

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Dragan B. ĐURĐEVIĆ

SKLADIŠTA 2

BEOGRAD
2025.

Dragan B. ĐURĐEVIĆ
SKLADIŠTA 2
I izdanje

Recenzenti: dr Momčilo Miljuš,
dr Nenad Bjelić
Za izdavača: dr Milorad Kilibarda, dekan
Glavni i odgovorni urednik: dr Mirjana Bugarinović
Tehnički urednik: Predrag Knežević
Korice: Predrag Knežević
Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
Vojvode Stepe 305; telefon: 011 3976 017;
faks: 011 3096 704; <http://www.sf.bg.ac.rs>
Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta;
telefon: 011 3091 344; idsf@sf.bg.ac.rs;
(skriptarnica) sfknjige@sf.bg.ac.rs
Štampa: DONAT GRAF DOO BEOGRAD,
Vučka Miličevića, 29, 11306 Grocka;
telefon: 011 29 28 265; www.donatgraf.com
Tiraž: 200 primeraka
ISBN 978-86-7395-499-8

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu, broj 452/2 od 25. aprila 2025. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi na osnovnim studijama kao osnovni udžbenik za obavezne predmete „Skladišta 2” i „Skladišta 1”.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

621.796(075.8)

ЂУРЂЕВИЋ, Драган, 1959-

Skladišta 2 / Dragan B. Đurđević. - 1. izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2025 (Beograd : Donat graf). - 358 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Beleška o autoru: str. [359]. - Napomene i bibliografske reference uz tekst. - Bibliografija: str. 335-343.

ISBN 978-86-7395-499-8

a) Складишта

COBISS.SR-ID 167924745

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukcijska pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena.

Sadržaj

Spisak skraćenica	9
Predgovor.....	11
1. UVODNA RAZMATRANJA	13
1.1. Mesto i uloga skladišta.....	13
1.2. Tipovi skladišta	16
1.3. Osnovni skladišni procesi i funkcionalne celine.....	17
1.4. Informacioni sistem u skladištu	20
1.5. Tehnologija u skladišnim sistemima.....	21
2. SKLADIŠNI ZADATAK.....	23
2.1. Karakteristike tehnoloških zahteva	24
2.1.1. Pojavni oblik	25
2.1.2. Intenzitet tehnoloških zahteva.....	25
2.1.3. Mesto nastanka tehnoloških zahteva u prostoru.....	26
2.1.4. Mesto završetka tehnoloških zahteva u prostoru.....	26
2.1.5. Vreme nastanka tehnoloških zahteva, zakon nastanka u vremenu	26
2.1.6. Trajanje realizacije tehnoloških zahteva	27
2.1.7. Interval strpljivosti tehnoloških zahteva	27
2.1.8. Limitirajući faktori	28
2.2. Obeležja karakteristika tehnoloških zahteva.....	28
2.2.1. Determinističnost	28
2.2.2. Stohastičnost	29
2.2.3. Stacionarnost	29

2.2.4. Nestacionarnost	30
2.2.5. Kontinuitet.....	30
2.2.6. Diskontinuitet	31
2.2.7. Homogenost	32
2.2.8. Nehomogenost.....	32
2.3. Tipične tehnologije.....	34
2.4. Tehnološke koncepcije.....	38
2.5. Tehnološko rešenje.....	40
3. TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA PALETIZOVANOG TERETA.....	43
3.1. Skladištenja paletizovanog tereta bez skladišne opreme.....	43
3.2. Selektivni paletni regali.....	48
3.2.1. Regali sa uskim prolazima i visoko regalna skladišta	51
3.2.2. Skladišta sa visokim regalima i regalskim dizalicama	54
3.2.3. Paletni regali sa dvostrukom dubinom paletnih ćelija (<i>double deep rack</i>)	55
3.3. Ulazni regali – Drive-in rack.....	57
3.4. Prolazni regali – Drive-through rack.....	59
3.5. Protočni regali – Pallet flow rack	60
3.6. Push-back regali	61
3.7. Pokretni – mobilni regali.....	62
3.8. Šatl regalni sistemi	64
3.9. Automatizovane tehnologije skladištenja paletizovanog tereta	67
3.9.1. AS/RS sa regalima jednostruke dubine	69
3.9.2. Regali povećane dubine.....	72
3.9.3. Sistemi sa šatlom	74
4. TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA MANJIH JEDINICA ROBE	79
4.1. Regali sa policama (police).....	79
Dodatna oprema polica:.....	81
4.2. Protočne police.....	83
4.3. Karuseli	85
4.3.1. Horizontalni karusel	85
4.3.2. Vertikalni karusel	88
4.4. VLM – vertikalni podizni moduli	90

