1996) [83] npr. problem izbora KZ posmatraju u kontekstu izbora strukture sistema. Oni navode da generalnu-globalnu strukturu sistema čini osam funkcionalnih celina-zona: prijemna zona, zona skladištenja paletizovanog tereta, zona komisioniranja paketnih jedinica, zona komisioniranja pojedinačnih

jedinica, sortirna zona A i B, zona ukрупnjavanja-konsolidacije i otpremna zona, međusobno povezanih sa dvadeset potencijalnih tokova odgovarajućih pojava oblika tereta. Kao centralno pitanje, direktno povezano sa globalnom strukturom sistema, izdvajaju pitanje: koja roba za koju narudžbinu će teći kroz skladište na određeni način? Međutim, u okviru predložene procedure projektovanja oni ne daju eksplicitan odgovor na ova pitanja, a samim tim i na pitanje izbora određene strukture sistema, tj. izbora KZ.

Hassan (2002) [49] prezentira jedan metodološki okvir za projektovanje skladišnog *layout*-a koji se sastoji od 14 međuzavisnih koraka. Krajnje načelno, u predloženoj metodologiji, on otvara i određena pitanja koja tangiraju problem KZ: a) o uspostavljanju odgovarajuće strukture sistema definisanjem skladišnih zona (koje bi korespondirale glavnim skladišnim funkcijama, kao npr. prijem, skladištenje, pakovanje, sortiranje, otprema i dr) i b) pitanje o podele skladišne zone na RZ i KZ. Pri tome se ističe da se podela skladišne zone obavlja sa ciljem povećanja efikasnosti operacija i smanjenje obima manipulisanja, a da je pod uticajem faktora kao što su: tražnja, veličina i tip jedinica tereta.

Izborom tipa KZ bavio se i Suzuki (1988) [73] prezentujući grafički metod kao pomoć (podršku) pri donošenju niza odluka u procesu projektovanju. U radu on analizira i uspostavlja veze između narudžbina, jedinica robe i količine koja se izdvaja. Na osnovu grafičkih prezentacija ovih veza moguće je doneti odluku da li je, na primer, potrebno za svaki od tipova komisioniranja (u odnosu na pojavni oblik komisione jedinice) obezbediti posebnu - odvojenu funkcionalnu celinu ili ih treba povezati/objediniti sa drugima. Problem u primeni ovog pristupa povezan je sa raspoloživošću (stepenom detaljnosti) merodavnih podataka u ranim fazama projektovanja kada se donose ove odluke.

Rad McGinnis i Mulaik-a (2000) [57] posvećen je značaju podataka (o robi i narudžbinama) i njihovoj odgovarajućoj analizi u procesu projektovanja za donošenje ključnih odluka (uvođenje KZ, izbor metoda komisioniranja, izbor tehnologije skladištenja i dr.).

Problem izbora tehnologije, kao jedan od podproblema izbora koncepcije, prati određivanje i nivoa automatizacije u skladištu i izbor pojedinačnih tipova tehnologije za pojedine skladišne funkcionalne celine-zone. Donošenje ove odluke bazirano je pre svega na sposobnosti projektanta da sagleda karakteristike zahteva koje izabrana tehnologija treba da realizuje. Tako npr. za promenljive uslove, kada protok u skladištu značajno varira (neravnomernost i dr.) ili kada mix proizvoda nije konstantan u dužem vremenu manuelni sistemi rukovanja sa niskim investicijama i visokim stepenom fleksibilnosti često predstavljaju pogodan izbor. Suprotno ovome, kada se očekuje veći obim zahteva sa stabilnom tražnjom, primena viših stepena mehanizacije-do potpune automatizacije potencijalno postaje opravdana. Ulaganje kapitala u formi opreme koristi se da zameni zahteve za radnom snagom ali ove investicije ne mogu biti opravdane ako sistem vrlo brzo zastari. Ovo posebno dolazi do izražaja kod potpuno automatizovanih sistema, prvenstveno zbog brzine razvoja u oblasti IT. Nesumnjivo je, da se u skladu sa ovim, popularnost i široka primena viljuškarske tehnike i paletnih tehnologija skladištenja, kao tipičnih tehnologija u skladištu nalazi u dobroj ravnoteži između nivoa mehanizovanosti i fleksibilnosti koji krasi ove tehnološke oblike.

Akademski istraživanja na teme automatizacije u skladištu su retka [42]. Cox (1986) [24] prezentira metodologiju za ocenu različitog nivoa automatizacije na bazi analize troškova i produktivnosti (tzv. tehnika hijerarhije nivoa produktivnosti), koja određuje najekonomičnije rešenje. Russell i Meller (2003) [70] bave se problemom automatizacije procesa sortiranja, odnosno problemom izbora da li sortirni sistem treba da bude automatizovan ili manuelni. Za pomoć pri rešavanju ovog problema, oni razvijaju jedan deskriptivni model baziran na analizi ekonomski faktora i proizvodnosti. Baker i Halim (2007) [8] analiziraju razloge za primenu automatizacije sprovodeći istraživanje na bazi intervjua nekih ključnih učesnika u projektu automatizacije.

Problemu izbora tehnologije u skladišnoj zoni-tehnologije skladištenja, takođe u literaturi nije posvećena značajna pažnja. Rešavanje ovog projektnog problema u praksi se obično bazira na primeni preporuka proizvođača ove tehnologije ili

jednostavnih alata, lista ili tabele koja sadrži ocenu potencijalnih tehnologija po različitim parametrima/izmeriteljima (npr. gustina skladištenja, proizvodnost, selektivnost, i dr.) pomoću koje projektant odmeravajući prednosti i mane donosi odluku između različitih alternativa (videti npr. Holzhauser (2001) [51]; Elenbark (2007 [35])). Postoje i određeni prototipovi ekspertnih sistema za donošenje ovih odluka [55].

Problem izbora tehnologije u KZ, kao jednog od specifičnog problema ove grupe, svodi se pre svega na pitanje izbora tipa KS. Nesrazmerno značaju ove problematike za kreiranje konačnog rešenja skladišta, u raspoloživoj literaturi radovi posvećeni ovoj temi su vrlo retki. Problem odluke između dva osnovna tipa KS, čovek-ka-teretu ili teret-ka-čoveku principijelno opisuje White(1979) [80] i navodi aspekte koji mogu da utiču na izbor jedne ili druge opcije. Yoon i Sharp (1996) [83] kao glavne faktore koji utiču na izbor i uobličavanje jednog KS: robu sa njenim karakteristikama (veličina, težina i dr.), ekonomska ograničenja (budžet, projektni period i sl.), ograničenja okruženja u kome se sistem razvija (npr. bezbednosni zahtevi), sistemske zahteve (proizvodnost, strategija upravljanja zalihama), operativne strategije i transakcione podatke (o robi i narudžbinama). Skladište koje rukuje sa malim brojem narudžbina dnevno ispostavlja drugačije zahteve u vezi tehnologije u odnosu na skladište koje rukuje-obrađuje na hiljade narudžbina dnevno.

Interesantan pristup izboru tipa KS daju Dallari i ostali (2009) [25]. Na bazi rezultata analize sprovedene u preko 68 skladišta u Italiji izgrađenih u periodu između 2002-2006. godine, oni u radu daju svojevrsni vodič ili usmerenja za izbor tehnološkog oblika KS. Sprovedena analiza je pokazala da na izbor tehnologije presudni uticaj imaju sledeći parametri: obim aktivnosti (iskazan brojem linija u narudžbinama na nivou dana), broj jedinica robe i srednja veličina narudžbine. Na osnovu analize sprovedene po ovim parametrima autori su kreirali matricu odlučivanja koja može da posluži projektantima kao alat za donošenje odluka o

izboru tehnologije u KZ. Osnovni problem u primeni ovog "alata" predstavlja nedostatak ocene efikasnosti¹⁴ primenjenih KS.

Na osnovu prethodno iznetog nameće se kao zaključak da nedostaju radovi (istraživanja) sa predloženim/definisanim modelom odlučivanja, kao pomoć-alat pri izboru određenog tehnološkog oblika KS, a koji bi bio u stanju da na jedan egzaktan način ukaže na pogodnost primene određenog tipa KS u određenim uslovima.

Problemi dimenzionisanja i *layout*-a skladišta u različitim kontekstima bili su tema brojnih radova [17], [18], [20], [21], [52], [66], [67] i [68], a za detaljniji uvid dobar pregled referentne literature dat je u radovima [23], [26], [42] i [69]. Analiza u ovom delu doktorske teze, s obzirom na temu koja je predmet interesovanja, ograničena je na radove posvećene problemima određivanja veličine KZ u odnosu na RZ, odnosno alociranju skladišnog prostora na skladišne funkcionalne celine (skladišni-rezervni i komisioni deo).

Pliskin i Dori (1982) [61] predstavljaju metod za poređenje alternativnih alokacija prostora na različite skladišne zone baziran na višekriterijumskoj analizi korisničkih preferenci. Azdivar (1989) [5] predlaže jedan pristup za optimalnu alokaciju prostora između različitih zona u automatskom skladišnom sistemu sa ciljem maksimizacije performansi balansirajući između kapaciteta i efikasnosti operacija kao njihovih osnovnih performansnih kriterijuma. Bhaskaran i Malmborg (1990) [13] analiziraju ekonomski aspekt problema veličine RZ nasuprot KZ, uključujući u ciljnu funkciju troškove skladištenja, troškove nedostatka zaliha u KZ i troškove komisioniranja pod pretpostavkom da tražnja ima karakter Puasonovog procesa. Malmborg (1996) [56] formuliše jedan integralni troškovno evaluacioni model koji povezuje upravljanje zalihama, alociranje prostora između KZ i RZ i *layout* skladišne zone. Za određivanje skladišnog *layout*-a autor razvija analitički model za ocenu potrebnog broja skladišnih lokacija i skladišnih prolaza za slučaj

¹⁴ Ocena efikasnosti primenjenih rešenja mogla bi biti izvršena primenom npr. DEA (*Data Envelopment Analysis*) pristupa.

poznate količine robe primenom dve strategije lociranja roba: *randomized* i *dedicated* (na bazi zapremine).

Heragu i ostali (2005) [50] za skladište čiju strukturu čini pet osnovnih funkcionalnih celina-zone: prijema, otpreme, *cross-docking*-a, rezervne i komisione zone; predlažu jedan optimizacioni model i heuristički algoritam kojim se jednovremeno razmatraju i rešavaju problem alociranje roba na ove zone i problem dimenzionisanja (određivanja veličine) ovih zona sa ciljem minimizacije ukupnih godišnjih troškova rukovanja i skladištenja. Postoji jedan glavni nedostatak u formulaciji i primeni modela, koji se i po priznanju autora odnosi na to, da formulacija zahteva znanje o dodeljivanju proizvoda u svaku zonu (funkcionalnu celinu) za računanje troškova rukovanja, a dodeljivanje proizvoda u funkcionalne celine je glavna promenljiva odlučivanja u matematičkom modelu.

b) Problem uobličavanja komisione zone

Jedan od prvih radova posvećenih problemu KZ svakako je rad Ballou-a (1967) [10], u kome se autor bavio problemom optimalne podele skladišne zone na KZ i RZ. U tom cilju je razvijen model LP (Linearnog Programiranja), koji istovremeno rešava pitanje optimalne podele ukupnih i pojedinačnih zaliha robe na ove dve zone.

Jedan od osnovnih nedostataka ovog modela, kada je reč o njegovoj praktičnoj primeni u okviru postupka tehnološkog uobličavanja KZ, je izostavljanje troškova punjenja robom KZ iz RZ. Zahtev za punjenjem (i sa njegovom realizacijom povezani troškovi) neminovno se pojavljuje kod svake tehnološke koncepcije skladišta koja predviđa ovakvo prostorno uobličavanje/oblikovanje KZ.

Gudehus (1974) [44] se u svom radu bavio problemom razdvajanja KZ i RZ analizirajući različite aspekte koji prate ovu odluku. U zaključku rada autor problem razdvajanja KZ od RZ karakteriše kao kompleksan problem, teško rešiv u opštem slučaju i ističe kao problem koji zaslužuje dalje istraživanje.

Bozer (1985) [16] se u svom radu bavio i problemom KZ i to problemom podele paletnog regala na gornju RZ i donju KZ (vertikalno razdvajanje). Pod specifičnim pretpostavkama u pogledu tehnologije i troškova on je pokazao kada je opravdana podela paletnog regala na ove dve zone. Pored rešavanja ovog problema, u okviru navedenog rada autor se bavio i problemom odluke koja roba treba da "ide" u KZ.

FRP

Hackman i Rosenblat (1990) [47] prvi postavljaju model za rešavanje problema KZ (FRP) koji jednovremeno razmatra i *assignment* problem (koja roba ide u komisionu zonu) i *allocation* problem (koliko se prostora u KZ dodeljuje svakoj od zastupljenih roba). KZ u ovom slučaju predstavlja AS/RS za rad sa manjim jedinicama tereta. Realizacija procesa komisioniranja, u okviru ovakve tehnološke koncepcije skladišnog rešenja, obavlja se u KZ, a popunjavanje robom iz RZ se realizuje kada nivo zaliha robe u KZ padne na nulu. Kako se uštede pri komisioniranju ostvaruju uvek kada se zahtev za komisioniranjem određenih roba realizuje u KZ, a ne u RZ, težnja je da se maksimiziraju ovakvi događaji. Međutim, s obzirom na ograničeni kapacitet KZ potrebno je povremeno izvršiti popunu (punjenje) nedostajućih jedinica robe. Problem KZ posmatran u ovakvom kontekstu sastojao bi se u rešavanju *assignment* i *allocation* problema koji bi rezultirao maksimalnom neto koristi¹⁵.

Za rešavanje *assignment-allocation* problema (da bi se donela odluka koje robe idu u komisionu zonu i koliko svakoj od tih roba dodeliti prostora u KZ) autori definišu *economic assignment quotient* (EAQ) za njihovo rangiranje, a koji se definiše kao:

$$\frac{s_i D_i}{\sqrt{c_i R_i}}; \text{ gde je:}$$

- D_i – broj zahteva za robom i u jedinici vremena,
- R_i – tražnja za robom i u jedinici vremena izražena u skladišnim resursima,

¹⁵ *Neto korist* predstavlja korist koja nastaje od ušteda od komisioniranja u komisionoj zoni umanjenu za troškove punjenja robom komisione zone.

- c_i – cena punjenja KZ robom i ,
- s_i – ušteda po zahtevu za robom i , ako se ona nalazi u KZ.

Na osnovu ovoga, Hackman i Rosenblatt kreiraju heuristički algoritam za rešavanje problema alokacije. Njihova heuristika dodeljuje optimalne količine u KZ saglasno definisanim rangovima prioriteta, sve dok se raspoloživi kapacitet (koji je bio poznat) KZ (AS/RS) ne iscrpi - ispuni.

Modeli i algoritmi razvijeni u ovom radu imaju praktičnu primenu ali samo kod tehnološkog uobličavanja za određene oblike KZ, a pre svega, kod onih oblika KZ kod kojih se kao jedinice komisioniranja pojavljuju paketne jedinice ili pojedinačni komadi robe. Jedna od pretpostavki modela koja bi bila realna za ove oblike KZ je i ona da se punjenja robom KZ za svaku nedostajuću robu obavljaju u jednom ciklusu. Modeli razvijeni u okviru ovoga rada ne bi bili pogodni za primenu kod tehnološkog uobličavanja KZ, kod kojih se roba (paketne jedinice) izdvaja sa paleta iz KZ i kod kojih se za svako punjenje KZ mora računati sa posebnim ciklusima za svaku paletnu jedinicu tereta. Pored ovoga, ograničenje u primeni ovog modela je i to što je kapacitet KZ bio unapred poznat, a u većini slučajeva pri projektovanju i njega je potrebno optimizirati.

Primenljivost predložene gramzive heuristike (*greedy heuristic*) u radu [47] na praktične probleme je proverena i potvrđena od strane Gu i McGinnis-a (2010) [43]. Oni pokazuju da ju je moguće primenjivati i na realne-praktične probleme jer daje rešenja bliska optimalnom sa zanemarljivom razlikom.

Frazelle i ostali (1994) [36] koriste heuristiku prvi put publikovanu u radu Hackman i Rosenblat (1990) [47] za određivanje optimalne veličine KZ. U modelu troškovi komisioniranja u KZ i troškovi popunjavanja povezani su sa veličinom KZ. Oni pokazuju da procedura Hackman i Rosenblata daje optimalno rešenje za slučaj kontinualne relaksacije problema¹⁶. Na realnom primeru demonstriraju heuristiku

¹⁶ Primenom kontinualne relaksacije problema raspoloživi kapacitet komisione zone se posmatra kao kontinualna veličina, a ne kao diskretna veličina što je najčešće i slučaj u praksi. Ako je roba skladištena u policama, tada je potrebno ostaviti neki prostor između susednih jedinica tereta da bi se omogućilo rukovanje njima. Moraju se uzeti u obzir i neki gubici raspoloživog skladišnog

i promenom veličine KZ (njenim smanjenjem za 32%) i preraspodelom robe između KZ i RZ ostvaruju uštede u troškovima rada od 20%.

Van den Berg i ostali (1998) [77] su prvi koji rešavanju problema KZ prilaze sa aspekta vremena (perioda) punjenja KZ. Oni razlikuju popunjavanje koje se dešava u vreme radnog perioda komisioniranja (kada se obavlja komisioniranje) i popunjavanja koje se odvija u vreme slobodnog perioda - tipično pre perioda komisioniranja. Na osnovu takvog pristupa oni razvijaju model koji dopušta popunjavanje KZ unapred za vreme slobodnog perioda, čime se smanjuje potreba za punjenjem KZ za vreme radnog perioda. Na ovaj način ne samo da se povećava proizvodnost već se smanjuju ometanja u radu komisionera, a time i mogućnosti nezgoda pri radu. U uslovima ograničenog kapaciteta KZ kao osnovni cilj modela pojavljuje se nalaženje takve alokacije roba u KZ, koje minimizira potrebno vreme rada (vreme komisioniranja u KZ, vreme komisioniranja iz RZ i vreme punjenja KZ iz RZ) za vreme perioda komisioniranja.

Posmatrani problem autori transformišu u problem ranca i rešavaju heuristikom (*Greedy Knapsak Heuristic*) koja traga za alokacijom roba u KZ koja će minimizirati očekivano ukupno vreme rada za komisioniranje i punjenja u vreme radnog (komisionog) perioda. U radu je poređenjem ove heuristike sa procedurama (dodeljivanje jednakog prostora¹⁷ i dodeljivanje jednakog vremena¹⁸) koje su široko primenjivane u praksi, pokazana značajna mogućnost uštede u radu.

Alicke i ostali (2001) [1] se bave optimizacijom KZ bazirane na manuelnom komisioniranju. U situacijama visoke cene personala bitno je razviti efikasan sistem, pri čemu su prisutni različiti faktori koji utiču na efikasnost, a samim tim i na cenu rada u KS. U cilju minimizacije troškova autori istražuju uticaj frekvencije

prostora, pored toga prostor se gubi i usled raznolikosti veličina jedinica tereta koje ne dopuštaju da se raspoloživi prostor u policama u potpunosti iskoristi. Ako je broj različitih veličina jedinica tereta ograničen na jedinice čija veličina odgovara veličini jedne, dve, četiri itd, komisione skladišne lokacije, tada se ovaj gubitak može zanemariti. U suprotnom, mora se prethodno oceniti koji deo skladišnog prostora može biti korišćen efektivno.

¹⁷ Procedura jednakog prostora svakoj robi u komisionoj zoni dodeljuje isti prostor.

¹⁸ Procedura jednakog vremena dodeljuje količine po robama u komisionoj zoni tako da svaka od roba može da izdrži očekivanu tražnju za isti period vremena.

popunjavanja i veličine KZ u okviru FRP. U cilju ispitivanja ovih troškovnih aspekata razvijen je analitički model u EXCEL-u. Bartholdi i Hackman(2008) [11], Đurđević (2002) [32], Gagliardi i ostali(2008) [38] i Anken i ostali(2011) [2] su takođe rešavali AA (*assignment-allocation*) problem za slučaj različitih koncepcija KZ.

Interni layout KZ

Problem internog *layout*-a KZ odnosi se na određivanje njene strukture (broja blokova, broja, dužine i širine radnih prolaza, njihove orijentacije i dr.). Generalno, odgovor na pitanje šta je dobar *layout* skladišne zone zavisi od funkcije i razloga formiranja zone. U slučaju KZ cilj je uobličiti zonu koja će omogućiti lak pristup robama i brz transport tereta do otpremne zone. Stoga je opravdano fokusirati se na minimiziranje vremena kretanja- pređenog rastojanja pri komisioniranju. Pređeno rastojanje pri komisioniranju zavisi od *layout*-a, primenjene strategije dodeljivanja skladišnih lokacija u zoni, a takođe i od strategije rutiranja komisionera. Ovi aspekti u svojim različitim pojavnim oblicima i kombinacijama bili su predmet istraživanja u radovima [60], [48], [21], [20], [63], [64] i [65].

