

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.010>

## **IZBOR TEHNOLOGIJE SKLADIŠTENJA**

Dragan Đurđević, Nikola Pavlov, Mladen Božić  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet  
d.djurdjevic@sf.bg.ac.rs, n.pavlov@sf.bg.ac.rs, mladen.bozic@sf.bg.ac.rs

**Rezime:** Tehnološko projektovanje skladišta karakteriše donošenje različitih projektnih odluka. Između njih, odluka o izboru tehnologije skladištenja u skladišnoj zoni ima poseban značaj. U procesu tehnološkog projektovanja skladišta ova odluka se donosi u fazi generisanja tehnoloških koncepcija. Tada je potrebno da projektant, shodno projektnom zadatku, generiše određeni broj potencijalno primenjivih tehnoloških koncepcija i potom od njih izabere jednu. Radi se o kompleksnom problemu od čijeg uspešnog rešavanja zavisi buduće funkcionisanje skladišta. Donošenje projektne odluke komplikuje prisustvo većeg broja relevantnih karakteristika projektnog zadatka sa jedne strane i mogućnost primene više različitih tehnologija sa druge strane. Nesrazmerno značaju ove problematike, u raspoloživoj literaturi broj radova posvećenih ovoj temi je mali. Otuda, osnovni cilj ovoga rada je da da doprinos u rešavanju ovog vrlo značajnog projektnog problema. U radu je predstavljen postupak za izbor tehnologije skladištenja baziran na primeni AHP metode. Primena ovog postupka demonstrirana je na rešavanju jednog tipičnog projektnog zadatka iz prakse.

**Ključne reči:** skladište, tehnologije skladištenja, paletne jedinice tereta, AHP

### **1. Uvod**

Tehnološko projektovanje skladišta je specifičan oblik projektovanja kojim se kreira/definiše tehnološko rešenje. Tehnološko rešenje treba da omogućiti da se realizacija tokova (materijala i informacija) u okviru skladišta realizuje na zahtevani način shodno prethodno definisanoj funkciji cilja. Često se u funkciji cilja pri projektovanju skladišta postavlja minimizacija ukupnih troškova potrebnih za formiranje i rad skladišta za zahtevani kapacitet, proizvodnost, servis stepen ili neki drugi tehnološki izmeritelj [1]. Proces projektovanja je višefazni iterativni proces [2] i podrazumeva donošenje većeg broja projektnih odluka različitog karaktera i nivoa. U pogledu dugoročnosti, obuhvata i stepena detaljnosti one se hijerarhijski strukturiraju kao odluke strateškog, taktičkog i operativnog karaktera [3]. Donošenje odluke/a o izboru tehnologije, kao odluke strateškog karaktera, ima izuzetan značaj sa posledicama na buduće funkcionisanje skladišta – njegove troškove i performanse. Ova/e odluka/e, u procesu projektovanja, se donose u

kontekstu generisanja i izbora tehnološke koncepcije<sup>1</sup>. Tada projektant generiše određeni broj varijantnih tehnoloških koncepcija, a potom, u daljim fazama procesa projektovanja od njih izabere preferentnu. Generisanje varijantnih tehnoloških koncepcija zavisi je od projektantovog: sagledavanja karakteristika zahteva, poznavanja potencijalno primenjivih tehnologija i od sposobnosti za njihovo kombinovanje i uklapanja u jedinstveno rešenje - tehnološku koncepciju. U rešavanju ovog projektnog problema projektanti su po pravilu vođeni prethodnim iskustvima (izvedenim rešenjima sličnih sistema) i preporukama proizvođača ove tehnologije. Kao pomoć pri izboru između različitih varijantnih tehnologija za odmeravanje njihovih karakteristika koriste: liste, matrice ili tabela [4, 5] koje sadrže ocenu potencijalnih tehnologija po različitim tehnološkim i ekonomskim izmeriteljima. Ono što komplikuje proces odlučivanja/izbora je da se on po pravilu sprovodi u uslovima prisustva konfliktnih ciljeva, zahteva, ograničenja i dr, a sve uz postojanje velikog broja potencijalno primenjivih varijanti. Sve ovo jasno upućuje na potrebu za jednim pogodnim metodološkim pristupom kao pomoćnim „alatom“ za rešavanje ovog složenog zadatka. Ovakav „alat“ po saznanju autora nedostaje u literaturi. Otuda, osnovni cilj ovoga rada je da predstavi postupak za izbor tehnologije skladištenja baziran na primeni AHP metode. Primena ovog postupka demonstrirana je na rešavanju jednog tipičnog projektnog zadatka iz prakse.