4.5. Mini-Load AS/RS	93
4.6. Shuttle-based storage and retrieval systems – SBS/RS.....	95
4.7. Robotski kompaktni AS/RS – (RCS/RS) – AutoStore Sistem.....	98
4.7.1. Osnovne komponente AutoStore sistema	99
4.7.2. Način funkcionisanja AutoStore sistema	100
4.7.3. Prednosti i ograničenja	101
5. TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA ŠIPKASTOG I PLOČASTOG MATERIJALA	103
5.1. Tehnologije skladištenja šipkastih materijala	103
5.1.1. Skladištenje bez skladišne opreme	107
5.1.2. Konzolni regali.....	108
5.1.3. Skladištenje šipkastog materijala u regalima u obliku saća ...	110
5.1.4. Skladištenje šipkastog materijala u stojećim regalima.....	112
5.1.5. Skladištenje šipkastog materijala u vertikalnim karuselima i VLM-ima.....	113
5.1.6. Smernice za izbor odgovarajuće tehnologije skladištenja šipkastih materijala	115
5.2. Tehnologije skladištenja pločastih materijala	117
5.2.1. Skladištenje pločastog materijala bez skladišne opreme.....	118
5.2.2. Skladištenje pločastog materijala u selektivnim i konzolnim regalima	119
5.2.2.1. Selektivni regali.....	119
5.2.2.2. Konzolni regali.....	120
5.2.3. Skladištenje pločastog materijala u stojećim regalima.....	121
5.2.4. Skladištenje pločastog materijala u vertikalnim lift modulima (VLM) i kasetama	122
5.2.4.1. Vertikalni lift moduli (VLM)	123
5.2.4.2. Kasete	123
5.2.5. Smernice za izbor odgovarajuće tehnologije skladištenja pločastih materijala.....	124
6. TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA RASUTE ROBE	127
6.1. Proces prijema rasute robe	128
6.2. Transport i uskladištenje rasute robe.....	133
6.3. Skladištenje rasute robe	135
6.3.1. Tipovi skladišta	135
6.3.1.1. Skladištenje rasute robe na otvorenom prostoru	136
6.3.1.2. Skladištenje rasute robe u zatvorenom prostoru.....	140