Petersen(1997) [60] primenom simulacije istražuje odnos strategije rutiranja i *layout*-a komisione zone. Hall (1993) [48] ispituje uticaj *layout*-a na efikasnost komisioniranja kroz analitičku procenu vremena puta za slučaj specifičnog *layout*-a-1blok. Caron i ostali (2000) [21], razvijaju analitički aparat za ocenu različitih *layout*-a rešenja KS (tipa čovek-ka-teretu), u pogledu broja i dužine komisionih prolaza, koji minimiziraju dužinu komisione ture za dati set operativnih pravila (prolazna strategija rutiranja, strategije dodeljiva skladišnih lokacija: slučajna i COI). U radu [20] isti autori, za isti tip KS primenom simulacije traže efikasni *layout* KZ. Roodbergen (2001) [63] daje pristup za određivanje *layout*-a KZ za specifične konfiguracije skladišta (za jedan i više blokova). Kao cilj, pojavljuje se minimizacija srednjeg puta neophodnog pri komisioniranju jedne ili grupe narudžbina. U prvom koraku, on razvija analitičku formulu kojom je moguće izračunati srednje rastojanje za realizaciju komisione rute u KZ. Ovu izračunatu vrednost on upoređuje sa vrednostima dobijenim primenom simulacije. Dalje,

korišćenjem analitičkih formula za srednje rastojanje u ciljnoj funkciji u nelinearnom modelu on određuje optimalan layout za datu situaciju. Polazeći da je u modelu poznat: potreban skladišni prostor, broj uzimanja po ruti i karakteristike opreme, moguće je odrediti: broj skladišnih prolaza, dužinu skladišnih prolaza i poziciju baze¹⁹ tako da se minimizira srednje pređeno rastojanje - put. Roodbergen i Vis (2006) [65] predstavljaju jedan optimizacioni pristup za određivanje *layout*-a komisione zone (izbor broja i dužine radnih prolaza i lociranja baze), tako da se minimizira očekivana prosečna dužina komisione rute. Oni daju analitičku formulu za računanje srednje dužine komisione rute za dve ruting strategije (prolazne i najvećeg razmaka). Zaključuju da optimalan broj prolaza u KZ zavisi od zahtevanog skladišnog prostora i veličine komisione liste-naloga za komisioniranje. Roodbergen i ostali (2008) [64] se bave obrnutim pristupom oni predstavljaju model koji minimizira pređeno rastojanje-put u KZ i identifikovanjem odgovarajućeg *layout*-a jednog ili više blokova paralelnih radnih prolaza. Model je razvijen za jednu opšte primenjivanu strategiju rutiranja.

2.4 Zaključni komentar

Analizom raspoložive literature stiže se utisak da je relativno malo istraživanja bilo posvećeno problemu KZ, nesrazmerno značaju koji on ima za DC, a posebno proces komisioniranja. Istina, određeni aspekti problema bili su predmet rešavanja u gore citiranim radovima, ali još uvek ima značajnog prostora za dalje istraživanje, kako na planu prilagođavanja dosadašnjih saznanja praktičnim potrebama projektovanja i eksploatacije komisionih sistema, tako isto i na planu razvoja novih modela podrške pri tehnološkom uobličavanju KZ.

Kao zaključak sprovedene analize se može ponoviti i istaći da svaki od radova ima značajan doprinos u osvetljavanju i rešavanju izvesnih aspekata ovog problema, međutim za praktičnu primenu (što je i ovde slučaj) su u jednom ili drugom pogledu nepotpuni i neadekvatni iz razloga što se u rešavaju ograničavaju na užu

¹⁹ Baza je mesto gde počinje i završava komisiona ruta.

grupu problema, ili situacija (izborom pretpostavki-nerealnih za praksu). Navedeno, je predstavljalo osnovi razlog da se predloži procedura, i uvede jedan pristup prilagođen potrebama praktičnom rešavanja problema *izbora i uobličavanja komisione zone*. U konceptualnoj fazi projektovanja-rešavanja problema primarni je cilj metodološki rešiti određeni problem, pri čemu je posebno značajan kriterijum njegove praktičnosti/upotrebljivosti. Takav pristup neminovno mora/treba da uvažava realne-tipične situacije zadataka, merodavne kriterijume, kao i raspoloživost podataka u ovoj fazi projektovanja. Pri rešavanju FRP u fazi uobličavanja TK, i određivanja npr. veličine KZ, neophodno je uvažavati njene bitne aspekte, pre svega, u pogledu specifičnosti realizacije procesa:komisioniranja, popunjavanja KZ i dr. U suprotnom može se lako desiti da se za određene situacije primenjuju/razvijaju neodgovarajući modeli. Veća pažnja navedenim aspektima problema posvećena je u narednom poglavlju ovog rada.

3 RAZVOJ POSTUPKA ZA IZBOR I UOBLIČAVANJE KOMISIONE ZONE

Kreiranja skladišnog rešenja koje će, na odgovarajući način, da ispuni projektni zadatak pre svega zavisi od donošenja različitih projektnih odluka. Među njima, a posebno u slučaju projektovanja skladišta/DC, **izbor** tehnološke koncepcije **komisione zone** (TKKZ) i njenog **uobličavanja** su vrlo bitne odluke sa posledicama vezanim za mnoge skladišne aspekte (resurse, procese, performanse, troškove i sl). Iz tog razloga rešavanju problema izbora i uobličavanja **komisione zone** (PIUKZ) treba podrediti rešavanje čitavog skladišta, odnosno ostalih skladišnih podsistema. Argumenti za ovakav pristup su obrazloženi detaljnije u citiranoj literaturi [46] i [69].

PIUKZ je kompleksan projektni problem koji karakteriše i prati donošenje većeg broja različitih međuzavisnih projektnih odluka u uslovima prisustva konfliktnih ciljeva i uz postojanje velikog broja potencijalno primenjivih parcijalnih varijantnih rešenja. Kao osnovne izdvajaju se odluke o:

- tipu komisione zone,
- tehnologiji i metodu komisioniranja u komisionoj zoni,
- veličini komisione zone,
- vrsti i količini dodeljene robe u komisionoj zoni (problem detaljnije opisan u Poglavlju 2).

Potrebno je naglasiti da pri donošenju ovih odluka između njih postoji specifičan oblik - stepen međuzavisnosti koji je neophodno respektovati. Sve ovo upućuje da bi za dobijanja optimalnih rešenja TKKZ bilo neophodno da se sve ove odluke uključe istovremeno u razmatranje prilikom rešavanja PIUKZ u okviru jednog

modela. Međutim, takav pristup bi vodio ka vrlo kompleksnom modelu, teškom za definisanje i nepogodnom za rešavanje. U ovom se, verovatno, kriju razlozi i odgovori zašto su dosadašnja istraživanja u ovoj oblasti samo parcijalno tretirali PIUKZ ograničavajući ga samo na neke specifične aspekte (detaljnije razmatrano u pregledu literature u Poglavlju 2, ovoga rada). Rezultati takvog pristupa imaju ograničenu mogućnost primene, a u projektnoj praksi na realne probleme, jer modeli i njihova optimalna rešenja važe samo pod raznim pretpostavkama (često vrlo i pojednostavljenim) za koje su modeli razvijani i definisani. Zbog toga se može smatrati da PIUKZ, u svom integralnom obliku, nije još uvek na odgovarajući način tretiran i rešen (naročito sa aspekta projektne prakse i metodologije projektovanja). Otuda, za prevazilaženje ovog nedostatka, u ovom radu se predlaže i definiše postupak - procedura koja omogućava njegovo praktično rešavanje. Predložena procedura omogućava *identifikaciju, uobličavanje i ocenu* – pogodnih (izvodljivih) alternativa TKKZ, stvarajući na takav način neophodnu polaznu osnovu za dalji proces razvoja i definisanja rešenja DC (saglasno metodologiji projektovanja opisanoj u Poglavlju 2).

Navedene karakteristike PIUKZ upućuju da bi procedura bazirana na *hijerarhijskoj strukturi odlučivanja* (HSO) bila pogodan pristup za njegovo rešavanje. U literaturi, posvećenoj problemima projektovanja skladišta, postoje primeri primene ovakvih pristupa za rešavanje sličnih (kompleksnih) problema [40], [59] i [83] i oni su detaljnije opisani u Poglavlju 2. Stoga, u nastavku ove disertacije su date samo osnove HSO.

Primena HSO podrazumeva prethodno sprovođenje sledećih aktivnosti: (i) identifikovanje odluka, nastalih dekomponovanjem globalnog - kompleksnog problema, (ii) definisanje hijerarhijskih nivoa odlučivanja i (iii) grupisanja odluka na različite hijerarhijske nivoe odlučivanja, na način da se očuvaju bitne relacije-odnosi između pojedinih odluka na istom i različitom hijerarhijskom nivou, a u cilju rešavanja kompleksnog problema. Uspostavljanjem ovakve strukture odlučivanja značajno se smanjuju dimenzije problema i olakšava njihovo rešavanje, jer je omogućeno da se određene odluke donose na različitim

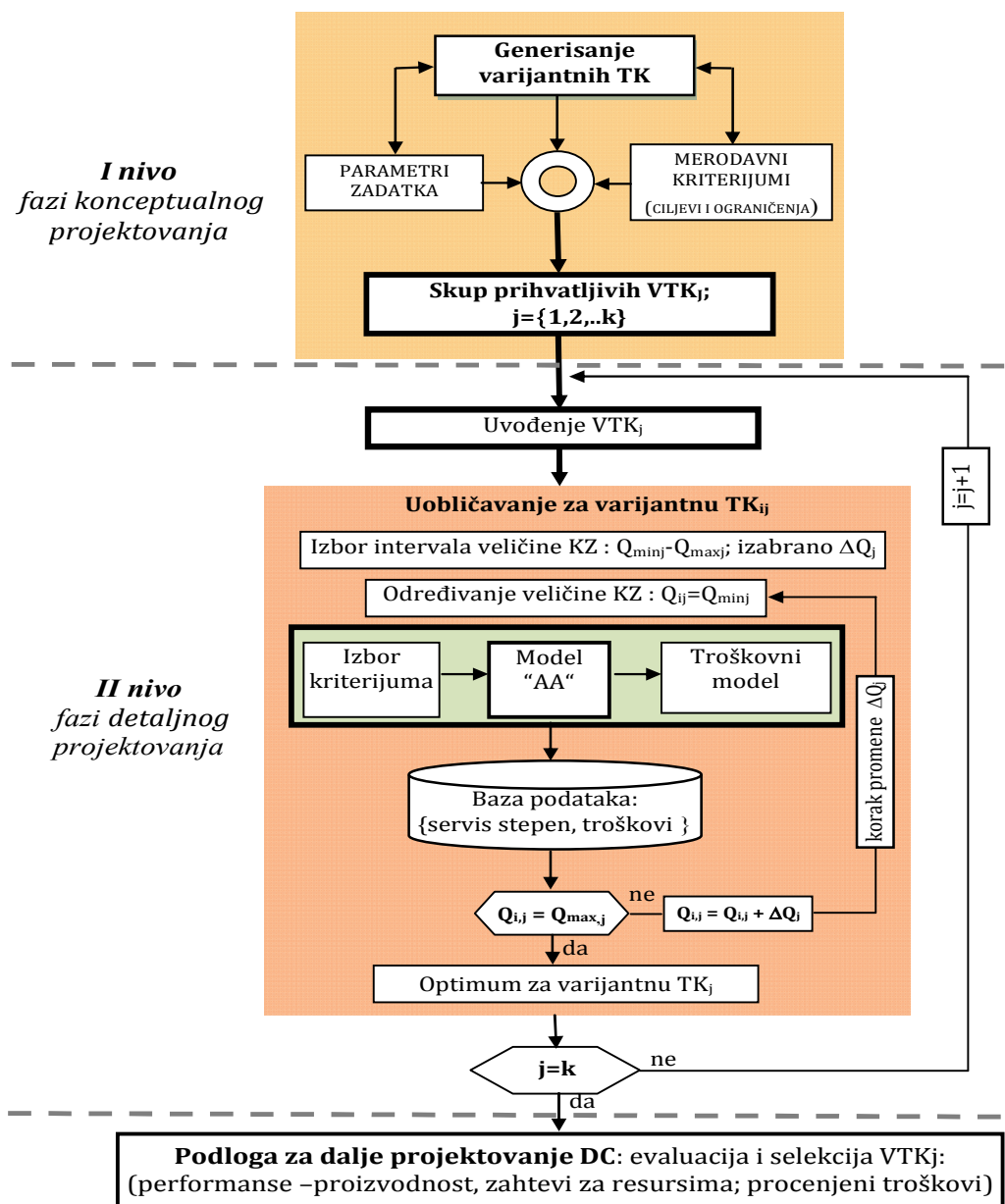
hijerarhijskim nivoima. Takođe, sama procedura rešavanja bazirana na HSO podrazumeva primenu izvesnog broja povezanih parcijalnih modela za podršku pri donošenju određenih odluka. Generalno važi pravilo da odluke donete na višem hijerarhijskom nivou predstavljaju ograničenja-okvir za donošenje odluka na nižem hijerarhijskom nivou, a u izvesnim situacijama važi i obrnuto, kada izlazi iz nižih modela (performanse) predstavljaju ulazne veličine-parametre u višim modelima (npr. zahtevi za resursima, troškovi i dr.) Variranjem parametara modela na pojedinim hijerarhijskim nivoima kao i u okviru opšte procedure, kroz iterativni postupak dostižu se zadate performanse, tako da se u osnovi radi o jednom *hijerarhijskom iterativnom pristupu* kod razvoja procedure za rešavanje PIUKZ.

3.1 Procedura za rešavanje PIUKZ

Za posmatrani PIUKZ, predložena je hijerarhijska iterativna procedura (prikazana na slici 3.1), koja predviđa donošenje projektnih odluka na dva osnovna hijerarhijska nivoa odlučivanja. Formiranje ovakve hijerarhijske strukture je rukovođeno i prilagođeno, pre svega, zahtevima i karakteristikama procesa razvoja rešenja (generalni redosled je da se definiše prvo koncept, pa potom detalji, tj. prvo konceptualna faza, pa potom faza detaljnog projektovanja-uobličavanja, kada se traga za optimalnim rešenjima u okviru izabrane tehnološke koncepcije), kao i uvažavanjem specifičnosti pojedinih projektnih odluka i njihovih relevantnih interakcija (detaljniji pregled ove problematike je dat u Poglavlju 2). U nastavku rada su ukratko opisane osnovne aktivnosti u okviru ovih nivoa-odnosno faza predložene procedure.

Osnovni cilj predložene procedure na **prvom nivou** -u okviru *konceptualne faze*, je identifikacija prihvatljivih *varijantnih tehnoloških koncepcija komisije zone* (VTKKZ). Skup *prihvatljivih* varijanti čine izabrane varijante (u skladu sa postavljenim projektnim kriterijumima) iz skupa potencijalno *izvodljivih* varijanti (one koje ispunjavaju uslove zadatka- zahteve). Za dolaženje do skupa *prihvatljivih*

varijanti, ovde se primenjuje (novi) metodološki pristup koji omogućava direktno rešavanje ovog zadatka. On predviđa da se u toku procesa/postupaka generisanja varijanti (pre svega vođeno parametrima zadatka i njihovim karakteristikama) jednovremeno realizuje i izbor uključenjem i merodavnih projektnih kriterijuma.



Slika 3.1 Procedura za rešavanje PIUKZ

Na **drugom nivou** procedure u *fazi detaljnog projektovanja* pristupa se uobličavanju izabranih VTKKZ i njihovom dovođenju na svoj najpovoljniji oblik. Tom prilikom se određuju bitni projektni parametri sa ciljem ostvarivanja zadatih

performansi (produktivnost, servis stepen, relevantnih troškovi i dr.). Centralno mesto na ovom nivou odlučivanja ima određivanje veličine KZ, zbog njenog uticaja na operativne troškove rada skladišta.

Do optimalnih vrednosti veličine/kapaciteta (na bazi usvojenih kriterijuma: minimalni ukupni troškovi - servis stepen, a za zadatu produktivnost) za VTKKZ na ovom nivou dolazi se primenom *iterativnog postupka*. U okviru ovog postupka primenjuju se odgovarajući modeli: (i) *optimizacioni* za rešavanje *Assignment-Allocation (AA)* zadatka, odnosno definisanja koje robe i u kojoj količini i za koji period su zastupljene u KZ, i (ii) *troškovni* za procenu relevantnih troškova. *Postupak* određivanja optimalnih vrednosti veličine KZ je potrebno sprovesti za sve izabrane varijantne koncepcije identifikovane na prvom nivou. Na kraju sprovedene procedure, iz skupa optimalnih rešenja po varijantama, na izlazu se daje predlog rešenja KZ, shodno izabranim kriterijuma, koji se koristi u daljim fazama projektovanja DC.

Detaljniji opis i primena ovog postupka na drugom nivou predložene procedure dat je u tački 3.3.

Kvalitet i upotrebljivost rešenja do kojih se dolazi primenom predložene procedure u velikoj meri zavise od nekoliko ključnih koraka:

- definisanja projektnog zadatka, izbora i primene odgovarajućih kriterijuma,
- generisanja/izbora prihvatljivih varijantnih TKKZ, i
- uobličavanja VTKKZ (izbora postupka i primene odgovarajućih parcijalnih modela: model za rešavanje AA zadatka i troškovni modeli).

Zbog značaja razumevanja predložene procedure u nastavku sledi njihov detaljniji opis.

3.1.1 Definisanje projektnog zadatka za izbor i uobličavanje KZ

Globalni projektni zadatak (GPZ) skladišta sastoji se osnovnih projektnih zahteva (parametri problema), ciljeva, i ograničenja koji se, po pravilu, postavljaju iz šireg

okruženja (npr. lanac snabdevanja) pred sistem koji se projektuje. Za izbor i uobličavanje VTKKZ, kao jednog od podsistema DC, GPZ je neophodno transformisati u oblik *parcijalnog projektnog zadatka* (PPZ). PPZ se – u slučaju PIUKZ u naj opštijem postavlja u formi systemske performanse-zahteva za određenim obimom komisioniranja u merodavnom vremenskom intervalu (izraženog npr. brojem paketa/dan). Ovakav oblik zadatka karakteriše visok stepen neodređenosti (kakvih narudžbina, kog asortimana proizvoda, i sl.) i kao takav nije pogodan za donošenje relevantnih projektnih odluka. Iz tog razloga, potrebno ga je konkretizovati i bliže povezati sa problemom koji se rešava. Bliže definisanje – konkretizovanje PPZ realizuje se identifikacijom njegovih relevantnih kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika izvedenih analizom raspoloživih podataka²⁰ o: korisničkim narudžbinama, robi, sistemskim zahtevima i ograničenjima, a za koje je u nastavku data struktura i pregled osnovnih podataka i njihovih parametara sa specifičnim karakteristikama.

Podaci o narudžbinama:

- broj narudžbina u merodavnom vremenskom periodu (npr. dnevno, časovno), može da varira u značajnom rasponu (potrebno je raspolagati merodavnim vrednostima, zavisno od rezultata njihove statističke analize, npr. na osnovu njihovih matematičkih očekivanja i standardnog odstupanja - μ , σ ,)
- veličina narudžbine može biti predstavljena;
 - brojem linija (ovaj broj odgovara broju različitih proizvoda/artikala u okviru narudžbina),
 - ukupnom težinom, i/ili
 - ukupnom zapreminom (broj komada proizvoda/artikala u okviru pojedinih linija)

Ako su narudžbine homogene u ovom pogledu potrebno je znati srednje vrednosti broja linija i količine po linijama, ako nisu onda treba izvršiti

²⁰ Odnosi se na podatke koje je moguće pribaviti u ovoj fazi projektovanja

homogenizaciju – formiranjem homogenih grupa (po merodavnom izmeritelju/izmeriteljima).

- pojavni oblik jedinice tereta proizvoda u skladištu:
 - pojavni oblik u skladišnoj zoni,
 - pojavni oblik u procesima komisioniranja-jedinica komisioniranja (često se poklapa se jedinicama u kojima korisnici naručuju proizvode u korisničkim narudžbinama; npr. paketna jedinica tereta-kutija)
 - tip transformacije pojavnog oblika (npr. homogene palete-paketne jedinice- mešovite palete i dr.),
- interval strpljivosti obavljanja procesa komisioniranja narudžbine (npr. 8h)²¹.

Podaci o robama (proizvodima)

- asortiman- broja različitih proizvoda koji je jednovremeno prisutan u procesu,
- karakteristike proizvoda, kao što su pojavni oblik jedinice pakovanja, veličina, težina, količina po jedinici pakovanja (kutija) (ovaj podatak je potreban samo ako se roba naručuje u jedinicama manjim od sadržaja pakovanja-paketne jedinice (kutije)), broj kutija na paleti, lomljivost, temperaturni zahtevi, vrednost, FIFO zahtevi i dr.,
- karakteristike zahteva za otpremom-distribucijom svakog od proizvoda, frekvencija pojavljivanja u narudžbinama, količina u kojoj se naručuje, kao i njihove kombinacije (da li se pojavljuje puno zahteva za malim kvantitetom ili malo zahteva za velikim kvantitetom jedinice otpreme - ako postoji značajna razlika potrebno je za proizvode sprovesti ABC analizu ili drugi postupak grupisanja).

