

## Pametna skladišta i autonomni roboti

### Sažetak

*U radu su pojašnjene nove tehnologije i njihova uloga u dehumanizaciji tradicionalnih skladišta. Pametna skladišta i primjena suvremenih tehnologija uz primjenu umjetne inteligencije ostvaruje sve veću integraciju s ljudima i to kroz upotrebu autonomnih robota. U radu je pojašnjen pristup rada sustavima kretanja velike količine podataka putem Internet of Things-a, zatim upotrebom trenutno najnovije senzorske tehnologije Light Detection and Ranging tehnologije kao alat za uspješno rukovanje autonomnim robotima, snalaženjem u unutarnjim i vanjskim skladištima te redukcijom kretanja istih. Za kvalitetno rukovanje pametnim skladištem i prikupljenim velikim podacima pojašnjene su sustavi upravljanja skladištem poput Warehouse management system i Inventory management system. U ovom radu biti će prikazani primjer upotrebe autonomnih robota i pojašnjen dijagram sustava upravljanja skladišnim zalihama kao jedan od bitnih činitelja za redukcijom troškova poslovanja skladišta.*

**Ključne riječi:** pametna skladišta, autonomni roboti, IoT, LiDAR, senzori

### Uvod

Rast poljoprivrednog sektora neophodan je za razvoj gospodarskog stanja svake zemlje. Uvođenjem automatizacije u poljoprivrednu proizvodnju, prinos je poboljšan (Gondchawar i sur. 2016). Nayak i sur. (2022) navode kako automatizacijom s informacijskom tehnologijom, poljoprivreda se može učiniti pametnom, korištenjem Interneta stvari (IoT). Danas se primjena IoT-a (eng. Internet of things) brzo širi i razvija korištenjem senzorskih mreža. Mekala i sur. (2017) navode kako je Internet stvari jedna je od najbrže razvijajućih tehnologija. Brojni autori (Sridevi i sur., 2024., Affia i sur., 2021, Čolaković i sur., 2020, Vukičević i sur., 2021) navode kako IoT, veliki podaci i složene računalne tehnike koriste se za podršku

*1 doc. dr. sc. Domagoj Zimmer, prof. dr. sc. Luka Šumanovac, prof. dr. sc. Mladen Jurišić, izv. prof. dr. sc. Ranko Gantner, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31 000 Osijek, Hrvatska*

*2 prof. dr. sc. Stjepan Sito, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska*

**Autor za korespondenciju:** dzimmer@fazos.hr

pametnim poljoprivrednim operacijama omogućenim IoT-om. Tiwari (2023) navodi kako su skladišta ključne komponente logističke industrije jer njihova operativna učinkovitost određuje operativnu učinkovitost logistike.