6.4.	Otpreme robe iz skladišta.....	144
6.4.1.	Sredstva za iskladištenje.....	144
6.4.2.	Utovar rasutog materijala u transportna sredstva	147
6.4.3.	Sredstva za planiranje sloga	148
6.5.	Bezbednosni i ekološki zahtevi/mere (prema Ligteringen, 2022).....	149
6.6.	Automatizacija i trendovi u skladištenju rasutih materijala	150
6.6.1.	Primeri primene savremenih tehnologija u nekim fazama skladišnih procesa.....	150
6.6.1.1.	Upotreba dronova za praćenje zaliha.....	150
6.6.1.2.	Automatizovani transportni sistemi (AGV)	151
6.6.1.3.	Robotizovane dizalice sa grajferima.....	151
6.6.1.4.	Prediktivna analitika i veštačka inteligencija	151
6.6.1.5.	Ekološki održiva rešenja.....	151
7.	KOMISIONIRANJE	153
7.1.	Komisioni sistem.....	155
7.2.	Klasifikacija komisionih sistema	157
7.3.	Tehnologije komisioniranja paketnih jedinica tereta	160
7.3.1.	Manuelni komisioni sistemi	161
7.3.1.1.	Komisioni sistemi čovek-ka-teretu.....	161
7.3.1.2.	Komisioni sistemi teret-ka-čoveku.....	169
7.3.2.	Automatski komisioni sistemi	170
7.4.	Tehnologije komisioniranja pojedinačnih jedinica – komada.....	174
7.4.1.	Komisioni sistemi čovek-ka-teretu.....	176
7.4.2.	Komisioni sistemi teret-ka-čoveku.....	180
7.4.3.	Automatski sistemi za komisioniranje manjih jedinica – A-Frame Sistemi	184
7.4.4.	Komisioni sistema zasnovani na primeni robota.....	186
7.4.5.	Put sistem	188
7.4.6.	Izbor komisionog sistema.....	192
7.5.	Upravljački aspekt komisioniranja.....	194
7.5.1.	Sistemi upravljanja primenom RF tehnologija.....	197
7.5.2.	Pick-to-light i Put-to-light tehnologije	198
7.5.2.1.	Pick-to-light (PTL) sistemi.....	198
7.5.2.2.	Put-to-light sistemi	199
7.5.3.	Pick-to-voice (PTV) sistemi upravljanja	199
7.5.4.	Pick-by-Vision zasnovano na tzv. „Proširenoj – stvarnosti” Augmented reality	200

7.6.	Organizacioni aspekt procesa komisioniranja.....	203
7.6.1.	Organizacija strukture skladišta	204
7.6.2.	Organizacija obrade korisničkih narudžbina	211
8.	TEHNOLOŠKO PROJEKTOVANJE	225
8.1.	Proces projektovanja skladišta	226
8.1.1.	Struktura skladišnog sistema	230
8.1.2.	Izbor tehnologije	230
8.1.3.	Veličina i dimenzionisanje sistema	232
8.1.4.	Prostorni raspored (layout).....	232
8.1.5.	Operativno upravljanje	233
8.1.6.	Integracija odluka i kreiranje tehnoloških koncepcija.....	233
8.1.7.	Tehnološko rešenje.....	234
8.1.7.1.	Izbor tehnološkog rešenja.....	234
8.1.8.	Kriterijumi za ocenjivanje projektnih rešenja	235
8.2.	Problemi strateške prirode	236
8.2.1.	Struktura skladišnog sistema.....	236
8.2.2.	Problem izbora tipa sistema	241
8.3.	Problemi taktičke prirode.....	247
8.3.1.	Dimenzionisanje.....	248
8.3.2.	Problemi layout-a	267
8.3.3.	Projektne odluke za izbor i uobličavanje komisijone zone	270
8.4.	Problemi operativne prirode.....	273
8.4.1.	Problem određivanja redosleda obrade narudžbine (nalog za komisioniranje)	274
8.4.2.	Problem dodeljivanja skladišnih lokacija.....	280
8.4.3.	Problem izbora metoda komisioniranja.....	289
9.	PERFORMANSE SKLADIŠTA.....	297
9.1.	Uticajni faktori na logističke sisteme.....	297
9.2.	Merenje performansi skladišta	299
10.	INFORMACIONO-UPRAVLJAČKI SISTEM SKLADIŠTA – WMS.....	313
10.1.	Opravljanost uvođenja i izbor odgovarajućeg WMS-a	314
10.2.	Struktura WMS-a	315
10.2.1.	Softver	316
10.2.2.	Radio-frekvencijske (RF) komunikacije	317

10.2.3. Tehnologija automatske identifikacije	318
10.2.4. Dodatne komponente WMS-a:	318
10.3. Klasifikacija WMS-a.....	319
10.3.1. Klasifikacija prema funkcionalnosti.....	321
10.3.2. Klasifikacija prema načinu dizajniranja	324
10.3.3. Izbor odgovarajućeg WMS-a	325
10.4. Osnovni pravci budućeg razvoja WMS-a	327
Literatura	335
Pitanja za proveru znanja:	345
Spisak slika	351
Spisak tabela	357
Beleška o autoru	359