Iz svrsishodnih razloga potrebno je u procese prethodne analize iz skupa ukupnih podataka (koji se odnose za DC) doći do relevantnog skupa podataka (o robama,

²¹ Veći interval formira preduslove za koje je veća mogućnost povećanja efikasnosti

narudžbinama i dr.) potrebnog za definisanje PPZ (koji se odnosi na KZ). Takođe, nije svrsishodno (a često u ovoj fazi ni moguće), rukovati sa svim podacima i narudžbinama pojedinačno, već je racionalnije uspostaviti određene kategorije na bazi sličnosti (npr. kod *proizvoda*: u nivou aktivnosti, zahtevanoj količini, nivou zaliha po proizvodu, svojstvima proizvoda i sl.; kod *narudžbina*: na osnovu broja linija, broja jedinica po proizvodu-liniji, zapremini i sl.).

Sistemske zahteve i ograničenja

- nivo zaliha po proizvodima (maksimalni, srednji, minimalni),
- protok kroz skladište i KZ,
- kapacitet tehnoloških elemenata skladišta i KZ,
- servis stepen,
- cena rada i raspoloživost radne snage,
- cena i raspoloživost zemljišta i objekta,
- cena opreme-tehnologije,
- fleksibilnost- vezana za očekivane/zadate intervale promena obima zahteva za komisioniranjem, promena asortimana, promene korisničke tražnje - karaktera narudžbina i dr.

Ovde je neophodno naglasiti da se svaki od navedenih parametara sa svojim specifičnim karakteristikama sreće u velikom broju varijanti. Teoretski posmatrano to dovodi do toga/ima za posledicu da je ostvarljiv veliki broj mogućih kombinacija, a samim tim i potencijalnih varijanti PPZ. Iz ovih razloga, pri rešavanju konkretnih problema nije svrsishodno da se opisivanje i postavljanje PPZ razdvoji od problema koji se rešava-odnosno da se razdvoji od projektnih odluka koje je potrebno doneti. Pri opisivanju i postavljanju PPZ, kod ovakvog opredeljenja, poseban značaj ima izbor parametara (uticajnih faktora i njihovih bitnih karakteristika), jer one bitno opredeljuju potencijalna rešenja. U raspoloživoj literaturi [25], [37], [44], [73] i [83], a zavisno od problema koji se rešava, korišćeni su različiti parametri za opisivanje zadataka, kao npr.: (i) asortiman, nivo zaliha po proizvodima;(ii) fizičke karakteristike proizvoda

(dimenzije, težina); (iii) broj narudžbina, broj linija (proizvoda) po narudžbini, broj jedinica proizvoda po liniji i dr.

U cilju dobijanja merodavnih informacija za donošenje određenih projektnih odluka, potrebno je sprovesti obradu određenog pod skupa navedenih podataka i njihovih relevantnih parametara primenom odgovarajućih analitičkih postupaka i metoda [37] i [72], što je detaljnije predstavljeno kod opisa modela za donošenje pojedinih odluka.

Izbor i primena odgovarajućih kriterijuma

Proces projektovanja se sprovodi u nameri dostizanja jedne ili više ciljnih performansi, a neke od njih su:

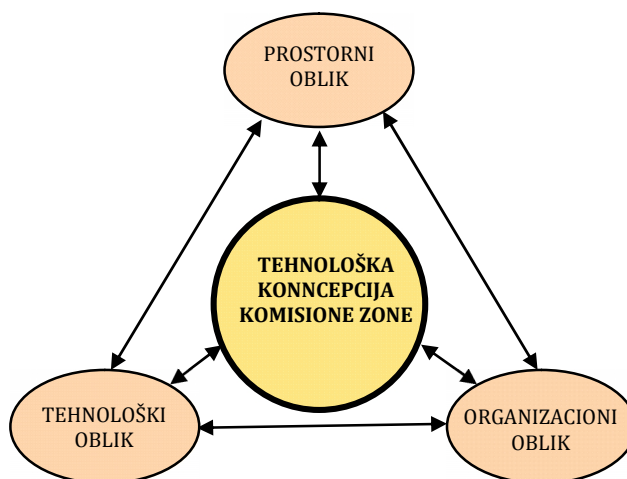
- protok – gde se teži optimalnom/merodavnom nivou ispunjenja broja narudžbina (određenog tipa-definisanog u zadatku) u zadatoj vremenskoj jedinici najčešće (ali ne i uvek) na časovnom nivou,
- troškovi – kada se teži minimizaciji sistemskih troškova (koji uključuju troškove prostora, opreme i rada). Ovi troškovi su u funkciji veličine ovih resursa – zahteva za prostorom - potrebne površine, broja radnika, broja jedinica opreme i njihove jedinične cene, angažovanja u vremenskoj jedinici,
- prostor – minimizacija potrebnog prostora za smeštaj robe i aktivnosti tehnoloških elemenata,
- vreme odziva – minimizacija vremena potrebnog za ispunjenje primljene narudžbine,
- nivo greške- minimizacija broja nekorektno ispunjenih narudžbina i dr.

Relativna važnost pojedinih ciljeva varira u zavisnosti od tipa skladišta odnosno tipa KS koji se pojavljuje u njima. Neki od ovih ciljeva su konfliktni - npr. proizvodnost i troškovi jer ispunjenjem jednog neminovno se narušava drugi: npr. kada se teži povećanju proizvodnosti za ostvarenje tog cilja u varijantama se tipično predviđa primena većeg broja tehnoloških elemenata i/ili specijalizovane opreme, koja po pravilu dovodi i do povećanje troškova-cene sistema. Iz ovog sledi

da je potrebno pažljivo izabrati projektne kriterijume i oni se u projektnim modelima mogu pojaviti u ciljnoj funkciji ili kao ograničenja. Kada se pojavljuju kao ograničenja potrebno je dostići ciljne vrednosti ne prekoračujući zadati okvir (npr. cenu sistema).

3.1.2 Generisanje i izbor prihvatljivih varijantnih TKKZ

Tehnološka koncepcija komisione zone (TKKZ) se bliže definiše i opisuje preko tri osnovne komponente: tehnologije u KZ (*tehnološki oblik*), tipa KZ (*prostorni oblik*), i metoda komisioniranja (*organizacioni oblik*) (slika 3.2).



Slika 3.2 Struktura TKKZ i međuzavisnost osnovnih komponenti

Svaka od ovih komponenti pojedinačno, se sreće u velikom broju pojava funkcionalnih oblika, ali samo njihove svrsishodne/pogodne/usaglašene kombinacije, zbog visokog stepena međuzavisnosti, predstavljaju izvodljive varijante. Iz ovog skupa izvodljivih varijantni bira se skup prihvatljivih varijanti pri čemu se napominje da se radi o kompleksnom i vrlo značajnom projektnom zadatku i njegovom rešavanju je potrebno pristupiti sa velikom pažnjom. Posebno se naglašava da se u ovoj fazi definišu neki globalni parametri budućeg sistema koji mogu imati presudan uticaj na troškove i performanse komisioniranja/skladišta koje će ga pratiti dugi niz godina- često i kroz čitav njegov životni vek. ***U praksi se***

pri kreiranju skladišnog rešenja ova činjenica često zanemaruje i polazeći od izvesnog broja tipskih rešenja, direktno se prelazi u narednu fazu procesa projektovanja, sa opasnošću da neke dobre koncepcije ne budu ni razmatrane. Time se mogućnost za kreiranje stvarno najboljeg rešenja, za date uslove, već na startu gubi. U nastavku su, radi izbegavanja ovakve mogućnosti greške, date osnove metodološkog pristupa i postupak za dolaženje do rešenja – izbora prihvatljivih varijanti.

Pristup za izbor varijantnih TKKZ

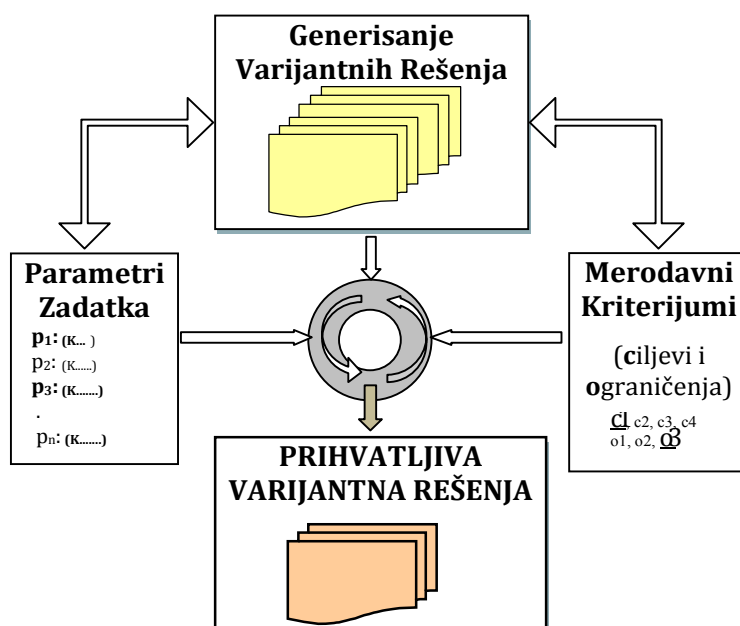
Generisanje izvodljivih varijantnih koncepcija predstavlja kreativan čin koji podrazumeva poznavanje velikog broja različitih varijanti parcijalnih komponenti kao i mogućnosti njihovog kombinovanja, odnosno kreiranja tipičnih varijantnih kombinacija. Moguće ga je opisati kao višefazan iterativan proces, gde se u početku bira osnova rešenja-koncepcije, koja se u svakom narednom koraku iteracije, kako se povećava nivo detaljnosti, preciznije definiše. Postupajući na ovaj način dolazi se do skupa *izvodljivih* varijantnih koncepcija, koji u nekim slučajevima može da bude izuzetno veliki. Ovaj skup izvodljivih varijantnih koncepcija, potrebno je, za potrebe projektovanja, primenom odgovarajućih kriterijuma selekcije svesti najčešće na 2-5 *prihvatljivih* varijantnih koncepcija.

Teorijski posmatrano, potrebno je sprovesti dvostepeni postupak koji podrazumeva: (i) generisanje-razvoj izvodljivih varijanti, pa potom (ii) primenom kriterijuma izbora svođenje ovog skupa na skup prihvatljivih varijanti. Iako na prvi pogled izgleda logično, primena ovakvog pristupa ne bi bila racionalna i dovela bi do značajnog vremenskog angažovanja tako da se retko primenjuje u projektnoj praksi. Češće se u praksi primenjuje izbor varijanti na bazi iskustva i/ili osećaja za realizaciju ovakvog zadatka i projektanti se obično tom prilikom opredeljuju za nekoliko tipskih varijanti (najčešće one koje su primenjivane u sličnim situacijama). Postupajući na ovaj način velike su šanse da se izostave pogodne varijante i izgubi značajan potencijal racionalizacije koji one nose.

Da bi se izbegli nedostaci jednog i drugog pristupa u ovom radu se predlaže i primenjuje pristup brži u odnosu na teorijski i efikasniji u odnosu na praksu. On za razliku od teorijskog pristupa uvodi kriterijume izbora još u procesu generisanja izvodljivih varijanti i izbegava dvostepenost postupka i omogućava skraćenje vremena određivanja skupa prihvatljivih varijanti. Njegova suština je u tome da se u svim fazama procesa biraju one varijante koja odgovaraju ne samo *uslovima zadatka* - parametrima i njihovim karakteristikama, već i *merodavnim kriterijumima* (zahtevanim performansama i ograničenjima). Jasno je da izbor parametara zadatka i izbor merodavnih kriterijuma imaju posebno značajno mesto u ovom pristupu²². Izabrani parametri zadatka i njihove karakteristike usmeravaju proces generisanja - razvoja potencijalnih varijanti, a istovremeno uključenje merodavnih kriterijuma u ovaj proces svodi broj varijanti, koji nekada može da bude veliki, na uži skup prihvatljivih varijanti (slika 3.3). Postupajući na ovaj način u svim fazama procesa generisanja varijanti, uz prilagođavanje zadatka (izborom i uvođenjem novih parametara) i izborom kriterijuma izabrane prihvatljive varijante iz prethodne faze se bliže definišu do konačnog oblika. Primenujući ovakav pristup/metod potrebno vreme dolaženje do povoljnih varijanti značajno se skraćuje iz razloga smanjenja oblasti pretraživanja i potrebnog broja iteracija. Procesi selekcija i eliminacija varijanti su bazirani na primeni logičke i/ili grube²³ kvantitativne analize koja dozvoljava projektantu da u ranim fazama kada se generišu varijante donese odluku da li neka od njih ide dalje u proceduru analiza ili se odbacuje. Neophodna pretpostavka za njihovu primenu i donošenje valjanih odluka je poznavanje i/ili procena osnovnih mera performansi (npr: protok, servis stepen, troškove, stepen iskorišćenja i dr.) pojedinih varijanti.

²² Postavljanje i definisanje zadataka u opštem obliku, uzimajući u obzir sve relevantne parametre, njihove i karakteristike ne bi bio racionalan ni pogodan pristup. Povoljniji pristup, sa aspekta projektovanja i donošenja određenih projektnih odluka, je onaj koji zadatak definiše i prilagođava u odnosu na odluke koje je potrebno doneti.

²³ Primena egzaktnih metoda i modela na ovom nivou, bez preciznih ulaznih podataka, nije svrsishodna.



Slika 3.3 Odnos relevantnih faktora izbora prihvatljivih varijanti

U nastavku je dat detaljniji opis ovog pristupa kroz prikaz postupka za razvoj i izbor varijantnih koncepcija KZ.

Postupak razvoja i izbora varijantnih TKKZ

Pri razvoju i izboru prihvatljivih VTKKZ, pogodno je poći od izbora *tehnološkog oblika*²⁴, opredeljujući se tom prilikom između *manuelnih* i *automatizovanih* KS za realizaciju zadataka/procesa u okviru komisioniranja. Ovde su opisani samo osnovni principi postupka pri ovom izboru, s obzirom da *manuelni* KS predstavljaju već prethodno usvojeni tehnološki oblik u okviru ovoga rada.

Izbor između *manuelnih* i *automatizovanih* KS je pod uticajem većeg broja faktora (kriterijumi) različite prirode (tehničko-tehnološke, ekonomske, uslova rada i dr.). Otuda se pojavljuje kao logično da se prvo ispita njihova izvodljivost za određene uslove zadatka, pri čemu su predmet analize različiti aspekti vezani za robu (pojavni oblik i karakteristike jedinica robe, vrednosti robe i dr.) i zahtevani obim aktivnosti. Takav pristup primenjen je i u radu [25] gde se zahtevani obim komisioniranja (broj linija/dan), broj jedinica - asortiman, i srednja veličina

²⁴ Tehnologija sa svojim performansama ima presudnu ulogu u ispunjenju/izvršenju određenog/ih zadataka.

narudžbine, izdvajaju kao ključni parametri zadataka za ovaj izbor. Da bi se ova odluka o izvodljivosti prilagodila potrebama konkretnog projektovanja potrebno je u ovu analizu uključiti i druge uticajne faktore - bitne kriterijume i njihove veličine (potrebne investicije, procenjeni obim rada i raspoloživost radne snage, uslovi rada, prostorno ograničenje, zahteve za fleksibilnošću, servis stepen i dr.) koji će omogućiti precizniju selekciju (eliminaciju) iz skupa varijanti i omogućiti dolaženje do prihvatljivih rešenja.

Pri izboru je pogodno primeniti iterativni postupak: u prvom koraku/fazi, polazeći od prvog faktora, odbacuju se varijantne koncepcije koje ne ispunjavaju ovaj uslov; za varijante koje su ispunile prethodni uslov postupak se ponavlja uključenjem sledećeg faktora, i ovaj postupak se ponavlja dok se ne analiziraju svi usvojeni faktori. Na kraju postupka dobija se prihvatljiva varijanta ili nešto uži skup prihvatljivih varijantnih koncepcija u odnosu na polazni. U ovom postupku može da se pojavi problem kriterijuma odbacivanja pojedinih koncepcija pri iteraciji, a za ocenu prihvatljivosti mogu se primeniti iskustveni podaci (na bazi izvedenih rešenja), preporuke(a) proizvođača opreme, benchmarking-a i dr. Takođe, pri donošenju odluke o skupu prihvatljivih koncepcija treba respektovati i relevantne troškove. Ovi troškovi (prostor, oprema, radna snaga, – zavise od mnogih drugih (nekada i lokalnih²⁵) faktora uključujući: cenu rada, troškove prostora, cenu kapitala, zahtevani rok povraćaja uloženi investicija i dr.) mogu u koracima iteracije da isključe varijante koje ispunjavaju druge faktore.

Manuelni KS predstavljaju, u nizu zadataka u praksi, prihvatljiv izbor - tehnološki oblik, a posebno u situacijama kada ispunjavaju traženu proizvodnost, a cena sistema (niske investicije u hardver i softver) i visoka fleksibilnost u pogledu promene zahteva (obim komisioniranja, veličina asortimana i sl.) čine da ostvaruju značajne povoljnosti u odnosu na postavljene kriterijume. To su i osnovni razlozi za popularnost *manuelnih* KS i njihovu široku (praktično po brojnosti dominantnu)

²⁵ Primetno je da se automatizacija više primenjuje u zemljama zapadne Evrope nego u SAD. Razlozi za ovo leže u višoj ceni rada i zemljišta, kao i u ekonomskoj politici koja podstiče dugoročne investicije kapitala.

primenu u velikom broju skladišta u praksi²⁶. Treba naglasiti da *manuelne* KS prate i određene nepovoljnosti, a koje se pre svega ogledaju u pogledu lošijeg iskorišćenja prostora i niske produktivnosti radnika i manipulativne opreme (pre svega zbog velikog učešća vremena kretanja - i do 60% u ukupnom vremenu komisionog ciklusa). Pri razvoju varijantnih koncepcija navedeno treba imati u vidu, ali treba respektovati i činjenicu da se određene varijante u okviru *manuelnih* KS razlikuju u pogledu potencijala za smanjenje ovih nepovoljnosti. Takođe, mnoge od ovih nepovoljnosti mogu biti izbegnute ili minimizirane optimalnim uobličavanjem KZ, izborom podesnog layouta i primenom odgovarajućih operativnih strategija i tehničke podrške²⁷.

Zbog njihovog značaja, obima primene i drugih faktora značajnih za projektovanje u nastavku je dat prikaz razvoj i izbor pojedinih varijanti u okviru *manuelnih* KS.

Razvoj i izbor varijanti manuelnih KS

Nakon izbora globalnog tehnološkog oblika, i opredeljenja za *manuelne* KS (i u okviru njih za sisteme *čovek ka teretu*), potrebno je, radi dalje konkretizacije izbora, izabrati odgovarajuću varijantu, opredeljujući se u osnovi između dva koncepta odlaganja zahvaćene jedinice komisioniranja:

- K1-Pick to pallet,
- K2- Pick to belt.

Svaki od ovih konceptata pojedinačno pojavljuje se u nekoliko varijeteta nastalih kombinovanjem (izvodljivih) kompatibilnih tehnologija skladištenja i rukovanja u KZ, pri čemu određene kompatibilne kombinacije podrazumevaju i određeni (odgovarajući) prostorni tip zone – odnosno oblik fronta komisioniranja. Pregled tipičnih tehnološki izvodljivih kombinacija dat je u Tabeli 3.1.

²⁶ U radu [26] Autori navode procenu da je 80% skladišta u Zapadnoj Evropi zastupljen ovoj tipa KS.

²⁷ Pre svega informacionih tehnologija (detaljnije u Poglavlju 1)

Tabela 3.1 Kompatibilnosti tehnologije skladištenja i komisioniranja paketnih jedinica kod *Pick to pallet* i *Pick to belt* manualnih KS

TEHNOLOGIJA SKLADIŠTENJA U KZ	OBLIK FRONTA KOMISIONIRANJA	KONCEPT ZA KOMISIONIRANJE PAKETA		
		<i>K1-pick to pallet</i>		<i>K2-pick to belt</i>
Podno skladištenje - bar jedna paleta svake robe	Niska zona	Paletna kolica	Viljuškar komisioner u horizontalnoj ravni	Odlaganje na valjkasti/trakasti transporter
Selektivni paletni regal	Niska zona	Paletna kolica	Viljuškar komisioner u horizontalnoj ravni	Odlaganje na valjkasti/trakasti transporter
Selektivni paletni regal	Visoka zona	Viljuškar komisioner u vertikalnoj ravni	Man on board	Mezanin + odlaganje na valjkasti/trakasti transporter
Protočni paletni regal	Niska zona	Paletna kolica	Viljuškar komisioner u horizontalnoj ravni	Odlaganje na valjkasti/trakasti transporter
Protočne police	Niska zona			Odlaganje na valjkasti/trakasti transporter

Izbor pojedinačnih tehnologija moguće je izvršiti na bazi karakteristika parametara zadatka pre svega u pogledu zahteva za rukovanjem (tražnja za proizvodima) i nivoom dnevnog protoka. Primer jednog takvog alata za podršku pri izboru dat je u Tabeli 3.2.

Tabela 3.2 Parametri za izbor tehnologije skladištenja u KZ (izvedeno na bazi [86])²⁸

PARAMETRI PAKETNIH JEDINICA KOMISIONIRANJA	TEHNOLOGIJA SKLADIŠTENJA		
	PROTOČNE POLICE	SKLADIŠNI REGALI	
		SELEKTIVNI	PROTOČNI
<i>Veličina paketne jedinice (m³)</i>			
<0,003	*+	*	*
>0,003		*+	*+
<i>Dnevno zahteva za komisioniranjem</i>			
<1	*	*+	*
>1	*+	*+	*+
<i>Dnevni protok (m³)</i>			
<0,0003	*	*	
0,0003-0,027	*	*+	*
0,027-0,6		*+	*+
>0,6			*+
<i>Srednji nivo zaliha (m³)</i>			
>0,675	*+	*	
0,675-6,75		*+	*
> 6,75		*+	*+

U cilju daljeg razvoja varijantnih koncepcija i njihovog preciznije definisanja potrebno je ove izvodljive tehnološke kombinacije dovesti u vezu sa potencijalno primenjivim metodama komisioniranja. Pregled izvodljivih kombinacija dat je u tabeli 3.3.