Rad sadrži četiri tačke. Nakon uvoda, druga tačka je posvećena analizi referentnih radova iz oblasti izbora tehnologija skladištenja. U trećoj tački, dat je postupak izbora tehnologija skladištenja baziran na primeni AHP (*engl. Analytic Hierarchy Process*). U četvrtoj tački demonstrirana je primena postupka iz tačke 3 na rešavanju jednog tipičnog projektnog zadatka iz prakse. Na kraju u zaključku su data zaključna razmatranja, kao i pravci daljeg istraživanja.

## 2. Pregled literature

Problemi izbora tehnologije u skladištu odnose se na izbor: tehnologije skladištenja, transportno-manipulativne tehnologije i tehnologije komisioniranja. Generalno ovoj problematici u literaturi je posvećen značajan broj radova. Fokus ovog rada je na izboru tehnologije skladištenja, pa je i pregled literature ograničen je pre svega na referentne radove posvećene ovom problemu. Takođe su predstavljeni i neki od radova posvećeni problemima izbora transportno-manipulativne tehnologije i tehnologije komisioniranja, pre svega sa aspekta primenjenih metoda odlučivanja.

*Izbor tehnologije skladištenja* bio je tema radova [6,7,8,9,10]. Autori rada [6] su predstavili analitičke modele za izbor tehnologije skladištenja za slučaj primene tehnologija : podnog skladištenja-blok, selektivnih regala, dvostrukih selektivnih i regala sa povećanom dubinom. Izbor tehnologije skladištenja se zasniva na troškovima prostora i manipulisanja kao osnovnim kriterijumima. U radu [7] tema je bila izbor tehnologija skladištenja sitnih pozicija. Upoređivane su sledeće tehnologije: police za ručno odlaganje i uzimanje, karuseli, AS/RS manjih jedinica i dr. Kao kritični faktor/kriterijum, pri izboru

---

<sup>1</sup> Tehnološka koncepcija predstavlja skup tehnologija kojima su obuhvaćeni svi tehnološki zahtevi (deo skladišnog zadatka) u jednom sistemu. Za potpuno definisanje tehnološke koncepcije pored izbora odgovarajućih tehnologija koje čine jednu tehnološku koncepciju, potrebno je dodati i informacije koje se odnose na način organizacije tj. oblik upravljanja i na oblast korišćenja prostora.

tehnologije, izdvojili su veličinu proizvoda koja deluju opredeljujuće da određena tehnologija bude odbačena. Pored tog kriterijuma, sprovedena je i troškovna analiza koja procenjuje ukupne troškove i omogućava konačan izbor. Rad [8] je posvećen izboru tehnologije skladištenja primenom drveta odlučivanja. Drvo odlučivanja predstavlja hijerarhiju kriterijuma relevantnih za izbor tehnologije. Prateći grane drveta odlučivanja izborom kriterijuma i njihove vrednosti usmerava se proces izbora. Na završnoj grani dolazi se do tehnologije koja ispunjava izabrane kriterijume. Autor rada [9] je razmatrao izbor skladišne tehnologije za skladištenja odeće primenom AHP metode. Predmet analize su tipične tehnologije skladištenja: blok tehnologija, selektivni paletni regal i regali povećane dubine skladištenja. Kriterijumi koje je autor uzeo u obzir su: cena opreme, iskorišćenost prostora, vreme komisioniranja po narudžbini, vreme obrta zaliha itd. U radu [10] autori su rešavali problem izbora automatizovanog ili manuelnog skladišta. Polazeći od minimizacije investicionih i operativnih troškova u funkciji cilja, uz uslov ispunjenja zadatog protoka/proizvodnosti. Za rešavanje postavljenog zadatka kreirali su u Excel-u svojevrsni DSS za podršku odlučivanju.