Spisak skraćenica

- A – Artikal
- AGV – *Automated Guided Vehicle*
- AI – Veštačka inteligencija (engl. *Artificial Intelligence*)
- AMR – Autonomni mobilni roboti (engl. *Autonomus Mobile Robots*)
- AR – Proširena stvarnost (engl. *Augmented Reality*)
- AS/RS – Sistemi za automatizovano uskladištenje i iskladištenje (engl. *Automated Storage/Retrieval systems*)
- Ast – Širina radnog prolaza (engl. *Aisle Stack Type*)
- AVS/R – Autonomni sistemi skladištenja i iskladištenja pomoću vozila (engl. *Autonomus Vehicles Storage and Retrieval*)
- COI – Indeks zapremine po narudžbenici (engl. *Cube per Order Index*)
- CRM – Upravljanje odnosima sa korisnicima (engl. *Customer Relationship Management*)
- CW – Klark-Rajtov (algoritam) (engl. *Clarke-Wright (algorithm)*)
- DC – Distributivni centar
- DTS – Vreme od prijema robe do uskladištenja (engl. *Dock to Stock time*)
- ECR – Efikasan odgovor potrošačima (engl. *Efficient Consumer Response*)
- ERP – Planiranje resursa u preduzeću (engl. *Enterprise Resource Planning*)
- FCFS – prvi došao – prvi opslužen (engl. *First Come First Served*)
- FEFO – Prvi istekao, prvi se otprema¹ (engl. *First Expired First Out*)
- FIFO – Prvi ušao, prvi izašao (engl. *First In First Out*)
- I/O – Ulazno-izlazne (stanice) (engl. *Input/Output (stations)*)
- IoT – Internet stvari (engl. *Internet of Things*)
- IT – Informacione tehnologije (engl. *Information Technology*)
- KL – Komisiona lista
- KPI – Ključni indikatori performansi (engl. *Key Performance Indicators*)
- KS – Komisioni sistem
- KZ – Komisiona zona

¹ Prvo se otprema proizvod koji ima najkraći rok trajanja

- LiDAR – Detekcija i merenje udaljenosti svetlom (engl. *Light Detection and Ranging*)
- LIFO – Poslednji ušao, prvi izašao (engl. *Last In First Out*)
 - LP – Registraciona oznaka (engl. *License Plate*)
- LPH – broj linija komisioniranih na sat (engl. *Lines Per Hour*)
 - LJ – Logistička jedinica
- MK – Metod komisioniranja
- MP – Matematičko programiranje
- OCR – Optičko prepoznavanje karaktera (engl. *Optical Character Recognition*)
- OTIF – na vreme i u potpunosti (engl. *On Time In Full*)
- P/D (stanice) – Mesta za komisioniranje (engl. *Pick-up and Delivery*)
 - P/O – Prijemno-otpremna tačka
- PLC – Programibilni logistički kontroleri (engl. *Programmable Logistic Controllers*)
 - PO – Narudžbenica (engl. *purchase order*)
- PTL – Svetlosno vođenje komisionera (engl. *Pick To Light*)
- PTV – Glasovno vođenje komisionera (engl. *Pick To Voice*)
 - QR – Brzi odgovor (engl. *Quick Resposne*)
- RF – Radio frekvencija (engl. *Radio Frequency*)
- RFID – Radio frekventna identifikacija (engl. *Radio Frequency IDentification*)
 - RZ – Zona rezervi
- SBS/RS – Sistem skladišta zasnovan na šatlovima (engl. *Shuttle-Based Storage/ Retrieval Systems*)
 - SKU – Jedinica na zalihama (engl. *Stock Keeping Unit*)
 - TE – Tehnološki elementi
 - TG – Grupa tehnoloških zahteva
 - TK – Tehnološka koncepcija
- TMO – Teorija masovnog opsluživanja
- TMS – Sistem za upravljanje transportom (engl. *Transportation Management System*)
 - TR – Tehnološko rešenje
 - TT – Tipična tehnologija
 - TZ – Tehnološki zahtev
- VLM – Vertikalni podizni modul (engl. *Vertical Lift Module*)
- VNA – Veoma uski prolazi (engl. *Very Narrow Aisle*)
- WCS – Sistem za upravljanje kontrolom skladišta (engl. *Warehouse Control System*)
- WMS – Sistem za upravljanje skladištem (engl. *Warehouse Management Systems*)