²⁸ * označava izvodljivo , *+ označava optimalno

Tabela 3.3 Kompatibilne kombinacije tehnološkog i organizacionog oblika

KONCEPT		METOD KOMISIONIRANJA					
		MK1	MK2	MK3	MK4	MK5	MK6
K1- <i>pick to pallet</i>	K1a	*	*				
	K1b			*			*
K2- <i>pick to belt</i>				*			*
<p>MK1 - Pojedinačno (obrada jedne korisničke narudžbine)</p> <p>MK2 - Grupno (obrada više korisničkih narudžbina sa jednovremenim sortiranjem, <i>sort-while-pick</i>)</p> <p>MK3 - Grupno (obrada više korisničkih narudžbina sa naknadnim sortiranjem, <i>pick and sort</i>)</p> <p>MK4 - Zonski-pojedinačni (obrada jedne korisničke narudžbine u više zona, <i>pick and pass</i>)</p> <p>MK5 - Zonski-grupni (obrada više korisničkih narudžbina u više zona, <i>pick and pass</i>)</p> <p>MK6 - Zonski-grupni (obrada više korisničkih narudžbina u više zona jednovremeno, <i>wave</i>)</p>							

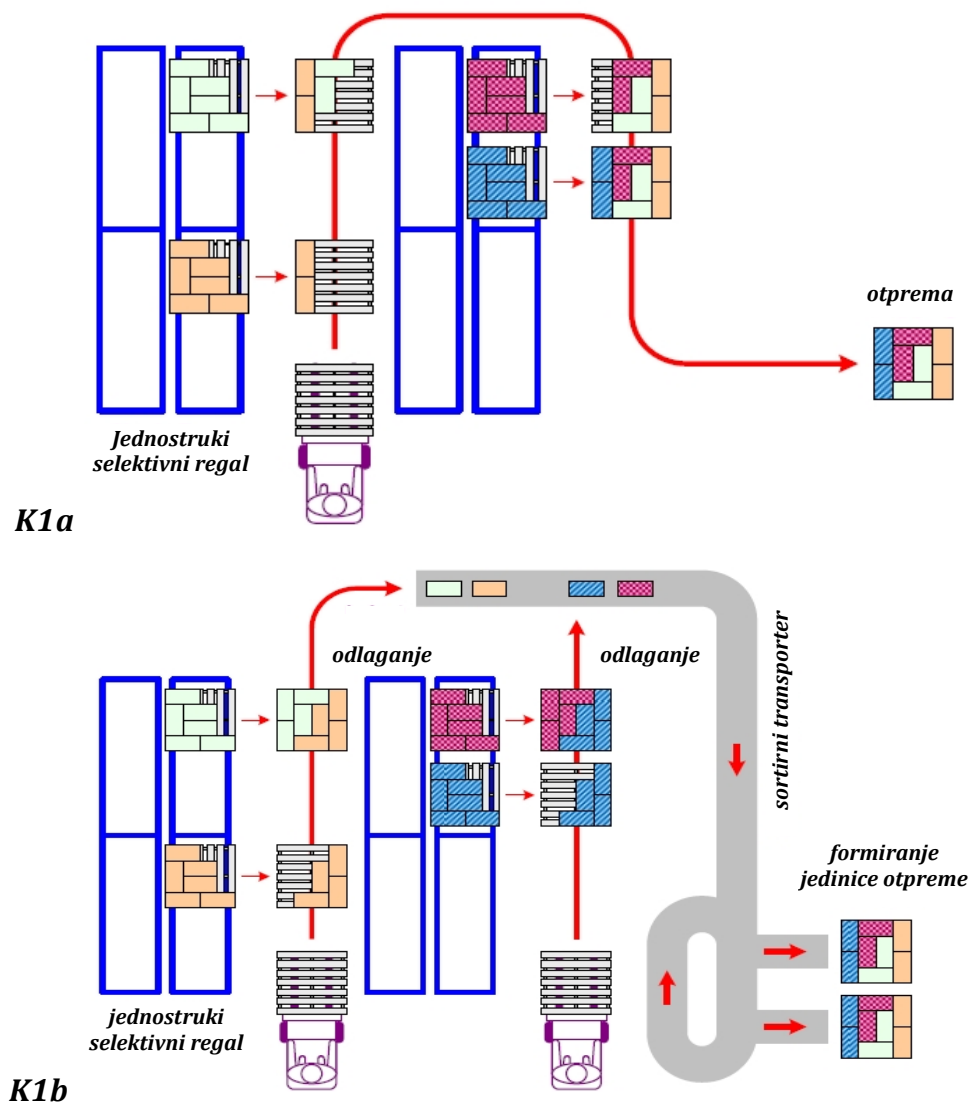
Nakon uvođenja, u razmatranje, metoda komisioniranja u okviru koncepta (K1) *pick to pallet* moguće je razlikovati dve varijante formiranja jedinice otpreme (zahtevanu prema narudžbini):

- K1a - sa formiranjem jedinice otpreme odlaganjem paketnih jedinica neposredno po zahvatu
- K1b - sa naknadnim formiranjem jedinice otpreme (najčešće sortiranjem)

S obzirom da je detaljniji prikaz ovih varijanti (slika 3.4) dat u poglavlju 1, ovde se ističu/ukazuje samo na neke osnovne odlike ovih varijanti bitne za razvoj i izbor varijanti koncepcije.

Koncept (K1a) omogućava istovremeno formiranje jedinice otpreme (mešovita paleta) u procesu komisioniranja i tipično se primenjuje u kombinaciji sa pojedinačnom obradom narudžbina (MK1). Ovo je naročito prisutno/pogodno za velike narudžbine (one koje sadrže više od 10 linija) kada je moguće kreirati efikasnu komisionu turu u skladištu [54]. Izuzetno, kada su narudžbine male, pre svega po volumenu (zapremini), i kapacitet sredstva/pomoćne jedinice

komisioniranja to omogućava/dozvoljava, moguće je primeniti i grupni metod obrade narudžbine sa jednovremenim sortiranjem (*sort – while- pick*) (MK2).



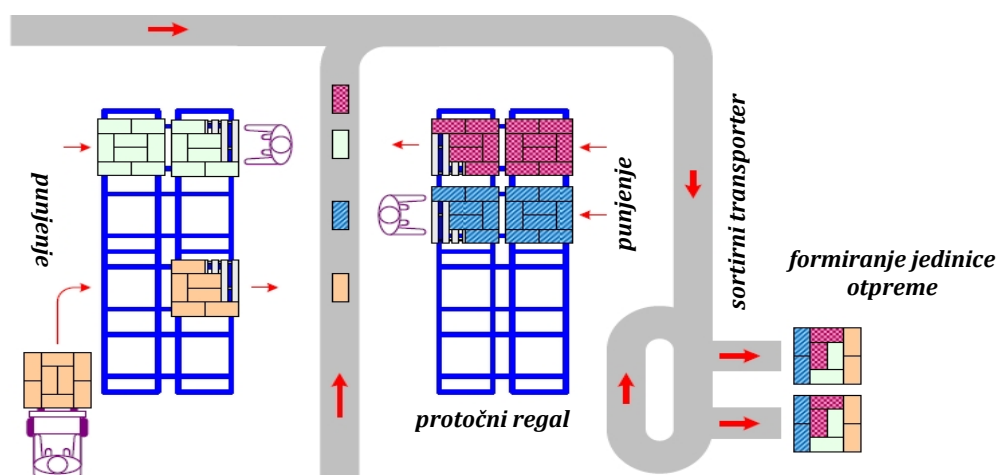
Slika 3.4 Varijantne kombinacije tehnologija i metoda komisioniranja paketnih jedinica (na osnovu²⁹)

Koncept (K1b) se primenjuje za ispunjenje grupe korisničkih narudžbina u varijantama sa jednom ili više zona, odnosno u kombinaciji sa metodima komisioniranja (MK3 i MK6 - *wave* respektivno). Realizacija procesa u okviru ovog koncepta podrazumeva da se pakete jedinice neposredno po zahvatu odlažu na

²⁹ Michael G. Kay: Lecture Notes for Production System Design-Spring 2009

nekoliko paleta (delovi grupnog naloga), a nakon toga palete se otpremaju do sortirne zone (*sortirnog sistema*) gde se u procesima sortiranja uspostavlja integritet narudžbine i formiraju jedinice otpreme (mešovite palete) shodno zahtevima korisnika.

Koncept (K2) (slika 3.5) se primenjuje za ispunjenje grupe korisničkih narudžbina u varijantama sa jednom ili više zona, odnosno u kombinaciji sa metodima komisioniranja (MK3 i MK6 - *wave* respektivno). Realizacija procesa u okviru ovog koncepta, takođe predviđa dvostepenost: prvo se u KZ (ili njenim delovima-radnim zonama) izdvajaju zahtevane količine određenih artikala direktno na transporter sa kontinualnim dejstvom (obično valjkasti ili trakasti transporter ili njihova kombinacija) koji ih dalje otprema do sortirne zone (*sortirnog sistema*). U ovoj zoni se realizuje integritet korisničkih narudžbina i formiraju odgovarajuće jedinice otpreme (mešovite palete) shodno zahtevima korisnika.



Slika 3.5 K2-Pick to belt²⁹

Pored opisanih specifičnosti u realizaciji procesa komisioniranja, svaki od prikazanih koncepata nosi različiti potencijal u smislu proizvodnosti, servis stepena, fleksibilnosti i dr., kao i različite zahteve u pogledu angažovanja resursa (prostor, ljudi, tehnologija) i sa tim povezanih troškova (investicionih, operativnih), i dr. Uvođenjem nekog od ovih kriterijuma pri izboru, a na način saglasan prethodno opisanoj metodologiji, broj varijanti se smanjuje. Kao primer

za grubo sagledavanje performansi pojedinih varijanti mogu da posluže izvori i podaci o proizvodnosti, inicijalnim troškovima i sl. (kao npr. Tabela 3.4 [37]).

Tabela 3.4 Pregled performansi pojedinih tehnologija za komisioniranje paketnih jedinica[37]; [ft (stopa)= 0.305m; K=1000; \$- USD]

TEHNOLOGIJE	INTENZITET KOMISIONIRANJA (paketnih jedinica/h)	TROŠKOVI
Viljuškar komisioner za horizontalni transport (<i>Pallet Jack</i>)	100-250	\$1K-\$10K / vozilo
Viljuškar za komisioniranje u vertikalnoj ravni (<i>Order Picker Truck</i>)	50-100	\$30K/vozilo
Komisioniranje na valjkasti transporter (<i>Pick to roller</i>)	125-250	\$1K/ft
Komisioniranje na trakasti transporter (<i>Pick to belt</i>)	250-400	4200/ft + \$2K/skretanju
Teret ka čoveku (<i>End-of-aisle AS/RS</i>)	200-300	\$300K do \$450K/prolaz
Automatsko komisioniranje paketnih jedinica (<i>Auto Extract</i>)	500-800	\$200K/jedinici
Komisioniranje slojeva paketnih jedinica (<i>Layer (Tier) Picking</i>)	1000-1500	\$150K/jedinici

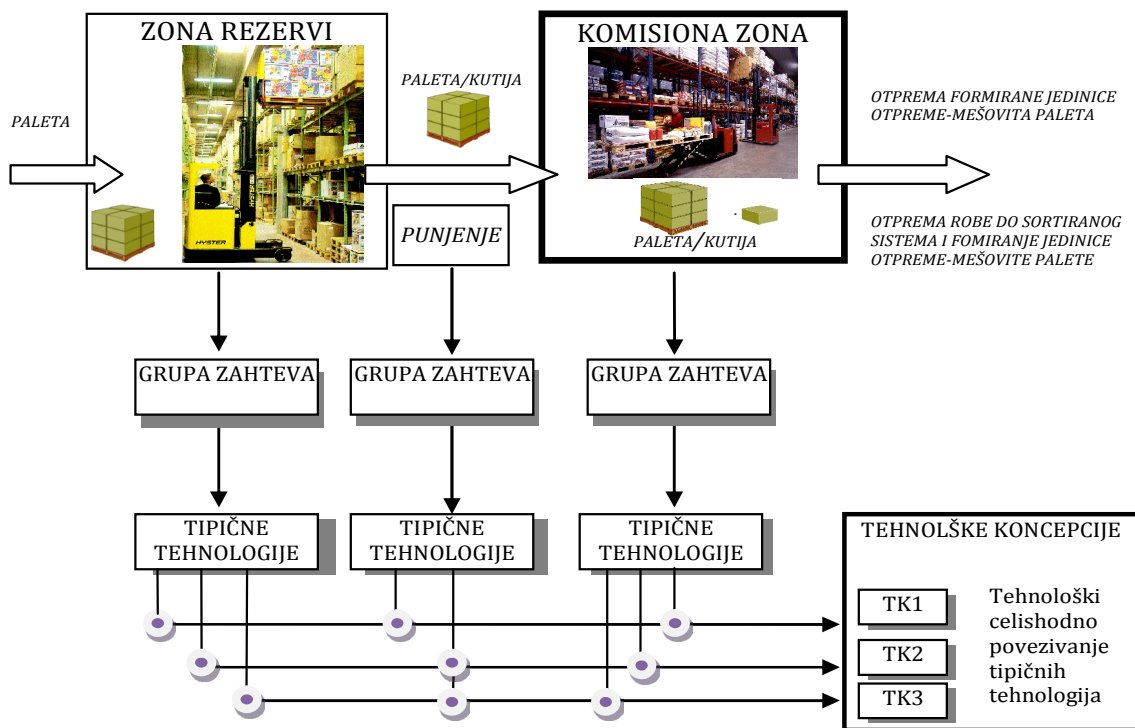
Pri projektovanju, zbog niske cene i jednostavnosti primene koncept (K1a) - uvek treba da predstavlja polaznu varijantu izbora, a posebno u slučaju asortimana do 100 artikala i sa srednjim nivoom zaliha do 3 paletne jedinice po artiklu [46]. Uključenje drugih koncepata (K1b; K2) koji podrazumevaju dvostepeni proces (u prvom koraku komisioniranje pa potom naknadno formiranje jedinice otpreme) zbog primene dodatnog *sortiranog sistema* zaslužuje detaljniju analizu koju treba sprovesti još u fazi projektovanja kada se definiše osnovna struktura DC (detaljnije diskutovano/opisano u Poglavlju 2). Kako drugi koncepti (K1b i K2) nisu oblast istraživanja u okviru ovog rada u nastavku su dati samo osnovni pravci analize kod projektovanja njihove primene.

Načelno posmatrano analiza bi trebalo na početku da odgovori da li postoje preduslovi za primenu grupnog metoda obrade narudžbina. To se sprovodi kroz definisanje karakteristika korisničke tražnje, zahtevanog servis stepena i

produktivnosti, a potom uz uključivanje drugih bitnih faktora: dodatnih investicija za transportere, sortirni sistem, informacione zahteve/tehnologije, organizaciju i upravljanje, a u cilju sagledavanja opravdanosti njihove primene. Tako na primer uvođenje koncepta (K2) u razmatranje iniciralo bi povećanje zahteva za proizvodnošću gde bi *pick to pallet* koncept morao da predvidi angažovanje dodatne radne snage, što bi dovelo do povećanje odgovarajućih troškova rada, a vrlo često i do obaranja pojedinačnog učinka komisionera zbog međusobnog ometanja i sl. Zbog toga bi osnovna analiza za odlučivanje o eventualnoj primeni koncepta *pick to belt* trebalo da odgovori (pokaže) da li su uštede u radu dovoljne da opravdaju troškove ovog koncepta (pre svega potrebnih investicija u mehanizaciju: transporteri, sortirni sistem i dr.). Potencijal za primenu koncepta *pick to belt* raste sa porastom zahteva za radnom snagom, porastom cene rada i porastom zahteva za proizvodnošću. Nekada su zahtevi za nivoom proizvodnosti takvih karakteristika (zahtevani visok broj jedinica/h, sa malim asortimanom koji je dominantan u ovom broju) da praktično direktno upućuju na primenu koncepta *pick to belt*.

Pri konačnom definisanju tehnološke koncepcije potrebno je pored grupe zahteva neposredno povezanih sa procesom komisioniranja u KZ uključiti i grupe zahteva procesa koji mu prethode, jer su oni pretpostavke njegovog (uspešnog) funkcionisanja. Ovo se odnosi pre svega na zahteve skladištenja rezervi robe i na zahteve punjenja KZ iz RZ i za ove grupe zahteva potrebno je predvideti odgovarajuća tehnološka rešenja. Pregled tipičnih tehnologija skladištenja paletizovanih tereta, potencijalno primenjivih u RZ, dat je u literaturi [78]. Proces generisanja i formiranja tehnološke koncepcije u ovom slučaju se sastoji u tehnološki celishodnom kombinovanju i povezivanju pojedinih *parcijalnih rešenja* – tipičnih tehnologija (slika 3.6). U okviru ovog postupka izbor prostornog organizovanja KZ, odnosno definisanja njenog odnosa sa RZ je vrlo bitno pitanje. Pri tome je *u osnovi potrebno odlučiti da li su KZ i RZ integrisane ili razdvojene*, pri čemu se između ove dve osnovne varijante nalazi čitav niz hibridnih rešenja i ona su detaljnije opisana u Poglavlju 1 ovog rada.

S obzirom na značaj pri projektovanju, u nastavku je prezentovan skup faktora prisutnih pri izboru prostornog oblika KZ.



Slika 3.6 Formiranje tehnološke koncepcije

Izbor prostornog oblik komisione zone

Izbor prostornog oblika KZ u principu zavisi od niza faktora koji mogu biti sa različitim nivoom kompleksnosti i međuzavisnosti. Ovaj problem, uprkos svom značaju, nije na odgovarajući način tretiran i rešen u literaturi. Uglavnom se ova problematika u jednom broju radova (npr. [38], [43] i [75]) usputno komentariše i pri tome iznose neki principijelni stavovi o potrebi formiranja KZ i njenom odvajanju od RZ u cilju povećanja produktivnosti procesa komisioniranja, ali se ne ide dalje od toga. Izuzetak u ovom pogledu predstavljaju radovi [44] i [31]. Gudehus (1974) [44] je analizirao promenu specifičnih skladišnih troškova³⁰ varijantnih prostornih oblika KZ u funkciji promene veličine srednjeg nivo zaliha po artiklu. Đurđević i Miljuš [31] su na sličan način ispitivali uticaj promene

³⁰ Troškovinom analizoma su obuhvaćeni: troškovi prostora, troškovi opreme i troškovi rada.

veličine asortimana na promenu troškova. I jedna i druga analiza su ukazala na uticaj ovih faktora i postojanje određene tačke/vrednosti (nivoa zaliha/veličine asortimana) kada je smisleno/svrshodno razdvajati ove dve zone, ali je nju teško precizno odrediti i postaviti opšte važeće kriterijume, jer zavisi i od niza drugih specifičnih faktora. Ovde ipak treba napomenuti da se za praktično rešavanje problema neka pravila i pravci u odlučivanju mogu uspostaviti: (i) U uslovima malog asortimana i niskog nivoa zaliha po artiklu nije racionalno razdvajati ove dve zone; (ii) Sa porastom nivoa zaliha (3-8 paletnih jedinica) i asortimana ulazi se u oblast primene hibridnih prostornih oblika zone, pri čemu će izbor konkretne varijante u okviru ovog tipa zavisiti i od drugih faktora³¹ (obima komisioniranja, frekvencije popunjavanja KZ i sl.). Dalji porast nivoa zaliha po artiklu i ukupnog nivoa zaliha (ukupnog asortimana) otvara pitanje odvajanja ovih zona, a to posebno u uslovima kada je moguće ostvariti niske troškove skladištenja u RZ primenom specijalizovane tehnologije (npr. visoko-regalna skladišta).

Shodno predstavljenoj proceduri, na drugom nivou, pristupa se uobličavanju - bližem/detaljnijem definisanju prethodno izabranih TKKZ (slika 3.1). Iz svrshodnih razloga, prilagođenih praktičnim potrebama, predmet daljih analiza ograničen je na grupu TK -znatno/mnogobrojno zastupljenih u praksi.

3.2 Uobličavanje TKKZ

U okviru procesa uobličavanja TKKZ, kako je već prethodno istaknuto, određivanje *veličine/kapaciteta* KZ sa pripadajućim odlukama (koja roba u kojoj količini „ide“ u KZ) ima centralno mesto. Različite veličine KZ imaju različit efekat/uticaj na operativne troškove i performanse procesa komisioniranja (proizvodnost, servis stepen, i dr.) što je detaljnije opisano u Poglavlju 2, tako da je određivanje optimalne veličine KZ pod uticajem je većeg broja faktora. Jedan od posebno značajnih/uticajnih faktora u tom smislu je i sama TK u okviru koje se ovaj zadatak

³¹ Pregled nekih kriterijuma za preciznije uređenje ovog tipa KZ dat je u tabelama (Tabela 1.3 i Tabela 1.4)u Poglavlju 1.