Radovi posvećeni izboru *transportno manipulativno tehnologije* zastupljeni su u literature u velikom broju. Shodno temi rada i prostornog ograničenja ovde su navedeni samo karakteristični radovi [11,12,13,14], a komentarisani u pogledu primenjenih metoda za izbor tehnologije samo radovi [11,14]. U radu [11] izvršeno je poređenje nekoliko različitih konvejera i (*Automated Guided Vehicles*) AGVs vozila. Za poređenje primenjuju veći broj metoda višekriterijumskog odlučivanja, kao što su: EDAS (*Evaluation based on Distance from Average Solution*), CODAS (*COmbinative Distance-based Assessment*) i MOORA (*Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis*). Autori rada [14] se bave izborom sredstava intralogistike. Za dobijanje ranga izabranih alternative/varijanti koristile dve metode: AHP metoda je korišćena za dobijanje težina kriterijuma, a MOORA za dobijanje konačnog ranga.

Posebnu vrstu problematike prilikom projektovanja skladišnih sistema predstavlja *izbor tehnologije komisioniranja* u komisionoj zoni. Ona je bila je tema radova [15,16,17]. Rad [15] je posvećen rešavanju problema izbora tipa komisijone zone. Za njegovo rešavanje autori predlažu metodološki postupak baziran na ključnim performansama sistema i analizi specifičnih troškova. U radu [16] tema je izbor tehnologije komisioniranja pojedinačnih jedinica robe. Za rešavanje ovog problema autori predlažu jedan empirijski postupak rešavanja baziran na izboru merodavnih kriterijuma za donošenje parcijalnih odluka. Rad [17] daje značajan doprinos metodama za rešavanje problema izbora tehnologije u komisionoj zoni. Za rešavanje ovog problema, i donošenje strateških odluka razvijen je model koji primenjuje neuronske mreže.

Uvidom u raspoloživu literaturu zaključuje se da je relativno malo istraživanja posvećeno problemu izbora tehnologije skladištenja, nesrazmerno značaju koji on ima za tehnološko projektovanje. Određeni aspekti problema bili su predmet rešavanja u gore citiranim radovima, ali još uvek ima značajnog prostora za dalje istraživanje. Analizirani radovi koji se bave izborom tehnologija skladištenja ne daju u potpunosti odgovore na ključna pitanja za projektanta: kako generisati varijantne tehnologije za zadate karakteristike projektnog zadatka i kako odabrati preferentnu varijantu. Većina autora se opredeljuje za izbor tehnologiju skladištenja primenom ograničenog broja kriterijuma najčešće troškova, protoka, iskorišćenja prostora i sl. Drvo odlučivanja predstavlja pogodan alat jer ono u suštini sledi način kako projektanti-eksperti razmišljaju o problemu izbora. Međutim, osnovni nedostatak ovog pristupa je što ne obuhvata većinu mogućih

scenarija (kombinacije kriterijuma i njihovih vrednosti), pa bi njegova primena bila pogodna samo u fazi generisanja varijanti za svodenje broja potencijalnih varijantnih tehnologija. Radovi posvećeni izboru transportno-manipulativne tehnologije (tehnologije rukovanja materijalima) u velikoj meri afirmišu primenu MCDM (*Multiple Criteria Decision Making*) metoda kao odgovor na kompleksnost koja prati ovu problematiku izbora. Ovo može da posluži kao primer i ukaže na mogućnost primene i na zadacima izbora tehnologije skladištenja, jer se radi o sličnoj klasi problema.

Navedeno jasno ukazuje da nema odgovarajućeg postupka koji problem rešava na sveobuhvatan način. Za prevazilaženje ovoga nedostatka u nastavku rada predstavljen je jedan postupak prilagođen potrebama praktičnog rešavanja problema izbora tehnologije skladištenja.

### 3. Postupak za izbor tehnologije skladištenja

Za rešavanje problema izbora tehnologije skladištenja predlaže se postupak prikazan na slici 1. Postupak se sastoji od 2 faze: I faza - generisanja prihvatljivih varijanti i II faza - izbor preferentne varijante. U okviru prve faze vrši se sužavanje skupa prihvatljivih varijanti u skup varijanti koje ispunjavaju postavljene uslove. To se postiže sagledavanjem karakteristika zadatka i kritičnih faktora/kriterijuma koji eliminišu određene potencijalne tehnologije od daljeg razmatranja. U drugoj fazi je taj skup varijanti predmet poređenja po definisanim/merodavnim kriterijumima. Za poređenje je korišćena AHP metoda, U okviru nje su izabrani relevantni kriterijumi na osnovu kojih su varijante poređene. Pored toga, potrebno je definisati i scenarije na osnovu kojih se testira dobijeno rešenje. Sledi kratak opis MCDM metoda, kao široko korišćenog pristupa za rešavanje ove klase zadataka odlučivanja, sa posebnim akcentom na AHP metodi.