Predgovor

Skladište, kao ključni logistički entitet, privlači pažnju stručnjaka i istraživača. U savremenim uslovima poslovanja, uz rastuće zahteve za efikasnošću u lancima snabdevanja, digitalizacijom i razvojem e-trgovine, njegova uloga postaje još značajnija. Pored potrebe za visokom efikasnošću, troškovnom prihvatljivošću i održivošću, sve veća primena automatizacije, robotizacije i informacionih tehnologija postavlja nove izazove pred skladišne sisteme. Zbog toga se problematika skladištenja na Saobraćajnom fakultetu, Odseku za logistiku, izučava kroz dva osnovna predmeta: Skladišta 1 i Skladišta 2.

Skladišta 1 pružaju studentima osnovna znanja o:

- ulozi i zadacima skladišta u logističkom sistemu,
- skladišnim podsistemima i procesima,
- značaju i određivanju lokacija skladišta,
- vrstama i modelima optimizacije zaliha,
- karakteristikama robe relevantnim za skladišne procese,
- tipovima skladišnih objekata, njihovim tehno-eksploatacionim karakteristikama i saobraćajnoj povezanosti s okruženjem,
- zahtevima bezbednosti u skladištu.

Na ta znanja nadovezuje se Skladišta 2, predmet koji je tema ove knjige. On produbljuje razumevanje skladištenja kroz analizu skladišnih zadataka, tehnologija skladištenja i upravljanja skladišnim procesima. Takođe, bavi se primenom savremenih informacionih, automatizovanih i robotizovanih rešenja, ključnih za efikasno upravljanje skladištima. Na taj način, studentima pruža celovit uvid u funkcionalnost skladišnih sistema i razvija njihovu sposobnost kreiranja tehnoloških rešenja. Za uspešno praćenje gradiva, potrebno je prethodno poznavanje materije

iz predmeta Skladišta 1 i Mehanizacija pretovara, koji se takođe izučavaju na Saobraćajnom fakultetu.

Sadržaj predmeta Skladišta 2 obuhvata sledeće celine:

- Uvod – mesto i uloga skladišta u logistici i lancima snabdevanja, osnovni skladišni procesi i podsistemi.
- Skladišni zadatak – tehnološki zahtevi, tipične tehnologije, tehnološke koncepcije, tehnološko rešenje.
- Tehnologije skladištenja – skladištenje komadnih i rasutih materijala.
- Tehnologija komisioniranja – principi i metode komisioniranja.
- Tehnološko projektovanje – projektovanje skladišnih sistema i procesa.
- Performanse skladišta – evaluacija efikasnosti skladišnih operacija.
- WMS (Informaciono-upravljački sistem) – primena softverskih rešenja u upravljanju skladišnim procesima.

Ova knjiga prati nastavni plan i program predmeta Skladišta 2, s ciljem da studentima pruži sistematičan i primenljiv pregled savremenih skladišnih tehnologija, kao i metode njihove analize i primene u tehnološkim rešenjima. Pomaže im da definišu skladišne zadatke, odaberu odgovarajuće tehnologije i kreiraju optimalna tehnološka rešenja skladišta. Takođe, može biti korisna i inženjerima logistike u praksi, naročito u oblastima tehnološkog projektovanja skladišta, optimizacije procesa i implementacije informacionih sistema.

Zahvaljujem se recenzentima, prof. dr Momčilu Miljušu i prof. dr Nenadu Bjeliću, na njihovim dragocenim sugestijama koje su značajno unapredile kvalitet sadržaja. Posebnu zahvalnost dugujem kolegi Nikoli Pavlovu na svesrdnoj pomoći u pripremi rukopisa.

U Beogradu, mart 2025.

Autor