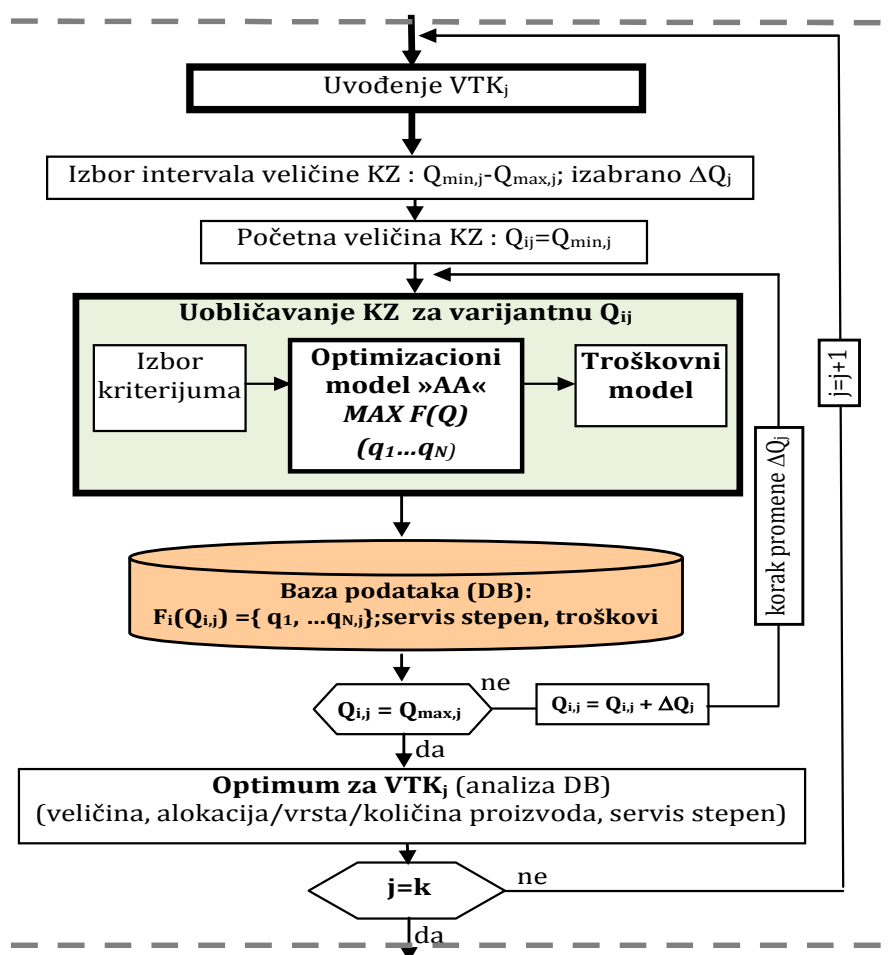
rešava. TK definiše način realizacije procesa komisioniranja i popunjavanja KZ, i na taj način određuje bitne aspekte zadataka: ciljeve, zahteve, ograničenja i dr. Za slučaj TK gde se proces komisioniranja realizuje isključivo u KZ, problem ima drugi oblik u odnosu na TK koja ostavlja mogućnost komisioniranja i u RZ. Takođe određene TK omogućavaju jednovremeno popunjavanje KZ iz RZ i u toku komisioniranja, bez njegovog značajnog ometanja, dok je kod drugih TK ovo ometanje prisutno i potrebno je ove događaje svesti na minimum. Kod takvih TK to najčešće znači da je potrebno formirati sadržaj u KZ-odrediti njen kapacitet sa pripadajućim odlukama (koja roba u kojoj količini) na način da u što većoj meri ispuni zahteve u predstojećem periodu komisioniranja, odnosno smanji interventno punjenje u tom periodu. Ova situacija, odnosno tip TK, zbog frekventnog prisustva u praksi, predstavlja u ovom radu predmet dalje analize i rešavanja.

Kritičke analize referentnih radova posvećenih rešavanju FRP (kako se ovaj problem označava u anglosaksonskoj literaturi) data u Poglavlju 2, ukazala je da razvijeni modeli nisu pogodni za direktnu primenu za slučaj posmatranog tipa TK. Osnovno ograničenje za njihovu primenu, odnosi se na pretpostavku o kontinualnosti prostora/kapaciteta KZ, koji u slučaju posmatranog tipa {TKj} nije prihvatljiv, jer se ovde radi o diskretnim kapacitetima KZ izraženih u paletnim mestima. Dakle, na jednom paletnom mestu moguće je da se u posmatranom trenutku vremena nalazi samo jedna vrsta robe. Takođe, u jednom ciklusu popunjavanja KZ iz RZ obavlja se popuna jednom robom-jednom paletnom jedinicom, što predstavlja razliku u odnosu na pretpostavke analiziranih modela iz literature. Iz navednih razloga, ovde se, uvažavajući specifičnosti TK kao i raspoloživost podataka u ovoj fazi projektovanja, daje postupak koji omogućava rešavanje FRP uz primenu odgovarajućih modela podrške.

3.2.1 Postupak za određivanje veličine KZ

Za određivanje optimalnih vrednosti *veličine/kapaciteta KZ* primenjuje se *iterativni postupak* (slika 3.7). U prvom koraku, za prethodno izabranu/definisanu

varijantnu TK_j i za polaznu veličinu - skladišni kapacitet KZ ($Q_{min,j}$) primenom *optimizacionog modela AA* (određuje se koja roba (iz skupa N) i u kojoj količini ide u KZ). Za takav skup odluka primenom *troškovnog modela* određuju se odgovarajući efekti i memorišu u *bazi podataka* (DB). Za istu TK , postupak se ponavlja za narednu veličinu KZ (povećanu za ΔQ_j) - broj iteracija odgovara broju diskretnih stanja veličina KZ do dostizanja $Q_{max,j}$; po dostizanju $Q_{max,j}$ postupak se završava za varijantnu TK_j . Analizom rezultata iz DB određuje se najpovoljniji oblik - najpogodnija kombinacija (veličina KZ, alocirani proizvod/količina po proizvodu, servis stepen i td.) u okviru TK_j . Postupak se sprovodi za sve varijantne TK_j (do ispunjenja uslova $j=k$), a zbog značaja u daljem tekstu sledi detaljniji opis karakterističnih koraka predloženog postupka.



Slika 3.7 Drugi nivo procedure - faza detaljnog projektovanja- uobličavanje za VTKj

Izbor intervala veličine KZ: $Q_{min,j} \div Q_{max,j}$

Prema uslovima i ograničenjima TK_j za veličinu $KZ-Q_{min,j}$ je usvojen broj paletnih mesta koji odgovara broju artikala koji se komisioniraju u izabranom periodu komisioniranja (min. jedno paletno mesto po svakom artiklu). Maksimalan broj paletnih mesta $Q_{max,j}$ odgovara ukupnoj tražnji za proizvodima u periodu komisioniranja (izraženoj u paletnim jedinicama). Korak promene kapaciteta ΔQ_j (izraženo u broju paletnih mesta) prilagođen je tehničko-tehnološkim karakteristikama skladišne opreme i prostora za KZ u TK_j i definiše broj potrebnih iteracija.

Uobličavanje KZ za varijantno Q_{ij}

Pri razvoju savremenih komisionih sistema pored troškova njegovog formiranja i rada, *servis stepen*³² postaje jedan od najznačajnijih kriterijuma. U okviru njega minimizacija potrebnog vremena za realizaciju narudžbine se vrlo često postavlja kao cilj. Posmatrano u kontekstu izabranih TK ostvarenje ovako postavljenog cilja biće maksimizirano ako sistem (KZ sa svojim karakteristikama) omogući da se obrada narudžbina u toku *perioda komisioniranja* realizuje uz minimalni broj zahteva za interventnim punjenjem KZ iz RZ. Na ovaj način povećava se ne samo efikasnost komisionera (zbog manjeg ometanja u radu usled interventnog punjenja KZ) već se povećava i bezbednost njegovog rada u KZ.

Na bazi ovako postavljenih i usvojenih kriterijuma, za varijantni kapacitet KZ rešava se optimizacioni zadatak AA. U postupku rešavanja ovog zadatka traži se rešenje koje dovodi do maksimizacije ispunjenja zahteva za komisioniranjem $F(Q)$ iz KZ, koje se ostvaruje minimiziranjem potrebnog broj interventnih punjenja KZ paletama iz RZ u toku perioda komisioniranja. Potrebno je posebno naglasiti da se za analizirane TK_j *optimizacioni zadatak AA* svodi samo na problem *alokacije*, jer se sve robe komisioniraju samo iz KZ, pa otuda moraju biti i zastupljene u njoj u periodu komisioniranja. *U takvim situacijama glavna pretpostavka je da postoje*

³² *Servis stepen* predstavlja složenu karakteristiku sistema koja ukazuje na kvalitet usluge koje sistem obezbeđuje njegovim korisnicima. Ono obično uključuje: vreme odziva, tačnost, verovatnoću realizacije zahteva i dr. parcijalne izmeritelje funkcionisanja sistema.

podaci o zahtevanim proizvodima u tom periodu - period komisioniranja (što je detaljnije razmatrano kod opisa pretpostavki modela).

Za rešavanje ovako definisanog problema primenjuje se *optimizacioni model alokacije* koji je rešen primenom *dinamičkog programiranja*. Za svaki skup odluka, rešenja *optimizacionog modela*, (kapacitet KZ, količina proizvoda u KZ (q_1, \dots, q_N), - koji dovode do minimalnog broja interventnih punjenja) odgovarajući efekti se procenjuju primenom *troškovnog modela*. Detaljniji opis ovako definisanog *optimizacionog modela alokacije* i *troškovnog modela* je dat u nastavku.

3.2.2 Optimizacioni model alokacije

Za slučaj izabranih TK_j i saglasno izabranim kriterijumima model je razvijen pod sledećim pretpostavkama:

- *layout*³³ KZ i RZ je poznat,
- svi zahtevi za komisioniranjem u posmatranom periodu (period komisioniranja) realizuju se u KZ,
- količina robe alocirana u KZ jednaka je najmanje jednoj paleti te robe,
- pre perioda komisioniranja ima dovoljno vremena da se obavi popuna potrebnom količinom robe celokupne KZ,
- za slučaj nedostatka određene robe u KZ, interventna punjenja KZ obavljaju se u toku perioda komisioniranja,
- količina robe u jednom ciklusu interventnog punjenje jednaka je jednoj paleti te robe, i
- raspolaže se podacima o tražnji za komisioniranjem za svaku od roba u periodu komisioniranja, izraženom brojem paletnih jedinica i verovatnoćama sa kojom taj broj paletnih jedinica zadovoljava tražnju.

³³ *layout* KZ, je kreiran na bazi rezultata i preporuka izvedenih iz analize referentne literature [20], [21], [26], [60], [63], [64] i [65] čiji je pregled dat u Poglavlju 2.

Za razvoj modela korišćene su sledeće oznake:

- N - broj različitih roba koje idu u KZ,
- U_i - slučajna promenljiva koja predstavlja tražnju za robom i ($i=1, \dots, N$) izraženu u broj paletnih jedinica u periodu komisioniranja T ($T=$ smena, dan, nedelja i sl.),
- $U_i=1, \dots, m_i$,
- m_i - maksimalni broj paletnih jedinica robe i , za koji se može očekivati zahtev u periodu komisioniranja,
- $P_i(U_i)$ - verovatnoća sa kojom slučajna promenljiva (U_i) zadovoljava tražnju za robom i u periodu komisioniranja,
- R_i - slučajna promenljiva koja predstavlja broj punjenja robe i u periodu komisioniranja,
- z - predstavlja broj jedinica dodeljen u KZ pre perioda komisioniranja,
- Q - kapacitet KZ (izražen u broju paletnih mesta),
- q_i - broj dodatnih paletnih mesta u KZ dodeljen robi i , $i=1, \dots, N$,
- $P_i(q_i)$ - verovatnoća zadovoljenja tražnje za robom i iz KZ ako je dodeljeni broj paletnih mesta q_i , $q_i=1, \dots, m_i-1$; $P_i(q_i=m_i-1)=1$.
- $C_k(Q_{ij})$ - specifični troškovi komisioniranja;
- n_d - ukupan broj narudžbina u posmatranom periodu
- L_{KZ} - dužina komisionog puta; odgovara broju paletnih mesta (kapacitetu KZ) u KZ izraženo u (km);
- V_k - srednja brzina kretanja komisionera u KZ (km/h);
- P_k - cena rada jednog komisionera svedena na posmatrani period (eur/čas).
- $C_r(Q_{ij})$ - specifični troškovi punjenja ³⁴KZ u posmatranom periodu vremena
- $\sum_{i=1}^N R_i$ - očekivani broj punjenja za sve robe u posmatranom periodu;
- t_r - cena jednog punjenja (eur/manipulaciji)
- $C_p(Q_{ij})$ - specifični troškovi prostora i opreme u KZ

³⁴ Odnose se na dopune sadržaja u KZ u periodu komisioniranja

- t_{pm} - jedinična cena po paletnom mestu (prostor+oprema) (eur/paletnom mestu) za posmatrani period
-

Tabela 3.5 Podaci o tražnji za robama u periodu komisioniranja ³⁵

U_i (slučajna promenljiva koja predstavlja tražnju za robom i izražena je brojem paleta)	$P_i(U_i)$ (verovatnoća sa kojom slučajna promenljiva (U_i) zadovoljava tražnju) po robama			
	Roba			
	1	2	...	N
1	$P_1(U_1=1)$	$P_2(U_2=1)$...	$P_N(U_N=1)$
2	$P_1(U_2=2)$...		
...	...			

Pretpostavlja se da je (u merodavnom periodu) zahteve za određenom robom i (u paketnim jedinicama) moguće opisati zakonom normalne raspodele verovatnoća $N_i \sim (\mu_i, \sigma_i)$; (na osnovu tražnje za komisioniranjem robe i i zahteva za određenom količinom te robe). Takođe je poznat za sve robe ($i=1, \dots, N$) i broj paketnih jedinica po/na paleti (np_i).

Do verovatnoće $P_i(U_i)$, sa kojom U_i (slučajna promenljiva koja predstavlja tražnju za robom i izražena je brojem paleta) zadovoljava tražnju (slika 3.8), dolazi se pomoću relacije:

$$P(U = 1) = P(X \leq np) = P\left(z \leq \frac{np - \mu}{\sigma}\right) = \Phi(z) + 0,5 \quad (1)$$

do vrednosti (% procenat zadovoljenja) se dolazi iz Tabele za vrednosti normirane

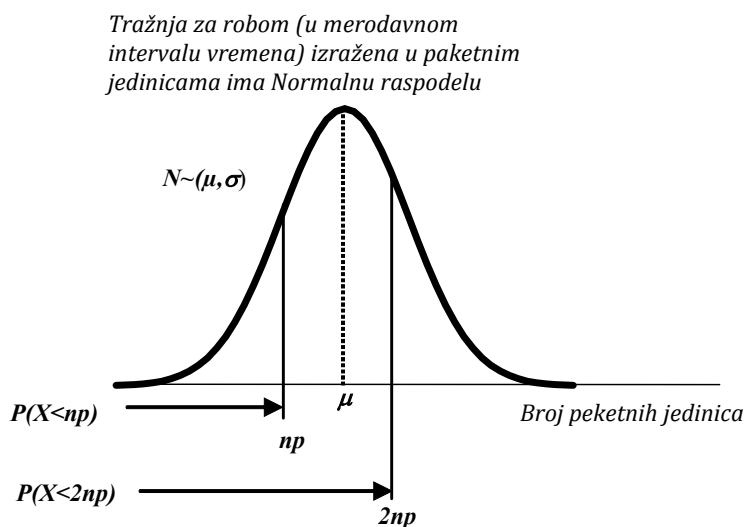
Laplasove funkcije: $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu;$

³⁵ Gde je: $P_i(U_i=m_i) = 1; 0 < P_i(0 < U_i < m_i) < 1$

za:

$$P(U = 2) = P(X \leq 2np) = P\left(z \leq \frac{2np - \mu}{\sigma}\right) = \Phi(z) + 0,5 \quad (2)$$

do vrednosti (%) se dolazi na isti način kao u prethodnom slučaju i tako do $P(U=m)=1$



Slika 3.8 Prikaz određivanja stepena zadovoljenja na osnovu raspodele tražnje

Tehnološkom koncepcijom predivideno je da se sve tražene robe pojave u KZ u količini od najmanje jedne paletne jedinice te robe. Prihvatanjem ovog ograničenja problem KZ svodi se na problem alokacije preostalog prostora (kada se raspoloživi kapacitet KZ umanja za broj paletnih mesta različitih roba u KZ) sa ciljem da očekivani broj interventnih punjenja u komisionom periodu bude minimalan. Potreban broj interventnih punjenja KZ u periodu komisioniranja zavisn je od verovatnoća sa kojim alocirane količine roba ispunjavaju tražnju u tome periodu. U skladu sa navedenim stavom moguće je ovaj problem postaviti kao problem alokacije prostora (alociranju preostalih paletnih mesta u KZ na robe) tako da verovatnoća zadovoljenja zahteva iz KZ bude maksimalna.

Optimizacioni model alokacije tada ima sledeći oblik:

$$\max F = \prod_{i=1}^N P_i(q_i) \quad (3)$$

tako da:

$$\sum_{i=1}^N q_i = S \quad (4)$$

$$q_i \geq 0 \quad \text{za svako } i \quad (5)$$

$$S = Q - N \quad (6)$$

Ograničenje (6) predstavlja ograničenje dodatnim kapacitetom KZ s obzirom da je svakoj od roba ($i=1, \dots, N$) dodeljeno bar jedno paletno mesto u KZ.

$$\max q_i = m_i - 1, \text{ ako je } m_i \leq Q - N \quad (7)$$

Rešenjem ovog modela dolazi se do optimalne alokacije roba ($q_i^* = 0, \dots, m_i - 1$), za izabranu vrednost kapaciteta KZ. Do ukupnog broja paletnih mesta alociranih za pojedine robe u KZ dolazi se preko:

$$z_i^* = q_i^* + 1 \quad (8)$$

Primenom iterativne procedure za izabrane vrednosti kapaciteta ($Q = Q_{min} \div Q_{max}$) dolazi se do skupa optimalnih vrednosti alokacije i verovatnoća opsluge KZ. Na bazi dobijenih optimalnih vrednosti za alokaciju roba moguće je odrediti i ukupan očekivani broj interventnih punjenja u periodu komisioniranja za sve robe:

$$\sum_{i=1}^N R_i \quad (9)$$

Uključujući u izraz (9) broj očekivanih interventnih punjenja jedne robe za izabrani kapacitet KZ, koji se računa preko izraza:

$$R_i = \sum_{k=z+1}^{m_i} (k - z) \cdot P(U_i = k) \quad (10)$$

Za rešavanje modela alokacije na raspolaganju stoje brojne tehnike - od totalne enumeracije (u slučaju problema manjih dimenzija), preko Lagranžeovog množitelja, dinamičkog programiranja i heurističkih procedura [43,47, 76, 77].

Pored ovog skupa podataka za konačno dimenzionisanje (određivanje kapaciteta) KZ potrebno je u analizu uključiti i druge izmeritelje. Jedan od pogodnih pristupa za određivanje optimalne veličine KZ zasnovan je na primeni *troškovnog modela*.

3.2.3 Troškovni model

Troškovni model omogućava procenu troškova *komisioniranja* i *punjenja*, kao osnovnih troškova rada u KZ, i *troškova formiranja* KZ (troškovi prostora i opreme) i njih je za potrebe dimenzionisanja potrebno predstaviti u funkciji od veličine KZ.

Troškove komisioniranja (C_k) u KZ je moguće za posmatrani tip TK odrediti uz pretpostavku da komisioner pri ispunjenju narudžbine prolazi pored svih lokacija u KZ, (što je uobičajeni režim rada kod KZ u DC zbog karakteristika narudžbina tipično sa velikim brojem linija), u funkciji dužine³⁶ komisionog puta (koji zavisi od veličine KZ). Pored toga, za procenu ovih troškova, potrebno je raspolagati podacima vezanim za brzinu kretanja i cenu rada komisionera. Izraz za procenu troškova komisioniranja je dat relacijom:

$$C_k(Q_{ij}) = n_d \frac{L_{KZ}}{V_k} p_k \quad (\text{eur} / \text{period}) \quad (11)$$

Troškove punjenja (C_r) moguće je odrediti u funkciji potrebnog broja punjenja (iz izraza (9) i (10)) (ovaj broj zavisi od veličine/kapaciteta KZ) i cene jednog punjenja (eur/punjenju).

³⁶ Vreme za komisioniranje jedne narudžbine sastoji se od nekoliko komponenti: kretanja ili vožnje između lokacija robe, izdvajanje robe i ostalih aktivnosti. Kretanje pri komisioniranju predstavlja ključnu aktivnost koja se uzima u razmatranje. U manuelnim KS (*čovek-ka-teretu*) ovo vreme je linerana funkcija pređenog rastojanja.

$$C_r(Q_{ij}) = \sum_{i=1}^N R_i t_r \quad (\text{eur / period}) \quad (12)$$

Pri svakom interventnom punjenju se mogu javiti i dodatni troškovi zbog ometanja/usporevanja rada komisionera³⁷.