Uzimajući u obzir prirodu problema, neophodno je sagledati problem sa više aspekata (kriterijuma ili atributa). MCDM metode su kompleksni alati za podršku odlučivanju jer sagledavaju kako kvalitativne, tako i kvantitativne aspekte problema. Vrlo često su kriterijumi konfliktni, što dodatno otežava problem. Neke od najčešće korišćenih metoda su: AHP, Topsis (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), Saw (*Simple Additive Weighting*) i dr. U daljem radu će biti detaljnije predstavljena AHP metoda.

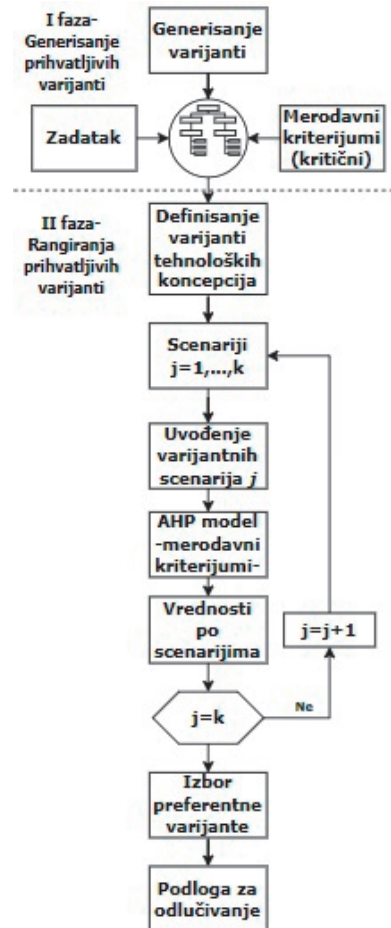
Ulazni podaci koji su potrebni jesu alternative, kriterijumi, vrednost alternativa po kriterijumima i težine kriterijuma. AHP metoda određuje težine kriterijuma metodom poređenja po parovima. Ovakvo poređenje je moguće usled hijerarhijske strukture AHP metode. Postavljeni cilj predstavlja svrhu donošenja odluka, odnosno razlog zbog čega donosioci odluka razmatraju postavljeni problem. Potrebno je izvršiti poređenje svih elemenata na jednom hijerarhijskom nivou u odnosu na element na višem nivou. AHP metoda razmatra i kvantitativne i kvalitativne kriterijume. Poređenje se vrši pomoću Saatyjeve skale koja je u rasponu od 1 do 9, i u recipročnoj vrednosti od 1/9 do 1. Što je broj veći prilikom ocenjivanja, to je preferentnost posmatranog elementa veća. Izlaz iz poređenja po parovima treba da bude određivanje težine kriterijuma i potkriterijuma, ali i alternativa u odnosu na kriterijume i potkriterijume. Nakon određivanja težina kriterijuma, vrši se agregacija svih ocena po kriterijumima za svaku alternativu. Nakon toga, dolazi se do ranga alternativa, od najbolje do najlošije [18]. U radu će biti korišćen softverski alat *Super Decisions* koji je zasnovan na AHP metodi.

Nakon izbora metode odlučivanja, neophodno je definisati/izabrati kriterijume<sup>2</sup> na osnovu kojih će tehnologije biti upoređivanje. Kriterijumi mogu biti kvantitativne ili kvalitativne prirode. Njih definiše donosilac odluke, gde on bira kriterijume koji su njemu značajni sa aspekta karakteristika zadatka.

Jedan od značajnih kvantitativnih kriterijuma jesu troškovi. U okviru troškova mogu se razlikovati nekoliko atributa: troškovi investicije, operativni troškovi, troškovi zemljišta i izgradnje objekta, troškovi održavanja i dr. Pored toga, još jedan od kriterijuma iz te grupe može biti iskorišćenost prostora, sa atributima iskorišćenost površine i iskorišćenost zapremine. Važni kriterijumi su i protok robe i gustina skladištenja. Mogu se razmatrati i kriterijumi kao što su maksimalna visina slaganja ili maksimalna dubina skladištenja [19].