Troškovi prostora i opreme (C_p) su direktno proporcionalni broju paletnih mesta (veličini KZ) i jediničnj ceni (prostora i opreme) po paletnom mestu.

$$C_p(Q_{ij}) = Q_{ij} t_{pm} \quad (\text{eur / period}) \quad (13)$$

Do izraza za ukupne troškove dolazi se sumiranjem ovih parcijanih troškova (11-13):

$$C_u(Q_{ij}) = C_k(Q_{ij}) + C_r(Q_{ij}) + C_p(Q_{ij}) \quad (\text{eur / period}) \quad (14)$$

$$C_u(Q_{ij}) = n_d \frac{L_{KZ}}{V_k} p_k + \sum_{i=1}^N R_i + Q_{ij} t_{pm} \quad (\text{eur / period}) \quad (14a)$$

Dobijeni rezultati se čuvaju u odgovarajućoj *bazi podataka* DB. Postupak se ponavlja do ispunjenja uslova da je dostignut $Q_i = Q_{\max}$. Radi dobijanja optimuma, rezultati iz DB se analiziraju, a optimalno rešenje veličine KZ se dobija na osnovu minimuma funkcije ukupnih troškova:

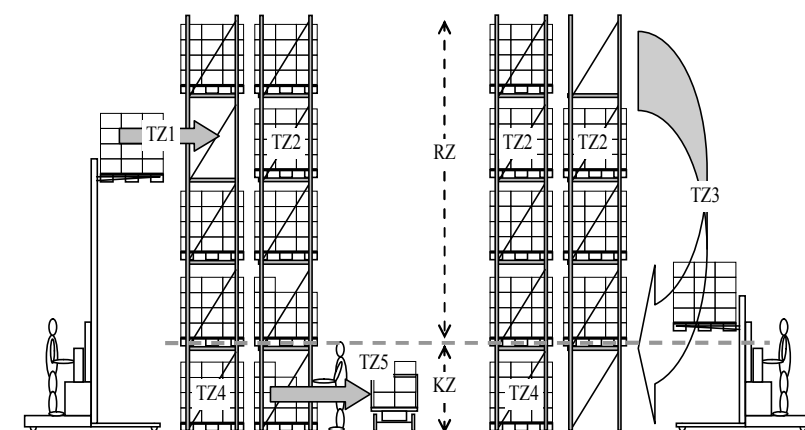
$$\min_{Q_i} \{C_u(Q_{ij})\} \quad (15)$$

U narednoj tački obavljeno je testiranje modela na primeru za prethodno usvojenu tehnološku koncepciju.

³⁷ Ove troškove moguće je iskazati cenom vremena čekanja komisionera; vreme čekanja odgovara trajanju jedne operacije punjenja.

3.3 Demonstracija primene predložene procedure

Radi demonstracije predložene procedure u nastavku je dat prikaz njene primene na jednom karakterističnom zadatku projektovanja KZ u DC. Polazi se od pretpostavke da je u DC izabrana TKKZ bazirana na primeni vertikalne podele paletnog regala- tip (Ha) i koncept *pick to pallet*, predstavljena na slici 3.9. Prikaz realizacije osnovnih tehnoloških zahteva u okviru ove TK dat je na slici 3.10.



Slika 3.9 Uprošćen prikaz TKKZ – (vertikalna podela paletnog regala: tip Ha)

TE \ TZ	Sredstva		Paletni regal		Radna snaga	
	Viljuškar	Viljuškar komisioner za horizontalni transport	Rezervna zona	Komisiona zona	Viljuškarista	Komisioner
TZ1 Uskladištenje paleta	*				*	
TZ2 Skladištenje paleta			*			
TZ3 Popunjavanje komisione zone iz zone rezervi	*		*	*	*	
TZ4 Skladištenje paleta koje su predmet komisioniranja				*		
TZ5 Komisioniranje iz komisione zone		*				*

Slika 3.10 Prikaz tehnološke koncepcije korespondentnom matricom tehnoloških zahteva (TZ) i tehnoloških elemenata (TE)

Ova TK razvijena je pod pretpostavkama da se proces komisioniranja realizuje samo u KZ i da su količine u kojoj se izdvaja roba, u jednom uzimanju, manje od sadržaja čitave palete (u suprotnom razdvajanje ove dve zone ne bi imalo smisla). Ovom TK predviđa se i takva organizacija rada da se punjenje KZ robama (paletnim jedinicama sa robom) koje mogu biti sadržaj narudžbina u predstojećem periodu komisioniranja obavlja pre tog perioda (taj period³⁸ može biti definisan kao jedna radna smena, dan, nekoliko dana, nedelja i sl. U slučaju eventualnog nedostatka robe u KZ za vreme perioda komisioniranja obavlja se ineterventno punjenje robom (spuštanjem palete sa traženom robom) iz RZ.

Prema predstavljenoj proceduri izabrana TK se uvodi u dalji postupak. On se sastoji od više koraka koji se u narednom tekstu detaljnije predstavljaju.

3.3.1 Testiranje modela na primeru

U cilju testiranja optimizacionog modela alokacije rešavan je primer alociranja raspoloživog prostora u KZ na dvadeset roba³⁹/(robnih grupa) tako da verovatnoća zadovoljenja zahteva za komisioniranjem bude maksimalna.

Pretpostavljeno je sledeće:

- pre perioda komisioniranja alocira se prostor u KZ na robe za kojom se očekuje tražnja u tom periodu,
- sva komisioniranja paketnih jedinica robe (TZ5) obavljaju se sa paleta iz KZ (donji nivo paletnih regala). Ovo istovremeno znači da sva roba kojom se zadovoljava tražnja mora proći kroz KZ,
- u slučaju nedostajuće količine robe u periodu komisioniranja obavlja se interventno punjenje (spuštanjem palete sa traženom robom) iz gornjih nivoa paletnih regala – RZ (TZ3),

³⁸ Utvrđivanje ovog perioda predstavlja poseban optimizacioni zadatak/problem koji se pretpostavlja da je rešen.

³⁹ Primenom prethodne analize podataka potrebno je doći do reprezentnih grupa (njihovog broja) koje će u najboljoj meri odslikati/opisati zahteve prema procesu komisioniranja u posmatranom periodu.

- s obzirom da je jedinica skladištenja u KZ paleta, to istovremeno znači da svaka od roba u periodu komisioniranja u KZ mora da ima bar jedno paletno mesto,
- poznata je i data u Tabeli 3.6, očekivana tražnja za robama u periodu komisioniranja.

Tabela 3.6 Podaci o tražnji za robama u analiziranom periodu komisioniranja (prikazane su vrednosti $P_i(U_i)$ verovatnoće sa kojom slučajna promenljiva (U_i) zadovoljava tražnju po robama)⁴⁰

Roba U_i	$P_i(U_i)$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.52234	0.87096	0.05928	0.06487	0.08369	0.58086	0.00214	0.97159	0.07656	0.63579
2	1	1	0.96983	1	1	1	0.99999	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Roba U_i	$P_i(U_i)$									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.02646	0.02732	7.92E-09	0.00469	0.00043	0.0003	1.55E-08	0.00025	0.14042	0.00011
2	1	0.99195	0.09606	0.99995	0.99957	0.92930	0.14199	0.99883	0.99777	0.82276
3	1	1	0.99883	1	1	1	0.99965	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pošto je tehnološkom koncepcijom predviđeno da se svakoj od traženih roba apriori dodeli po jedno paletno mesto u KZ zadatak alokacije ima sledeću formulaciju:

Kako alocirati preostali raspoloživi broj paletnih mesta u KZ na robe tako da verovatnoća zadovoljenja tražnje iz KZ bude maksimalna?

Za ovako postavljeni zadatak *optimizacioni model alokacije*(3)-(6) se transformiše u sledeći oblik:

$$\max f = \prod_{i=1}^{20} P_i(q_i) \quad (16)$$

⁴⁰ U_i . tražnja za robom i izražena je brojem paleta

tako da

$$\sum_{i=1}^{20} q_i = S \quad (17)$$

$$q_i \geq 0 \text{ za svako } i \quad (18)$$

$$\max q_i = m_i - 1, \text{ ako je } m_i \leq Q-20 \quad (19)$$

3.3.2 Rešavanje optimizacionog modela

Prethodno postavljen problem rešen je primenom *dinamičkog programiranja*. Dinamičko programiranje zadatak optimizacije svodi na primenu rekurentnih relacija. Osnovna rekurentna funkcija je oblika:

$$f_n^*(s, q_n) = \max_{q_n \leq S} \{ P_n(q_n) \cdot f_{n+1}^*(s - q_n) \} \quad (20)$$

gde je

$$S = (0, 1, \dots, Q - N), i \quad (21)$$

$$n = 1, 2, \dots, 20 - \text{tekuća etapa.} \quad (22)$$

Za slučaj ovog problema u primeni dinamičkog programiranja robe su predstavljale etape. Promenljiva upravljanja q_n ($n=1,2,\dots$) označavala je broj mesta za alokaciju u etapi n , a stanje S ($S=Q-20$) je predstavljalo broj raspoloživih paletnih mesta u KZ za dodeljivanje u tekućoj i preostalim etapama. $P_n(q_n)$ je predstavljalo meru efektivnosti od alokacije q_n paletnih mesta.

Problem je rešavan u iterativnoj proceduri sa promenom kapaciteta KZ u opsegu od ($Q=20-54$) paletnih mesta sa korakom diskretizacije od dva paletna mesta.

Složenost računanja primenom dinamičkog programiranja može se predstaviti kao ($N \times S \times S$), gde u posmatranom primeru N predstavlja broj različitih roba, a S broj raspoloživih mesta u KZ. Radi ilustracije složenost računanja primenom totalne

enumeracije iznosila bi reda veličina (N^6), što eliminiše primenu ovu tehnike čak i u slučajevima veličine navedenog problema. Program⁴¹ za opisani model razvijen je u programskom jeziku PYTHON 2.5. Program za rešavanje ovog modela alokacije (baziran na primeni dinamičkog programiranja) moguće je primeniti na probleme većih dimenzija (i do nekoliko hiljada različitih roba), sa kakvim se po pravilu sreću projektanti pri rešavanju realnih problema.

3.3.3 Ulazni podaci i prikaz rezultata

Ulazni parametri po varijantama su dati u Tabeli 3.7. Za Varijantu 1, izlazni rezultati su dati u nastavku (tabela 3.8 i slika 3.11), a za ostale varijante u Prilogu A.

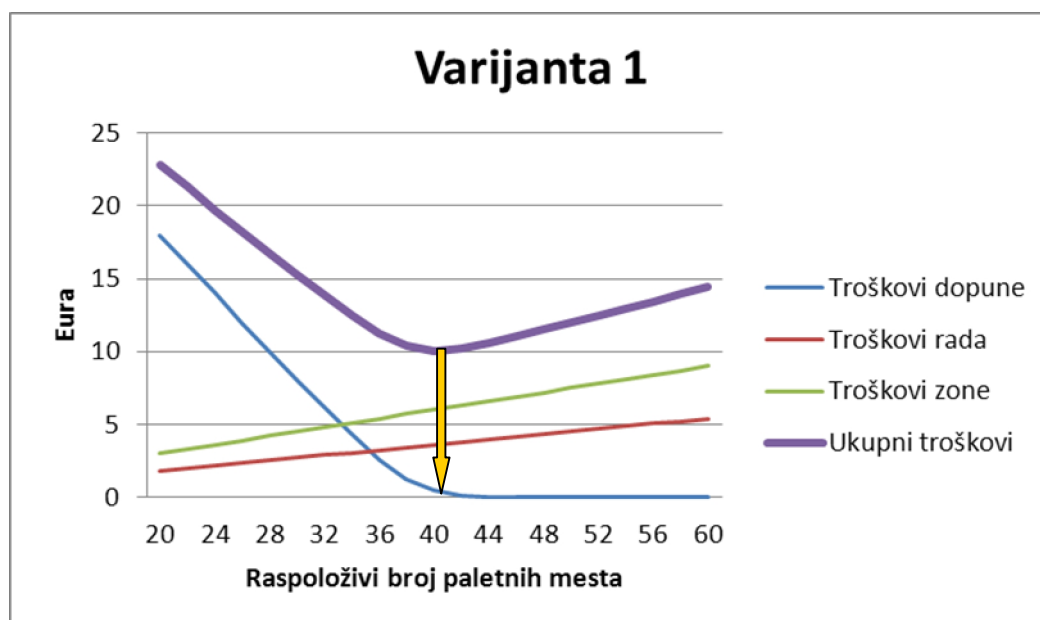
Tabela 3.7 Vrednost ulaznih parametara po varijantama

ULAZNI PARAMETRI	MERA	VARIJANTE					
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
Period	sedmično						
Srednja brzina kretanja komisionera V_k	(km/h)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cena rada komisionera	(eur/h)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4
Širina paletnog mesta	m	1	1	1	1	1	1
Cena skladištenja nedeljno	(eur/pal)	0,15	0,3	0,75	0,45	1	1
Cena po manipulaciji	(eur/pal)	1	1,5	1,5	1	1	1
<p><i>Napomena:</i> Cene su izvedene na bazi istraživanja i analize cena usluga lokalnih provajdera uz korekciju (umanjenje) za profitnu stopu od 15-20%.</p>							

⁴¹ Programski kod dat je u Prilogu B

Tabela 3.8 Prikaz izlaznih rezultata modela: Varijanta 1

Broj paleta u KZ Q_i	Stepen zadovoljenja $\max f^*$	Broj paletnih mesta /paleta po robama (z_i) ($i=1, \dots, 20$); z_1, z_2, \dots, z_{20}	Očekivani broj dopuna $\sum R_i$
20	1.73804E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93087E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.9191E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.26774E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.2512E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83253E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47103E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.000229574	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962174	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228626641	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.619080031	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863923672	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958570823	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605021	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.005405
48	0.997998496	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.99959571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.999990405	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	9.52E-06
54	0.999999921	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	0



Slika 3.11 Određivanje optimalne veličine KZ na osnovu minimuma ukupnih troškova za varijantu 1

3.4 Zaključni komentar

Ovako dobijena veličina KZ je preliminarno rešenje, a za konačno rešenje u praktičnoj primeni je potrebno uključiti i druge uticajne projektne faktore. Nadalje, neophodno je istaći da primena modela u okviru predložene procedure podrazumeva da važe pretpostavke pod kojima je model i razvijen. Ovo se odnosi, pre svega, na tehnološku koncepciju i na karakteristiku tražnje⁴², kao glavne faktore pri razvoju rešenja.

Posmatrana TK nije predviđala komisioniranje u RZ. Uvođenjem ove mogućnosti dolazi se do novog skupa {TK_i}, kod kojih omogućavanjem komisioniranja i u RZ, prestaje potreba da sve robe budu zastupljene u KZ, što stvara mogućnost za njeno smanjenje ili pak povećanja zastupljenosti određenih "traženih" roba. Pri uobličavanju ovih TK potrebno je u iterativni postupak uključiti i rešavanje AA optimizacionog zadatka. Za njegovo rešavanje bilo bi potrebno prethodno rangirati robe na bazi kriterijuma (npr. stepen zadovoljenja, EAQ, COI i dr.) u ABC analizi i zatim prateći efekte uključivati određene robe/robne grupe sa određenim kapacitetom u KZ. Takođe potrebno je izvršiti i određene modifikacije troškovnog modela, uključujući u njega i troškove komisioniranja iz RZ.

Kada karakteristika tražnje za robama nije stohastičkog karaktera, kao za slučaj razvijenog modela, problem KZ dobija drugi oblik. U situacijama kada je tražnja za robama determinističkog karaktera (na primer: poznat je sadržaj narudžbina dan unapred) i kada su zahtevi za određenim robama pojavljuju u više narudžbina može se razmišljati o dinamičkoj KZ. Ovaj koncept KZ predviđa da u zonu »idu« samo robe koje se komisioniraju tog dana (ili smene) u tačno definisanoj količini. Primenom ovakve strategije punjenja potrebni kapacitet KZ može biti značajno smanjen. Potrebni kapacitet je moguće još smanjiti uvođenjem kraćeg merodavnog perioda komisioniranja (na primer: 2 sata). Tada se kao problem postavlja

⁴² Ovde je tražnja (definisana ulaznim parametrima modela) u okvirima koji su karakteristični za izabranu TK, u suprotnom prema procedure radilo bi se o nekoj drugoj TK.

nalaženje odgovarajućeg balansa između zahteva za skladištenjem i komisioniranjem u KZ i odgovarajućeg angažovanja na punjenju KZ.

ZAKLJUČAK

Komisioniranje je proces koji se realizuju u skladištima komadne robe i uključuje sve aktivnosti koje prate izdvajanje traženog asortimana robe prema vrsti i količini u cilju ispunjenja korisničkih narudžbina. Zbog takve svoje uloge ima izuzetno važno mesto među skladišnim procesima, a posebno kod skladišta distributivnog tipa, kada komisioniranje predstavlja njegovu najvažniju - centralnu funkciju. Svaka manjkavost u ovom domenu direktno rezultira obaranjem performansi funkcije skladišta - nivoa servis stepena i povećanjem operativnih troškova skladišta i dr., što po pravilu ima nepovoljne posledice na čitav lanac snabdevanja. Pri tome, performanse procesa komisioniranja su u velikoj meri zavisne od nekoliko faktora: izabrane – primenjene tehnologije skladištenja, layout-a, tehnološkog oblika komisionog sistema, kao i načina na koji je sam proces organizovan i upravljn. Zbog svog značaja, neki od pomenutih faktora bili su već predmet istraživanja različitog nivoa i obima u literaturi.

Posebno značajan aspekt komisioniranja, kome nije posvećena odgovarajuća pažnja u projektnoj praksi, a ni u istraživačkoj literaturi, se odnosi na pitanje *izbora i uobličavanja komisione zone*. Ovaj aspekt i njegov uticaj na efikasnost procesa komisioniranja bio je predmet istraživanja u ovoj disertaciji. Namera je bila da se da odgovarajuća podrška pri donošenju odluka kod *izbora i uobličavanja komisione zone* u procesu projektovanja skladišta.

Ovako postavljen cilj ostvaren je sprovođenjem istraživanja prema metodologija detaljno predstavljenoj u uvodu ovog rada, a koja sadrži nekoliko poglavlja.

U prvom poglavlju, koje sadrži nekoliko celina, analizirani su razlozi za formiranje i uvođenje skladišta u lance snabdevanja, data je klasifikacija i opisane specifičnosti pojedinih tipova skladišta. Zbog svog uticaja, dat je prikaz osnovnih skladišnih procesa i funkcionalnih celina, a poseban akcenat je bio, zbog njegovog značaja u

pogledu troškova i stepena zadovoljenja zahteva korisnika, na procesu komisijoniranja. Shodno tome, dat je, u posebnoj celini poglavlja, pregled osnovnih tipova komisijonih sistema (prema merodavnom pojavnom obliku roba (za komisijoniranje paketnih jedinice tereta), tehnološkoj, organizacionoj i upravljačkoj formi). U nastavku ovog poglavlja istraživani su mogući oblici prostornog uklapanja analiziranih komisijonih sistema u rešenje skladišta. Tom prilikom identifikovani su tipični prostorni oblici koncepcija komisijone zone (nastali različitim uklapanjem/kombinovanjem sa zonom rezervi). Na kraju poglavlja dat je pregled i opis ovih osnovnih koncepcija komisijone zone.

U drugom poglavlju dati su identifikacija i strukturiranje problema pri izboru i uobličavanju komisijone zone. S obzirom da se problem izbora i uobličavanja komisijone zone analizira i rešava u sklopu procesa projektovanja skladišta, opisane su i opšte odlike procesa projektovanja. Dat je opis identifikovanih problema u ovoj oblasti, njihove strukture, međuzavisnost i hijerarhija u procesu projektovanja. Drugi deo ovog poglavlja je posvećen pregledu i analizi relevantnih istraživanja. Pregled je obuhvatio: (i) istraživanja u oblasti projektovanja skladišta – procedura projektovanja i (ii) istraživanja posvećena specifičnim pitanjima problema komisijone zone koja se postavljaju u procesu projektovanja skladišta. Sprovedena analiza je ukazala na nedostatak odgovarajućeg postupka – procedure koja bi omogućila sveobuhvatno rešavanje problema izbora i uobličavanja komisijone zone, kao i na prisustvo izvesnih modela za podršku pri donošenju određenih parcijalnih projektnih odluka. Međutim, direktna primena ovih modela predviđa niz pretpostavki koje mogu biti problematične kod primene u uslovima realizacije realnih zadataka. Na bazi ovih saznanja i iskustva prišlo se, u trećem poglavlju, predlogu i razvoju procedure i parcijalnih modela podrške prilagođenih za primenu u praksi.

Treće poglavlje, koje predstavlja težište rada u okviru ove disertacije, je posvećeno rešavanju problema izbora i uobličavanje komisijone zone. Za rešavanje problema izbora i uobličavanja komisijone zone je predložena i razvijena nova iterativna procedura sa dva hijerarhijska nivoa odlučivanja. Na prvom nivou – u okviru

konceptualne faze identifikuju se prihvatljive varijantne tehnološke koncepcije komisione zone. Za dolaženje do skupa prihvatljivih varijanti se predlaže i primenjuje novi metodološki pristup koji omogućava brže rešavanje zadataka generisanja i izbora u odnosu na standardne pristupe. Na drugom nivou procedure, u fazi uobličavanja prihvatljivih varijanti tehnoloških koncepcija komisione zone, pristupa se njihovom dovođenju u najpovoljniji oblik. Tom prilikom se određuju bitni projektni parametri sa ciljem ostvarenja zadatih performansi skladišnog sistema, odnosno podsistema komisioniranja. Centralno mesto na ovom nivou procedure ima određivanje veličine komisione zone, a zbog njenog uticaja na operativne troškove. Za dolaženje do optimalnih vrednosti veličine komisione zone predložen je i primenjen iterativni postupak. U okviru ovog postupka za rešavanje određenih zadataka odlučivanja razvijeni su i korišćeni novi parcijalni modeli podrške (pre svega *model za optimalnu alokaciju skladišnog kapaciteta na robe i troškovni model* za procenu specifičnih skladišnih troškova). Potreba za razvojem novih parcijalnih modela uslovljena je karakteristikama realnih sistema – tehnoloških koncepcija koje su predmet uobličavanja, kao i nemogućnosti za direktnom primenom modela iz literature. U postupak određivanja optimalnih veličina komisione zone uključene su sve izabrane varijantne koncepcije identifikovane na prvom hijerarhijskom nivou. Procedura se završava, shodno uvedenim kriterijumima, izborom predloga rešenja koncepcije komisione zone koji se koristi u daljim fazama procesa projektovanja. U narednoj celini ovog poglavlja, radi demonstracije predložene procedure i modela, dat je prikaz njene primene na jednom karakterističnom zadatku projektovanja komisione zone u skladištu. Analiza ostvarenih rezultata je pokazala značajan nivo primenljivosti ove procedure kao i njenih parcijalnih modela, na rešavanje problema u domenu izbora i uobličavanja komisione zone u procesu tehnološkog projektovanja skladišta.

Na osnovu svega prethodno navedenog, kao osnovne rezultate/doprinosе ove disertacije moguće je izdvojiti:

- Razvijen postupak – proceduru za izbor i uobličavanje komisione zone,

- Definisan je postupka za određivanje optimalne veličine komisione zone uz respektovanje merodavnih kriterijuma,
- Razvijene parcijalne modele podrške za odlučivanje i to:
 - optimizacioni model za alokaciju skladišnog kapaciteta po robama, i
 - model za procenu specifičnih skladišnih troškova relevantnih za donošenje odluka u procesu optimizacije.

Pored navedenih osnovnih doprinosa ove disertacije, kao rezultat sprovedenog istraživanja ostvareno je i sledeće:

- data je klasifikacija i pregled komisionih sistema za komisioniranje paketnih jedinica tereta (sa tehnološkog, organizacionog i upravljačkog aspekta),
- dat je pregled i opis tipičnih pojava oblika koncepcija komisionih zona, što obezbeđuje pretpostavke za efikasnije i racionalnije projektovanje ove grupe tehnoloških celina,
- identifikovani su i strukturirani tipični problemi u oblasti definisanja karakterističnih zadataka kod analize i projektovanja komisionih zona u okviru skladišnih sistema.

Na kraju trebalo bi posebno istaći da sprovedeno istraživanje i ostvareni rezultati imaju visok stepen primenljivosti na rešavanje praktičnih problema u ovom domenu projektovanja. Takođe, predložene modele razvijene i testirane u okviru ovog istraživanja je moguće primeniti za rešavanje parcijalnih taktičko-operativnih problema u eksploataciji postojećih skladišnih sistema.

Moguća proširenja sprovedenog istraživanja u okviru ovog rada i na osnovu sagledavanja problema projektne prakse trebalo bi tražiti u pravcu:

- razvoja odgovarajućeg/ih modela podrške koji bi se uključio/li u proceduru kod izbora prihvatljivih tehnoloških koncepcija,

- proširenje dela procedure koji se odnosi na uobličavanje varijantnih koncepcija za širi skup koncepcija (i na one koje dopuštaju komisioniranje i u RZ).

Pored ovih istraživačkih pravaca bilo bi neophodno razvijenu proceduru, dopunjenu sa ovim modelima, u što je moguće većem nivou prilagoditi praktičnim potrebama. Na taj način bi se oformila značajna podrška u smislu kreiranja alata za projektovanje, npr. DSS (*Decision Support System*).

LITERATURA

- [1] Alicke, K., Arnold, D., Knoss, A., Topfer, F., (2001), Optimierung von manuellen Kommissionierbereichen, *Logistik für Unternehmen*, 1/2, p.54-57.
- [2] Anken, N., Gagliardi, J-P., Renaud, J., Ruiz, A., (2011), Space allocation and aisle positioning for an industrial pick-to-belt system. *Journal of the Operational Research Society* 62(1): 38-49.
- [3] Ashayeri, J., Gelders, L.F., (1985), Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research* 21, 285-294.
- [4] Ashayeri, J., Goetschalckx, M., (1988), Analysis and design of order pick systems, In *9th International Conference on Automation in Warehousing*, 125-135.
- [5] Azadivar, F., (1989), Optimum allocation of resources between the random access and rack storage spaces in an automated warehousing system, *International Journal of Production Research*, 27:119-131.
- [6] Baker, P., (2006) Designing distribution centres for agile supply chains, *International Journal of Logistics Research and Applications*, Vol.9, No. 3, 207-221.
- [7] Baker, P., and Canessa, M., (2009), Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research* 193: 425–436.
- [8] Baker, P., Halim, Z., (2007), An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(2), 129-138.
- [9] Ballou, R. H., (2004), *Business Logistics Management*, 5th Edition, Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey.
- [10] Ballou, R.H., (1967), Improving the Physical Layout of Merchandise in Warehouses, *Journal of Marketing*, Vol. 31, pp 60-64.
- [11] Bartholdi J.J., Hackman S.T., (2008), Allocating space in forward pick area of distribution center for small parts, *IIE Transactions*, 40, 1046-1053.

- [12] Bartholdi, J.J., Hackman, S.T., (2011), Warehouse & Distribution Science, Version 0.95, <http://www.warehouse-science.com>.
- [13] Bhaskaran, K., Malmburg, C., (1990), Economic tradeoffs in sizing warehouse reserve storage area, *Appl. Math. Modelling*, 14, 381-385.
- [14] Bode, W., Rüdiger, W.P., (2007), Comprehensive introduction to intralogistics, Fachhochschule Osnabrück.
- [15] Bodner, D. A., Govindaraj, T., Karathur, K. N., Zerangue, N. F., McGinnis, L.F., (2002), A Process Model and Support Tools for Warehouse Design, in Proceedings of the 2002 NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference.
- [16] Bozer, Y. A. (1985), Optimizing throughput performance in designing order picking systems, PhD thesis, Georgia Institute of Tehnology, Atlanta, GA.
- [17] Bozer, Y.A., White, J.A. (1990), Design and performance models for end-of-aisle order picking systems, *Management Science* 36(7), 852-866.
- [18] Bozer, Y.A., White, J.A., (1996), A generalized design and performance analysis models for end-of-aisle order-picking systems, *IIE Transactions* 28(4), 271-280.
- [19] Brockmann, T., Godin, P., (1997), Flexsibility for the future in warehouse design, *IIE Solutions*, Volume: 29 Issue: 7 pp.22-25.
- [20] Caron F., Marchet G., Perego, A., (2000), Optimal layout in low-level picker-to-part systems, *International Journal of Production Research*, 38(1), 101-117.
- [21] Caron, F., Marchet G., Perego, A., (2000), Layout design in manuel pickin systems: a simulation approach, *Integrated Manufacturing Systems*, 11(2), 94-104.
- [22] Copacino, W.C., (1997), *Supply Chain Management: The Basics and Beyond*. Boca Raton, FL: St. Lucie Press.
- [23] Cormier, G., Gunn, E.A., (1992), A review of warehouse models. *European Journal of Operational Research* 58, 3-13.
- [24] Cox, B., (1986), Determining economic levels of automation by using a hierarchy of productivity ratios techniques, *Proceedings of 7th International Conference on Automation in Warehousing*, pg.39-49.
- [25] Dallari, F., Marchet, G., Melcini, M., (2009), Design of order picking systems, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 42, pp.:1-12.

- [26] de Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J., (2007), Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research* 182 (2) 481-501.
- [27] Drury, J., (1988), *Towards more efficient order picking*, IMM Monograph No.1», The Institut of materials Management, Granfield, UK.
- [28] Đurđević B.D., (2006), The technological design of forward pick area, u zborniku radova 18th International Conference on Material Handling, Constructions and Logistics, Faculty of Mechanical engineering University of Belgrade, October 19-20, 2006, pp.211-216.
- [29] Đurđević B.D., (2007), Conceptual design of warehouse-one possible approach, u zborniku radova 10th International Conference Dependability and Quality Management, Belgrade, Serbia, 13-14 June 2007, pp.734-739.
- [30] Đurđević B.D., Miljuš M., (2009), Komisioniranje-upravljački aspekt, *Tehnika-saobraćaj broj 4*, 11-16.
- [31] Đurđević, B.D, Miljuš, M., (2011), An approach of order-picking technology selection, u zborniku radova na CD, International Conference on Transport Science - ICTS 2011, Portorož, Slovenija
- [32] Đurđević, B.D., (2002), Prilog optimizaciji procesa komisioniranja, magistarski rad, Saobraćajni fakultet, Beograd.
- [33] Đurđević, B.D., Miljuš M., (2009), The effects comparison of the control concept in order picking process, u zborniku radova 19th International Conference on Material Handling, Constructions and Logistics, Faculty of Mechanical engineering University of Belgrade, October 15-16, 2009, pp.161-164.
- [34] Đurđević, B.D., Miljuš, M., (2007), Tendencies of order picking development and influence on warehouse design, *The International Journal of transport & logistics*, 13/07, pp.74-100.
- [35] Elenbark, B., (2007), Put it, pick it, pack it b *Industrial Engineer*; Jun 2007; 39, 6; ABI/INFORM Global pg. 24-29.
- [36] Frazelle, E. H., Hackman, S.T., Passy, U., and Platzman, L.K., (1994), The Forward – Reserve Problem, In *Optimization in Industry 2*, pp. 43-61., John Wiley and Sons Ltd.

- [37] Frazelle, E., H., (2002), *World-Class Warehousing and Material Handling*, Mc Graw-Hill Companies Inc., New York.
- [38] Gagliardi, J-P. ; Ruiz, A.; Renaud, J. (2008), Space allocation and stock replenishment synchronization in a distribution center. // *International Journal of Production Economics*, 115, , pp. 19-27.
- [39] Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R., (2004), *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. John Wiley & Sons Ltd, England
- [40] Gray, A.E., Karmakar, U.S., Seidmann, A., (1992), Design and operation of an order-consolidation warehouse: models and application, *European Journal of Operations Research* 58(1), 14-36.
- [41] Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., (2007), Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research* 177:1-21
- [42] Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., (2010), Research on warehouse design and performance evaluation: a comprehensive review. *Eur J Oper Res* 203(3):539-549
- [43] Gu, J., Goetschalckx, M., McGinnis, L.F., (2010), Solving the forward-reserve allocation problem in warehouse order picking systems, *Journal of the Operational Research Society*, 61(6), 1013-1021.
- [44] Gudehus, T., (1973), *Grundlagen der Kommissionertechnik*, Verlag W. Girardet, Essen, Germany.
- [45] Gudehus, T., (1974), *Lagern und Kommissionieren, Fordern und Heben* 24, Nr.15, p.1446-1450.
- [46] Gudehus, T., (2005), *Logistik*. 3rd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg,
- [47] Hackman, S.T., and Rosenblatt, M.J., (1990), Allocating items to an automated storage and retrieval system, *IIE Transactions* 22(1), 7-14.
- [48] Hall, R.W., Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse, *IIE Transactions* 25(4) (1993), 76-87. 37
- [49] Hassan, M., (2002), "A framework for the design of warehouse layout", *Facilities*, Vol. 20 Iss: 13/14, pp.432 - 440.
- [50] Heragu, S., Du, L., Mantel, R.J., Schuur, P.C., (2005), Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research* 43(2), 432-440

- [51] Holzhauer, R., (2001), Comparing unit load racks, *Plant Engineering*, jan 2001, pg.36-42.
- [52] Hvang, H., Ko, Ch. S., (1988), A study on multi-aisle system served by a single storage/retrieval machine, *International Journal of Production Research*, Vol.26, no 11, p1727-1737.
- [53] Lambert, D.M., Stock, J.R., Ellram, L.M., (1998), *Fundamentals of logistics management* (Singapore: McGraw-Hill).
- [54] Liu, CH., Lu, L.Y., (1999), The procedure of determining the order picking strategies in distribution center. *Int. J. Prod. Econ.* 60–61:301–307
- [55] Luxhoj, J.T., Suskind, P.B., Caldwell, R.C., Jackson, R., (1994), Rack selection expert advisor for a consumer products distribution center *Industrial Engineering*; 26, 8; p.32-34.
- [56] Malmborg, C.J., (1996), Storage assignment policy tradeoffs, *International Journal of Production Research*, 34(2), (363-378.
- [57] McGinnis, L.F., Mulaik, S., (2000), Your data and how analyze it, In *Proceedings of the 2000 Industrial Engineering Solutions Conference*, Cleveland, OH.
- [58] Muther, R., (1973), *Systematic layout planning*, 2nd ed., Cahner books, Boston.
- [59] Park, Y.H., Webster, D.B., (1989), Modelling of three-dimensional warehouse systems. *International Journal of Production Research* 27 (6), 985–1003.
- [60] Petersen, C.G., (1997), An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11),1098–1111.
- [61] Pliskin, J.S., Dori, D., (1982), Ranking alternative warehouse area assignments: A multiattribute approach, *IIE Transactions*, 14(1), , 19-26.
- [62] Richardson, L. H., (1998), Design warehouse for flexibility, *Transportation & Distribution*, october 1, 119-126.
- [63] Roodbergen, J. K., (2001), *Layout and routing methods for warehouses*, Ph.D. Thesis, Erasmus University Rotterdam.
- [64] Roodbergen, K.J., Sharp, G.P., and Vis, I.F.A. (2008), Designing the layout structure of manual order-picking areas in warehouses. *IIE Transactions* 40,1032-1045.

- [65] Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A.: (2006), A model for warehouse layout. *IIE Transactions* 38, 799-811.
- [66] Rosenblatt, M.J., Roll, Y., (1984), Warehouse design with storage policy considerations, *International Journal of Production Research* 22(5), 809-821.
- [67] Rosenblatt, M.J., Roll, Y., (1988), Warehouse capacity in a stochastic environment, *International Journal of Production Research* 26(12), 1847-1851.
- [68] Rosenblatt, M.J., Roll, Y., Zyser, V., (1993), A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems, *IIE Transactions* 25(1), 40-50.
- [69] Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G.J., Mantel, R.J., Zijm, W.H.M. (2000), Warehouse design and control: Framework and literature review, *European Journal of Operational Research* 122, pp 515-533.
- [70] Rusell, M. Meller, D.R. (2003), Cost and Troughput modeling of manual and automated order fulfillment systems, *IIE Transactions*, 35, 589-603.
- [71] Rushton, A., Croucher P., Baker P., (2006), *The handbook of Logistics and Distribution management*, Kogan page, London.
- [72] Sharp, G.; Goetschalckx, M. ; McGinnis, L. (2008), A systematic warehouse design workflow: focus on critical decisions. // 10th International Material Handling Research Colloquium – pp. 544-578.
- [73] Suzuki, S., (1988), Order pattern graph assists order picking systems design, in: *Proceedings of the 9th International Conference on Automation in Warehousing*, IFS Publications, , 113-124.
- [74] ten Hompel, M., Schmidt, T., (2007), *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [75] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y. A., Frazelle E.H., Tanchoco, J.T., (1996), *Facilities Planning*, John Willey&Sons, New York,.
- [76] van den Berg, J.P., (1999), A literature survey on planning and control of warehousing systems, *IIE Transactions*, 31, pp. 751-762.

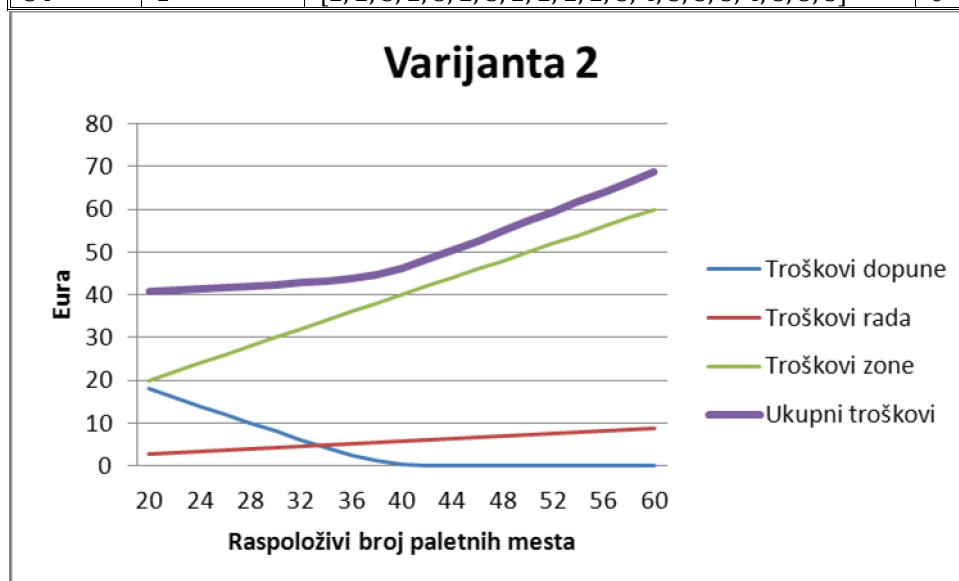
- [77] van den Berg, J.P., Sharp, G.P., Gademann, A.J.R.M., and Pochet Y., (1998), Forward-reserve allocation in a warehouse with unite-load replenishments, *European Journal of Operational Research* 111, 98-113.
- [78] Vukićević, S., (1995), *Skladišta*, Preving, Beograd.
- [79] WERC, (1999), «Model for determining total warehousing costs for private, public&contract warehouses» The Warehousing Education and Research Council, Chicago.
- [80] White, J.A., (1979), Picker to the pick face or picking face to the picker? *Modern Materials Handling*, September p.19.
- [81] White, J.A., Keney, H.D., (1982),- *Storage and Warehousing: Handbook of Industrial Engineering*, 10.4 p. 1-32. Salvenly G. (ed), John Wiley and Sons.
- [82] Yoon, C.S., Sharp, G.P., (1995), Example application of the cognitive design procedure for an order pick systems: Case study, *European Journal of Operational Research* 87, 223-248.
- [83] Yoon, C.S., Sharp, G.P., (1996), A structured procedure for analysis and design of order pick systems, *IIE Transactions* 28, 379-389.
- [84] Yu, M., de Koster, R., (2010), Enhancing performance in order picking processes by dynamic storage systems, *International Journal of Production Research* 48/16, p 4785-4806.
- [85] www.clm1.org
- [86] OPSdesign.com
- [87] ww.siemens-dematic.com

PRILOZI

Prilog A: Varijante 2-6

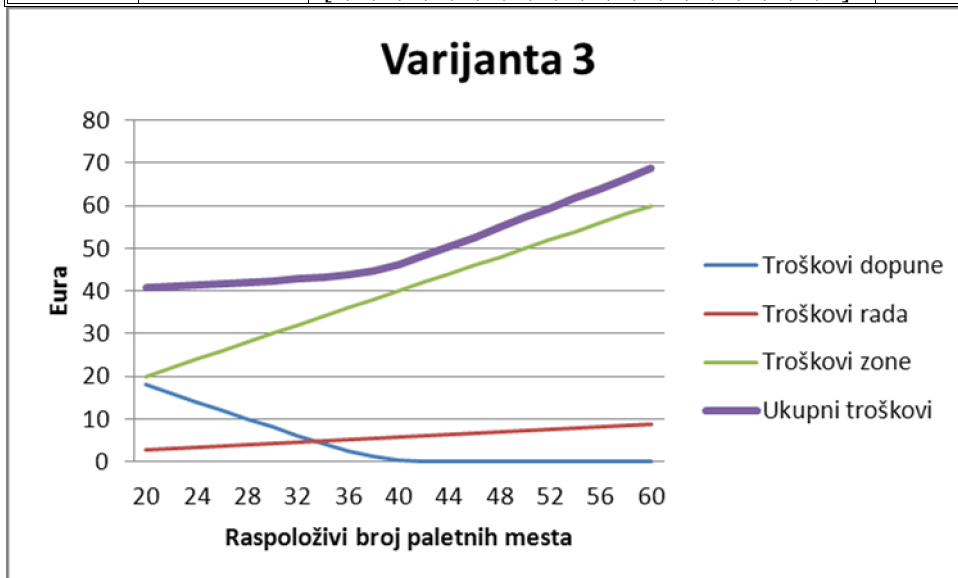
Varijanta 2

Broj paleta u zoni - Qi	Stepen zadovoljenja - max f*	(Broj paletnih mesta /paleta po robama (zi) (i=1,..., 20); z1, z2,....., z20)	Očekivani broj dopuna - Ri
20	1.74E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.92E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.27E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.25E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.00023	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228627	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.61908	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863924	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.005405
48	0.997998	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.999596	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.99999	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	9.52E-06
54	1	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	0