Kao relevantni kvalitativni kriterijumi izdvajaju se [5] fleksibilnost, kvalitet usluge, rizik, efikasnost, selektivnost, odnosno, mogućnost pristupa svakoj jedinici skladištenja i dr. Njih je teže oceniti od kvantitativnih, a samim tim i izvršiti poređenje. Pored prethodno navedenih kriterijuma, u razmatranje mogu ući i bezbednost skladišne opreme, broj različitih artikala koje je moguće skladištiti (u odnosu na kapacitet), vek trajanja opreme, nivo zaliha koji obezbeđuju i dr. Za kriterijume koje je teško egzaktno odrediti koriste se ekspertske ocene.

Ovako definisani postupak primenjen je na realnom zadatku iz prakse koji je obrađen u sledećoj tački.



Slika 1. Algoritam postupka za izbor tehnologije skladištenja

#### 4. Projektni zadatak- Izbor tehnologije skladištenja

U ovom delu rada biće prikazan primer izbora tehnološke koncepcije za projektni zadatak čiji su osnovni parametri dati u tabeli 1.

U rešavanju ovakvog zadatka jedna od prvih odluka odnosi se na izbor između manualnih ili automatske sisteme. Za rešavanje ovog problema može se koristiti i drvo odlučivanja, koje na osnovu karakteristika zadatka usmerava donosioca odluke na određene tehnologije skladištenja [8, 20]. S obzirom na karakteristike projektnog zadatka u daljem radu će biti razmatrani samo manualni sistemi. Sledeći kritični faktor je pojavni oblik, koji diktira primenu određenih tehnologija skladištenja. Pri rešavanju problema nije

<sup>2</sup> Kriterijumi su sredstva za vrednovanje i poređenje alternativa izvedeni iz jasno definisanih ciljeva, a kreirani na osnovu jednog ili više srodnih atributa pridruženih alternativama [18].

uzeta u obzir strategija rotiranja zaliha. Ukoliko bi bila izabrana FIFO (*First in First Out*) strategija, to bi kao kritičan kriterijum isključilo određenu grupu tehnologija iz daljeg razmatranja.

Tabela 1- Karakteristike projektnog zadatka

Karakteristike zadatka	
Pojavni oblik	Paleta
Kapacitet [br. paleta]	6000
Dimenzije paletnog paketa [mm]	1200x800x1300
Nivo zaliha [br. paleta po artiklu]	Od 1 do 20
Protok [br. paleta/dan]	od 300 do 600
Veličina asortimana [br. artikala]	od 100 do 500

Uzimajući u obzir karakteristike zadatka i kritične faktore (na bazi primene drveta odlučivanja) došlo se do skupa izvodljivih tehnologija koje će biti predmet poređenja po kriterijumima. Te tehnologije su: selektivni paletni regali i mobilni paletni regali, blok skladište (sa unificiranim poljima), *push-back* i prolazni regali (*drive-trough*). Ove tehnologije skladištenja će biti poređene po nekoliko kriterijuma iz skupa prethodno definisanih. Kriterijumi koji su izabrani za potrebe ovog rada su: troškovi, pokazatelji iskorišćenosti prostora, nivo zaliha, protok i veličina asortimana.

U okviru kriterijuma troškova definisani su potkriterijumi troškovi investicija i troškovi izgradnje objekta, a kod kriterijuma iskorišćenosti prostora definisani su potkriterijumi iskorišćenost površine i gustina skladištenja. Operativni troškovi nisu uzeti u razmatranje.

Troškovi investicije predstavljaju cenu nabavke i instalacije skladišne opreme. Ovi troškovi se izražavaju novčanim jedinicama po paletnom mestu. Troškovi izgradnje predstavljaju cenu izgradnje objekta za dati kapacitet [5]. Za svaku tehnologiju posmatrana je tehnološka koncepcija kapaciteta 6000 paletnih mesta. Svaka od njih zahteva različitu potrebnu površinu za izgradnju objekta. Potrebna površina u funkciji je od visine i dubine skladištenja. Za selektivne paletne regale visina je 6 paletnih mesta, dok je za mobilne paletne regale to 5 paletnih mesta. Dubina skladištenja za obe tehnologije je jedno paletno mesto. Za blok tehnologiju skladištenja visina slaganja je 4 paletnih mesta, dok je dubina 5. Kod *push-back* i kod prolaznih regala, visina slaganja je 5 paletnih mesta, dok je dubina slaganja 5, odnosno, 4 paletna mesta. Iskorišćenost površine predstavlja odnos površine koju zauzimaju palete i ukupne površine skladišta. Gustina skladištenja predstavlja odnos kapaciteta i površine skladišta. Nivo zaliha se odnosi se na to koliko zaliha jednog proizvoda se nalazi u sistemu. U posmatranom primeru, nivoi zaliha za proizvode se kreću u opsegu od 1 do 20 paleta. Pri poređenju tehnologija preferentnija je ona koja omogućava skladištenje veće količine zaliha. Protok predstavlja broj paleta koje se na dnevnom nivou otpreme iz skladišta. Veličina asortimana se odnosi na broj različitih artikala koji se nalaze u skladištu.

Ulazni podaci za primenu AHP metode dati su u tabeli 2. Podaci su dobijeni na više načina. Vrednosti za troškove i protok su preuzeti iz referentnih radova [4, 5, 21, 22], dok su pokazatelji iskorišćenosti i veličine asortimana proračunati za standardnu konfiguraciju skladišnog sistema koji obezbeđuje kapacitet od 6000 paletnih mesta. Veličina asortimana je ocenjena sa aspekta maksimalnog broja različitih artikala koji mogu da se nađu u skladištu definisanog kapaciteta. Na osnovu vrednosti alternativa po kriterijumima vrši se njihovo poređenje po parovima na Satty-jevoj skali pri određivanju

relativnih važnosti poređenih elemenata. Kriterijumi koji su kvantitativne prirode su poređeni na osnovu svojih vrednosti, dok su vrednosti kvalitativnih kriterijuma izražene na ordinalnoj skali (od 1 do 5) i na osnovu toga su upoređeni. Kriterijum troškova je jedini minimizacionog tipa, dok su svi ostali maksimizacionog.

Tabela 2- Vrednosti alternativa po kriterijumima (na bazi [4, 5, 21, 22])

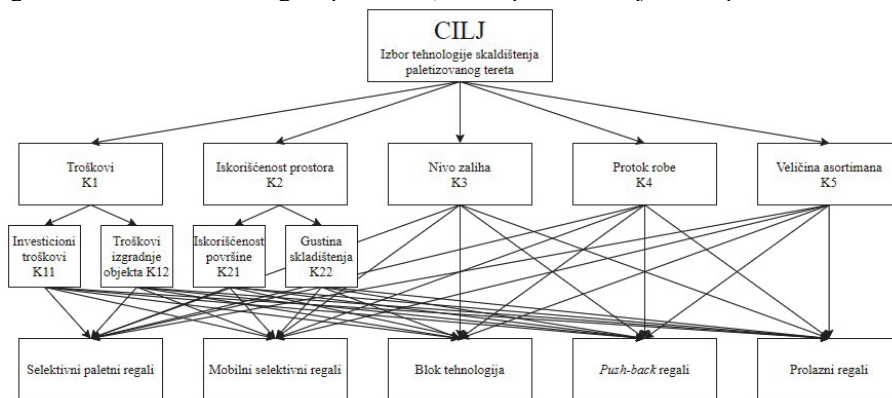
Tehnologija		Selektivni regali	Mobilni selektivni regali	Blok tehn.	Push-back regali	Prolazni regali
Kriterijum						
Troškovi	Investicije (€/pal. mestu)	63	180	0	260	173,5
	Izgradnje objekta (€)	716 760	460 560	605 040	516 060	559 380
Iskorišćenost prostora	Površine	0,4	0,71	0,71	0,67	0,62
	Gustina skladištenja (pal/m <sup>2</sup> )	2,51	3,26	2,97	3,49	3,22
Nivo zaliha (po artiklu)		Nizak	Nizak	Veoma visok	Umeren	Veoma visok
Protok		Veoma visok	Nizak	Umeren	Visok	Nizak
Asortiman		Veoma veliki	Veliki	Veoma mali	Umeren	Veoma mali

Na Slici 2 je prikazana hijerarhijska struktura modela u skladu sa opisom AHP metode u četvrtom poglavlju. Problem se struktuiru u prvom koraku algoritma, gde se na samom vrhu, na nultom nivou, nalazi cilj. Cilj je izabrati tehnologiju skladištenja paletnih jedinica tereta. Na prvom nivou se nalaze kriterijumi, dok se na drugom nalaze potkriterijumi definisanih kriterijuma. Na trećem, poslednjem, nivou se nalaze alternative, odnosno, varijantne tehnologije skladištenja.