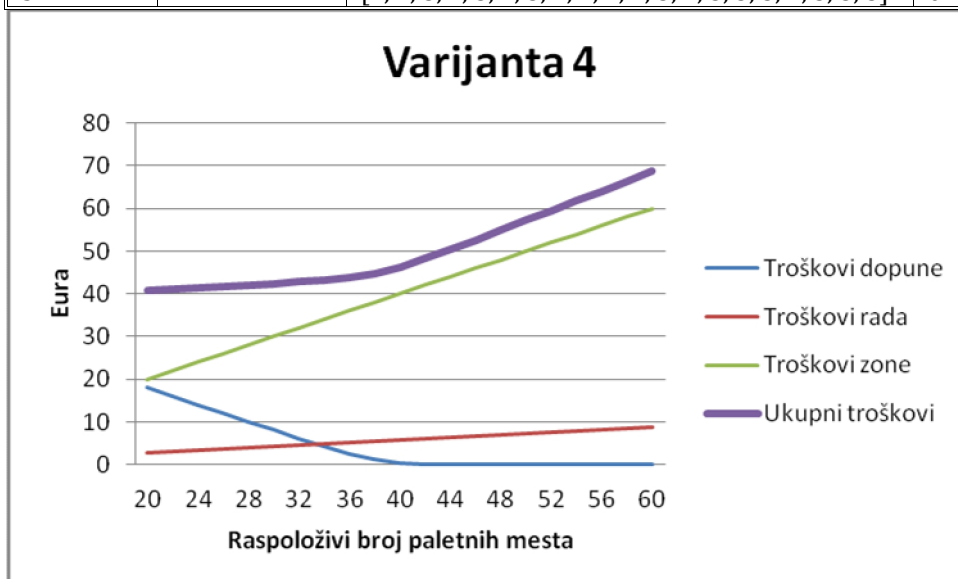
Varijanta 3

Broj paleta u zoni - Qi	Stepen zadovoljenja - max f*	(Broj paletnih mesta /paleta po robama (zi) (i=1,..., 20); z1, z2,....., z20	Očekivani broj dopuna - Ri
20	1.74E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.92E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.27E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.25E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.00023	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228627	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.61908	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863924	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.005405
48	0.997998	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.999596	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.99999	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	9.52E-06
54	1	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	0



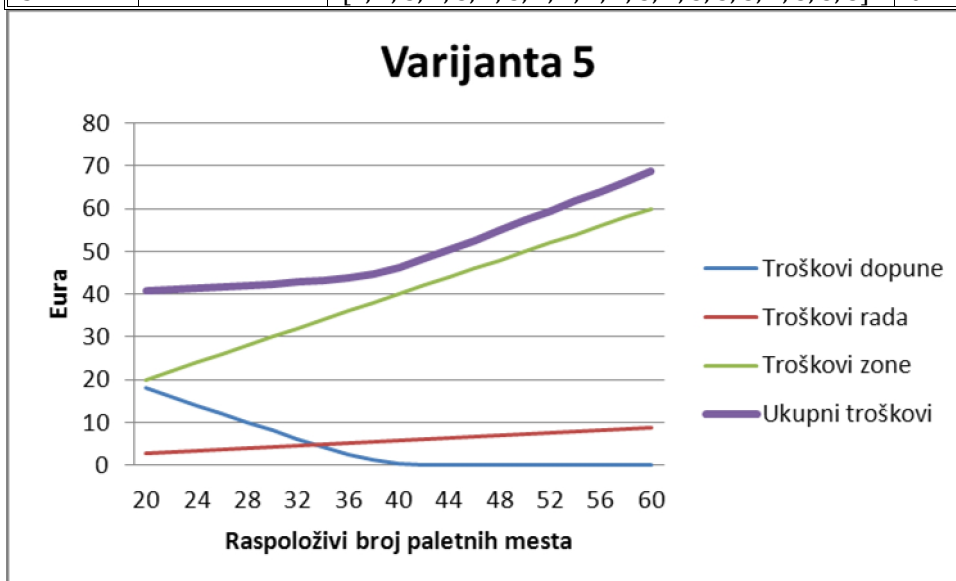
Varijanta 4

Broj paleta u zoni - Qi	Stepen zadovoljenja - max f*	(Broj paletnih mesta /paleta po robama (zi) (i=1,.., 20); z1, z2,..... z20	Očekivani broj dopuna - Ri
20	1.74E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.92E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.27E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.25E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.00023	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228627	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.61908	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863924	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 3]	0.005405
48	0.997998	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.999596	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.99999	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3]	9.52E-06
54	1	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3]	0



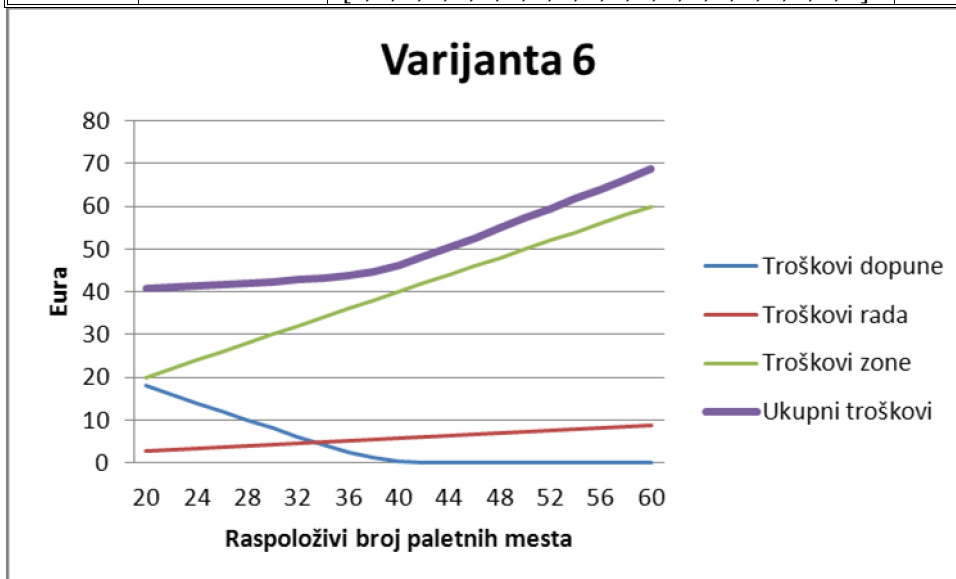
Varijanta 5

Broj paleta u zoni - Qi	Stepen zadovoljenja - max f*	((Broj paletnih mesta /paleta po robama (zi) (i=1,.., 20); z1, z2,....., z20	Očekivani broj dopuna - Ri
20	1.74E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.92E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.27E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.25E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.00023	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228627	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.61908	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863924	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.005405
48	0.997998	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.999596	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.99999	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	9.52E-06
54	1	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3]	0



Varijanta 6

Broj paleta u zoni - Qi	Stepen zadovoljenja - max f*	((Broj paletnih mesta /paleta po robama (zi) (i=1,.., 20); z1, z2,....., z20	Ocekivani broj dopuna - Ri
20	1.74E-45	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	17.98546
22	1.93E-31	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 1]	15.98546
24	5.92E-24	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2]	13.98582
26	4.27E-17	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	11.98655
28	4.25E-12	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	9.993382
30	5.83E-09	[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	8.047166
32	1.47E-06	[1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	6.171313
34	0.00023	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2]	4.331567
36	0.016962	[1, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2]	2.568045
38	0.228627	[2, 1, 2, 2, 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	1.232372
40	0.61908	[2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2]	0.449014
42	0.863924	[2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3]	0.142735
44	0.958571	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3]	0.041864
46	0.994605	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 2, 3]	0.005405
48	0.997998	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 2, 2, 3, 3, 3, 3]	0.002003
50	0.999596	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 2, 3, 3, 3, 3, 3]	0.000404
52	0.99999	[2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3]	9.52E-06
54	1	[2, 2, 3, 2, 3, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 4, 3, 3, 3, 4, 3, 3]	0



Prilog B: Kompjuterski kod za rešavanje dinamičkog programiranja

```
from xlrd import *
from random import randint
import xlwt
import time

class Artikli():
    def __init__(self):
        self.ucitavanjePodataka()

    def ucitavanjePodataka(self):
        input_fajl=r'Input.xls'
        ime_sheeta='Sheet1'
        ime_sheeta_troskovi='Sheet2'
        xlWb=open_workbook(filename=input_fajl)
        xlSheet=xlWb.sheet_by_name(ime_sheeta)
        sheetTroskovi=xlWb.sheet_by_name(ime_sheeta_troskovi)
        self.br_artikala=int(xlSheet.cell(0,1).value)
        self.troskovi={}
        self.broj_varijanti=int(sheetTroskovi.cell(1,3).value)
        for varijanta in range(1,self.broj_varijanti+1):
            self.troskovi[varijanta]={
                'troskovi_dopune':float(sheetTroskovi.cell(2,6+varijanta).value),
                'troskovi_rada':float(sheetTroskovi.cell(3,6+varijanta).value),
```



```

'troskovi_zone':float(sheetTroskovi.cell(4,6+varijanta).value)}
self.artikl={}
for rb in range(1,self.br_artikala+1):
    self.artikl[rb]={}
    self.artikl[rb][0]=int(xlSheet.cell(3,5+rb).value)#E_pikova
    self.artikl[rb][1]=xlSheet.cell(4,5+rb).value#E_kutija_po_piku
    self.artikl[rb][2]=xlSheet.cell(5,5+rb).value#E_kutija
    self.artikl[rb][3]=int(xlSheet.cell(6,5+rb).value)#br_kut_na_pal
    self.artikl[rb][4]=xlSheet.cell(7,5+rb).value#E_paleta
    self.artikl[rb][5]=xlSheet.cell(8,5+rb).value#sigma
    self.artikl[rb][6]={}#p_i
    poslednje_ocitana_p=0.00
    br_paleta=0
    self.artikl[rb][6][br_paleta]=poslednje_ocitana_p
    self.artikl[rb][7]=0#max_br_paleta
    while 1-poslednje_ocitana_p>1e-007:
        br_paleta+=1
        poslednje_ocitana_p=xlSheet.cell(9+br_paleta,5+rb).value
        self.artikl[rb][6][br_paleta]=poslednje_ocitana_p
        self.artikl[rb][7]=br_paleta
self.br_lokacija=[]
uslov=True
brojac=1
while uslov:
    try:
        temp=xlSheet.cell(1,0+brojac).value
        self.br_lokacija.append(int(xlSheet.cell(1,0+brojac).value))

```

```

        brojac+=1
    except:
        uslov=False

def broj_artikala(self):
    return self.br_artikala

def ocek_br_pikova(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][0]

def ocek_br_kut_po_piku(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][1]

def ocek_br_kut(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][2]

def br_kut_na_paleti(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][3]

def ocek_br_paleta(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][4]

def sigma(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][5]

def p_zadovoljenja(self,rb_artikla,br_paleta):
    return self.artikl[rb_artikla][6][br_paleta]

def max_br_paleta(self,rb_artikla):
    return self.artikl[rb_artikla][7]

def broj_lokacija(self):
    return self.br_lokacija

def najboljaDodelaZaRaspBrojLokacija(f):
    izlazno_f=0.00

```

```

for br_dodela in f:
    if f[br_dodela]>izlazno_f:
        izlazno_f=f[br_dodela]
return izlazno_f

```

```

def rekonstrukcijaResenja(f,podaci,ukupno_lokacija):

```

```

    resenje=[]

```

```

    dodeljeno_lokacija=0

```

```

    for korak in range(1,podaci.broj_artikala()+1):

```

```

        najbolje_f=0.00

```

```

        najbolji_br_dodela=0

```

```

        for br_lokacija in f[korak]:

```

```

            if br_lokacija==ukupno_lokacija-dodeljeno_lokacija:

```

```

                for br_dodela in f[korak][br_lokacija]:

```

```

                    if f[korak][br_lokacija][br_dodela]>najbolje_f:

```

```

                        najbolje_f=f[korak][br_lokacija][br_dodela]

```

```

                        najbolji_br_dodela=br_dodela

```

```

                    dodeljeno_lokacija+=najbolji_br_dodela

```

```

                    resenje.append(najbolji_br_dodela)

```

```

        return resenje

```

```

def dinamickoProgramiranje(podaci,stampaj):

```

```

    resenje_sve={}

```

```

    for br_lokacija in podaci.broj_lokacija():

```

```

        f={}

```

```

        for korak in range(podaci.broj_artikala(),0,-1):

```

```

            f[korak]={}

```

```

if korak==podaci.broj_artikala():
    for rasp_br_lokacija in range(br_lokacija,-1,-1):
        f[korak][rasp_br_lokacija]={}
        br_dodela=min(rasp_br_lokacija,podaci.max_br_paleta(korak))
        f[korak][rasp_br_lokacija][br_dodela]=podaci.p_zadovoljenja(korak,br_dodela)
elif korak>1:
    for rasp_br_lokacija in range(br_lokacija,-1,-1):
        f[korak][rasp_br_lokacija]={}
        for br_dodela in range(min(rasp_br_lokacija,podaci.max_br_paleta(korak)),-1,-
1):
            f[korak][rasp_br_lokacija][br_dodela]=
podaci.p_zadovoljenja(korak,br_dodela)*
najboljaDodelaZaRaspBrojLokacija(f[korak+1][rasp_br_lokacija-br_dodela])
        elif korak==1:
            rasp_br_lokacija=br_lokacija
            f[korak][rasp_br_lokacija]={}
            for br_dodela in range(min(rasp_br_lokacija,podaci.max_br_paleta(korak)),-1,-1):
                f[korak][rasp_br_lokacija][br_dodela]= podaci.p_zadovoljenja(korak,br_dodela)*
najboljaDodelaZaRaspBrojLokacija(f[korak+1][rasp_br_lokacija-br_dodela])
            resenje_br_paleta_u_zoni=rekonstrukcijaResenja(f,podaci,br_lokacija)
            resenje_p_zadovoljenja=[podaci.p_zadovoljenja(poz+1,resenje_br_paleta_u_zoni[poz])
for poz in range(len(resenje_br_paleta_u_zoni))]
            resenje_ukupno_p_zadovoljenja=1
            for zadovoljenje in resenje_p_zadovoljenja:
                resenje_ukupno_p_zadovoljenja*=zadovoljenje
            resenje_broj_dopuna=[]
            resenje_ukupno_dopuna=0.00
            for artikl in range(1,podaci.broj_artikala()+1):
                if stampa:print "artikl=",artikl

```

```

br_dopuna_artikla=0.00

for k in range(resenje_br_paleta_u_zoni[artikl-1]+1,podaci.max_br_paleta(artikl)+1):

    br_dopuna_artikla+=(k-resenje_br_paleta_u_zoni[artikl-1])*(podaci.p_zadovoljenja(artikl,k)-podaci.p_zadovoljenja(artikl,k-1))

    resenje_ukupno_dopuna+=br_dopuna_artikla

    resenje_broj_dopuna.append(br_dopuna_artikla)

    resenje_sve[br_lokacija]= [resenje_br_paleta_u_zoni, resenje_p_zadovoljenja,
resenje_broj_dopuna, resenje_ukupno_dopuna, resenje_ukupno_p_zadovoljenja]

return resenje_sve

def stampanjeUExcelFajl(varijanta,resenja,podaci):

    workbook = xlwt.Workbook(encoding = 'ascii')
    worksheet = workbook.add_sheet('za_grafik')

    worksheet.write(2,2, label = "Raspoloživi broj pozicija u zoni")
    worksheet.write(3,2, label = "Ukupno dopuna")
    worksheet.write(4,2, label = "Ukupno zadovoljenje")
    worksheet.write(5,2, label = "Jedinicni troskovi zone")
    worksheet.write(6,2, label = "Troskovi dopune")
    worksheet.write(7,2, label = "Troskovi rada")
    worksheet.write(8,2, label = "Troskovi zone")
    worksheet.write(9,2, label = "Ukupni troskovi")

    jedinicni_troskovi_zone=podaci.troskovi[varijanta]['troskovi_zone']

    brojac_resenja=0

    for br_lokacija in podaci.br_lokacija:

        worksheet.write(2,4+brojac_resenja+1, label = br_lokacija)

        worksheet.write(3,4+brojac_resenja+1, label = resenja[br_lokacija][3])

        worksheet.write(4,4+brojac_resenja+1,label=resenja[br_lokacija][4])

```

```

worksheet.write(5,4+brojac_resenja+1,label=jedinicni_troskovi_zone)

troskovi_dopune=resenja[br_lokacija][3]*podaci.troskovi[varijanta]['troskovi_dopune']
troskovi_rada=br_lokacija*podaci.troskovi[varijanta]['troskovi_rada']
troskovi_zone=br_lokacija*jedinicni_troskovi_zone
worksheet.write(6,4+brojac_resenja+1, label = troskovi_dopune)
worksheet.write(7,4+brojac_resenja+1, label = troskovi_rada)
worksheet.write(8,4+brojac_resenja+1, label = troskovi_zone)
worksheet.write(9,4+brojac_resenja+1, label =
troskovi_dopune+troskovi_rada+troskovi_zone)

vrsta=15+brojac_resenja*10
kolona=2
worksheet.write(vrsta, kolona, label = "Raspolozivi broj pozicija u zoni")
worksheet.write(vrsta, kolona+3, label = br_lokacija)
worksheet.write(vrsta+1, kolona, label = "Ukupno dopuna")
worksheet.write(vrsta+1, kolona+3, label = resenja[br_lokacija][3])
worksheet.write(vrsta+2, kolona+1, label = "Artikl")
worksheet.write(vrsta+3, kolona, label = "Broj paleta u zoni")
worksheet.write(vrsta+4, kolona, label = "p_zadovoljenja")
worksheet.write(vrsta+5, kolona, label = "broj dopuna")
for poz in range(podaci.broj_artikala()):
    worksheet.write(vrsta+2, kolona+3+poz, label = poz+1)
    worksheet.write(vrsta+3, kolona+3+poz, label = resenja[br_lokacija][0][poz])
    worksheet.write(vrsta+4, kolona+3+poz, label = resenja[br_lokacija][1][poz])
    worksheet.write(vrsta+5, kolona+3+poz, label = resenja[br_lokacija][2][poz])
brojac_resenja+=1

```

```

worksheet2 = workbook.add_sheet('za_tabelu')

poc_vrsta=3

br_paleta_po_artiklima=""

for i in range(1, podaci.br_artikala+1):

    if i==1:

        br_paleta_po_artiklima+="z"+str(i)

    else:

        br_paleta_po_artiklima+=", z"+str(i)

br_paleta_po_artiklima+=")"

worksheet2.write(2+poc_vrsta,2, label = "Broj mesta u zoni - Q")

worksheet2.write(2+poc_vrsta,3, label = "Stepen zadovoljenja - max f*")

worksheet2.write(2+poc_vrsta,4, label = br_paleta_po_artiklima)

worksheet2.write(2+poc_vrsta,5, label = "Ocekivani broj dopuna - Ri")

jedinicni_troskovi_zone=podaci.troskovi[varijanta]['troskovi_zone']

brojac_lokacija=0

for br_lokacija in podaci.br_lokacija:

    worksheet2.write(3+poc_vrsta+brojac_lokacija,2, label = br_lokacija)

    worksheet2.write(3+poc_vrsta+brojac_lokacija,3,label = resenja[br_lokacija][4])

    worksheet2.write(3+poc_vrsta+brojac_lokacija,4,label = str(resenja[br_lokacija][0]))

    worksheet2.write(3+poc_vrsta+brojac_lokacija,5,label = resenja[br_lokacija][3])

    brojac_lokacija+=1

workbook.save('Output_varijanta_'+str(varijanta)+'.xls')

if __name__=="__main__":

    podaci=Artikli()

```

```
for varijanta in range(1,podaci.broj_varijanti+1):  
    resenja=dinamickoProgramiranje(podaci,stamp=False)  
    stampanjeUExcelFajl(varijanta,resenja,podaci)
```


BIOGRAFIJA AUTORA

Mr Dragan B. Đurđević rođen je 24.10.1959. godine u Resenu, Republika Makedonija. Osnovnu školu i gimnaziju završio je u Beogradu. Na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu diplomirao je 1985. godine, a magistrirao 2002. godine. Na Saobraćajnom fakultetu, na odseku za Logistiku, radi od 1989. godine na mestu stručnog saradnika. U svom dosadašnjem radu, u nastavi na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu, angažovan je na predmetima: Mehanizacija pretovara, Osnovi mehanizacije pretovara, Skladišta, Skladišta1, Skladišta 2, Posebne oblasti logistike 1, Posebne oblasti logistike 2, Praktikum laboratorijske vežbe. Stručni ispit propisan za saobraćajnog inženjera položio je 1997. godine. Zvanje istraživača saradnika stekao je 2003. godine. Učestvovao je, kao jedan od autora, u realizaciji 50 naučnih i stručnih projekata i studija. Objavio je i prezentovao 12 radova u međunarodnim i domaćim časopisima i na konferencijama. Uže oblasti naučnog interesovanja su mu projektovanje i optimizacija skladšnih i komisionih sistema.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а мр Драган Б. Ђурђевић

број уписа _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Развој модела за избор и уобличавање комисионе зоне

- резултат сопственог истраживачког рада.
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа.
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 28.11.2012.



Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора_ **мр Драган Б. Ђурђевић**

Број уписа _____

Студијски програм _____

Наслов рада_ **Развој модела за избор и уобличавање комисионе зоне**

Ментор_ **редовни професор др Момчило Миљуш**

Потписани_ **мр Драган Б. Ђурђевић**

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 28.11.2012.



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Развој модела за избор и уобличавање комисионе зоне

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 28.11.2012.