Za određivanje najboljeg rešenja iz skupa definisanih tehnologija korišćen je softver *SuperDecisions*. Na početku su definisani scenariji. Oni se međusobno razlikuju po težinama kriterijuma. Rezultat dobijen u prvom scenariju prikazan je na Slici 3. Dobijeno je da je najbolje rešenje selektivni paletni regal, što je i očekivano. Ovakvo rešenje pre svega zavisi od izabranih kriterijuma, ali i od subjektivnih ocena koje je donosilac odluka dao kriterijumima. Ukoliko bi ocene dao drugi donosilac odluka, ili veći broj stručnjaka iz ove oblasti, poredak bi se verovatno razlikovao. Što je i pokazano analizom robusnosti. Ona je prikazana na slici 3 (II, III i IV scenario). Težine kriterijuma koje su korišćene u analizi robusnosti su date u tabeli 3.

Mobilni selektivni regali se uglavnom primenjuju za specifične karakteristike zahteva. Njihove prednosti su to što imaju veliku iskorišćenost prostora i veliku gustinu skladištenja. Nedostaci se ogledaju u visokim investicionim troškovima i mogu se koristiti za robe sa niskim koeficijentom obrta (protokom). Ova tehnologija ne omogućava visok protoka jer se operacije uskladištenja/iskladištenja mogu vrši samo u jednom prolazu, a za otvaranje/postavljanje novog prolaza potrebno je dodatno vreme. Blok tehnologija

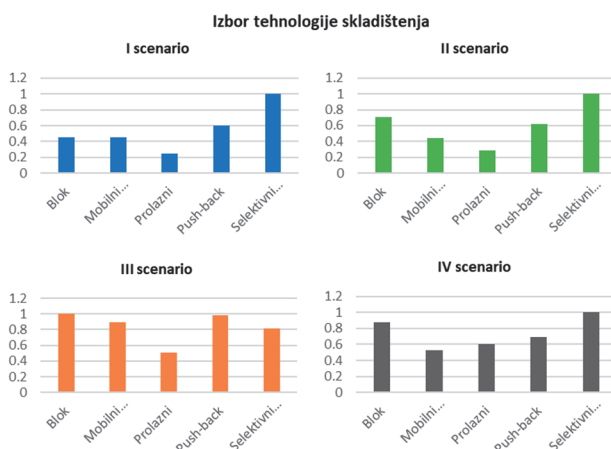
skladištenja je veoma pogodna sa aspekta investicionih troškova i iskorišćenosti površine prostora, međutim, može se koristiti za robu sa ograničenim asortimanom. *Push-back* i prolazni regali odlično koriste prostor, ali su veoma skupi i imaju malu selektivnost. Takođe, ograničeni su i veličinom asortimana jer se kod *push-back* regala u jednom kanalu mogu skladištiti samo homogeni proizvodi, a kod prolaznih u jednom prolazu.



Slika 2- AHP model izbora tehnologije skladištenja paletizovanog tereta

Tabela 3- Težine kriterijuma po scenarijima

Scenario \ Kriterijum	I	II	III	IV
Troškovi	0,08	0,31	0,23	0,07
Iskorišćenost prostora	0,14	0,15	0,41	0,09
Nivo zaliha	0,07	0,04	0,06	0,37
Protok robe	0,43	0,41	0,20	0,24
Vel. asortimana	0,28	0,10	0,10	0,23



Slika 3- Rezultati modela u *SuperDecisions*



## 7. Zaključak

Za izbor tehnologije skladištenja u radu je predložen postupak izbora baziran na primeni AHP metode. Primenljivost postupka demonstrirana je na jednom realnom zadatku iz prakse. Postupak se pokazao kao efikasan. Zbog uvođenja određenih pretpostavki/pojednostavljenja potrebno je dobijene rezultate prihvatiti kao preliminarno rešenje. Za dobijanje pouzdanijih rezultata potrebno je u postupak uvesti optimizovane varijantne tehnoloških koncepcija i veći broj kriterijuma-scenarija. Pored ovoga, neki od pravaca budućih istraživanja su ispitivanja mogućnosti primene drugih pristupa za određivanje najbolje alternative, neka druga MCDM metoda ili kombinacija više metoda. Takođe, ovaj postupak bi mogao da posluži i kao pogodna osnova za razvoj budućeg DSS (*Decision Support System*) za rešavanje ovakve vrste problema.

## Literatura

- [1] Đurđević, D. B. (2013). Razvoj modela za izbor i uobličavanje komisione zone. Univerzitet u Beogradu.
- [2] Baker, P., and Canessa, M., (2009), Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research* 193: 425–436.
- [3] 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.
- [4] Arif, A., & Conner, G., (2020). How Much Does Pallet Racking Cost?, preuzeto sa: <https://www.bastiansolutions.com/blog/how-much-does-pallet-racking-cost/>,
- [5] Dijker, W., & van Kuijk, M. (2005). European standardization in warehouse design: A myth?, A white paper on warehouse design challenges throughout Europe
- [6] Matson, J.O., & White, J.A., (1981). Storage System Optimization. Production and Distribution Research Center. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.
- [7] Sharp GP, Vlasta DA, Houmas CG. 1994. Economics of storage/retrieval systems for item picking. Atlanta, Georgia: Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology
- [8] Rusthton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2010). The Handbook of Logistics & Distribution Management. The Chartered Institute of Logistics and Transport, Use.
- [9] Indap, S. (2018). Application of the Analytic Hierarchy Process in the Selection of Storage Rack Systems For E-Commerce Clothing Industry. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 5(4), 255-266.
- [10] Zaerpour, N., Volbeda, R., & Gharehgozli, A. (2019). Automated or manual storage systems: do throughput and storage capacity matter?. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 57(1), 99-120. DOI: 10.1080/03155986.2018.1532765.
- [11] Mathew, M., & Sahu, S. (2018). Comparison of new multi-criteria decision making methods for material handling equipment selection. *Management Science Letters*, 8(3), 139-150. DOI: 10.5267/j.msl.2018.1.004.
- [12] Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65. DOI: 10.311181/dmame1901065f.

- [13] Zubair, M., Maqsood, S., Omair, M., & Noor, I. (2019). Optimization of material handling system through material handling equipment selection. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 15(2), 235-243.
- [14] Satoglu, S. I., & Türkekul, İ. (2021). Selection of Material Handling Equipment using the AHP and MOORA. *Jurnal Teknik Industri*, 22(1), 113-124. DOI: 10.22219/JTIUMM.Vol22.No1.113-124.[
- [15] 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, 27. maj 2011, Portorož, Slovenija. (ISSN 978-961-6044-92-9)
- [16] Đurđević, D., Miljuš, M., (2019), Piece picking technology selection, Proceedings of the 4th Logistics International conference, Belgrade, Serbia, 23-25 May 2019, pp 263-273.
- [17] van der Gaast, J. P., & Weidinger, F. (2022). A deep learning approach for the selection of an order picking system. *European Journal of Operational Research*. DOI: 10.1016/j.ejor.2022.01.006.
- [18] Dimitrijević, B. (2017). Višeatributivno odlučivanje–primene u saobraćaju i transportu. Beograd, Srbija: Univerzitet u Beogradu–Saobraćajni fakultet.
- [19] Holzhauser, R. (2001). Comparing unit load storage racks. *Plant Engineering*, 55(1), 36-41.
- [20] 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.
- [21] Richards, G., & Grinsted, S. (2020). *The Logistics and Supply Chain Toolkit: Over 100 Tools for Transport, Warehousing and Inventory Management*. Kogan Page Publishers.
- [22] Gudehus, T., & Kotzab, H. (2012). *Comprehensive logistics*. Springer Science & Business Media.

**Abstract:** *Technological warehouse design is characterized by making various design decisions. Among them, the decision on the choice of storage technology in the warehouse space is of particular importance. In the process of technological warehouse design, this decision is made in the phase of generating technological concepts. Then it is necessary for the designer, according to the project task, to generate a certain number of potentially applicable technological concepts and then choose one of them. It is a complex problem, the successful solution of which depends on the future functioning of the warehouse. Making a design decision is complicated by the presence of a large number of relevant characteristics of the design task on the one hand and the possibility of applying several different technologies on the other hand. Disproportionately to the importance of this issue, the number of works devoted to this topic in the available literature is small. Therefore, the main goal of this work is to contribute to the solution of this very important design problem. The paper presents the procedure for choosing a storage technology based on the application of the AHP method. The application of this procedure is demonstrated by solving a typical design task from practice.*

**Keywords:** *warehouse, storage technologies, pallet units of loads, AHP*

## SELECTION OF STORAGE TECHNOLOGY

Dragan Đurđević, Nikola Pavlov, Mladen Božić