Uvođenjem tehnologija Industrije 4.0, uloga skladišta se dramatično promijenila, opseg skladišnog poslovanja se proširio i uveden je koncept pametnog skladišta, koji označava povećanu automatizaciju tradicionalnih skladišnih funkcija. Pametna skladišta imaju za cilj poboljšati ukupnu kvalitetu usluge, produktivnost i učinkovitost uz istovremeno smanjenje troškova i kvarova. Prema Sai Chitti (2021) skladište je mjesto gdje se skladište žitarice primljene od proizvođača prije nego što se otpreme u odgovarajuće trgovine. Arun i sur. (2024) navode kako je za pametni sustav kod nadzora skladišta žitarica upotrijebljen sustav Internet stvari kako bi se osigurala sigurnost robe. Sustav koristi nekoliko senzora Interneta stvari za praćenje različitih elemenata, uključujući razinu dimnih plinova, razinu vlažnosti i temperature u skladištu, otkrivanje požara i stvaranje vode na žitaricama. Korištenje senzora težine omogućuje prikupljanje sveobuhvatnih i dobro organiziranih informacija o zaliha. Korištenje senzora mirisa koji mogu otkriti trule mirise omogućuje lociranje i uklanjanje pokvarene robe iz skladišta. Prema Selvaraj i sur. (2021) pametna skladišta koriste analizu statusa cijelog sustava i to putem RFID (engl. Radio-Frequency Identification) i IoT-a. RFID oznaka se koristi za pristup sensorima i Arduino sustavu kao često izabranom sustavu početničke robotike koji odlikuje niski troškovi nabavke. Pomoću RFID čitača i Wi-Fi modula informacije idu do IoT-a i na kraju se kreira daje zvuk upozorenja, a identificirani problem se brzo ispravlja. Raghuvanshi i sur. (2021) navode kako se integracijom Arduino tehnologije u skladišta i brojnih detektora, prikupljeni podaci se mogu uživo preuzeti online putem mobilnog telefona. Navedena tehnologija omogućuje sustavu sposobnost prikupljanja informacija poput vlage, vlažnosti, temperature i slično. Prema Kamali (2019) pametna skladišta se grade na temelju strukturnih nadogradnji koje pokrivaju sve najnovije tehnologije, više stropove i jaču klimatizaciju (roboti vole hladnoću), kako bi aktivnosti bile glatke i učinkovitije, uz uštedu troškova rada, smanjenje pogrešaka i generiranje veće produktivnosti. Kamali (2018) navodi kako su glavne karakteristike pametnog skladištenja temeljene na robotskim sustavima i drugim modernim značajkama poput: IoT, računarstvo u oblaku (eng. Cloud Computing), Tehnologija automatske identifikacije (eng. Automatic Identification Technology - AID) i „Blockchain“ kao tehnologija baze podataka. Prema (Tiwari, 2021; Tiwari 2022a; Tiwari i Raju, 2022; Tekinerdogan, 2017) usvajanje novih tehnologija poput gore navedenih, zatim analizom velikih podataka, upotrebom umjetne inteligencije, strojnog učenja, dubokog učenja i robotike ima potencijal potpuno transformirati skladišne operacije.

Jabbar i sur. (2018) te Liu i sur. (2018). navode kako je pametno skladište ono koje je izgrađeno da bude što učinkovitije i uključuje najbolje prakse i sofisticiranu tehnologiju. Kao rezultat toga, pametno skladište može raditi s visokim stupnjem učinkovitosti na tržištu koje se stalno mijenja. U pametnom skladištu, prikupljanje, računovodstvo i isporuke trebaju biti automatizirani, bez papira i bez posade. Isti autori navode kako se u pametnim skladištima upotrebljavaju kibernetičko-fizički sustavi-CPS (eng. Cyber-Physical Systems), koji omogućuju stvaranje virtualnih prikaza industrijskih operacija. Roboti, ljudi, CPS uređaji i zalihe četiri su elementa pametnih skladišta temeljenih na CPS-u. Prema Min (2023) u središtu pametnog skladišnog sustava je kibernetičko-fizički sustav koji omogućuje autonomno donošenje odluka na temelju besprijekorne integracije kibernetičkih (računalnih) i fizičkih komponenti (npr. strojeva) te informacija u stvarnom vremenu prikupljenih iz IoT-a. Vukelić (2020) navodi kako automatizacija skladišta omogućena je napretkom tehnologije točnije

uvođenjem robota. Prema navodima Majchrzak (2020) autonomni mobilni roboti (AMR) predstavljaju relativno novu tehnologiju koja postepeno pronalazi svoje mjesto u skladišnoj industriji i ostalim industrijama. Autori Raj i sur. (2022) navode kako mobilni roboti koji se mogu samostalno kretati, pojavili su se u stvarnom svijetu prije otprilike 100 godina tijekom Drugog svjetskog rata nakon napretka u računalnoj znanosti, nakon implementacije umjetne inteligencije (AI) u robotici, postali su autonomni ili inteligentniji. Prema Le Ahn i Koster (2006) razvoj autonomnih mobilnih robota potaknula je potreba za većom fleksibilnošću, ne samo u navigacijskim sposobnostima nego i ostalim uslugama koje mogu pružiti. AMR-ovi mogu pružiti brojne usluge izvan transporta i operacija rukovanja materijalom, kao što su patroliranje i suradnja s operaterima. Stojanović (2008) navodi kako skladišta mogu biti prema stupnju mehanizacije: Niskomehanizirana ili klasična skladišta, Visokomehanizirana skladišta, Automatizirana i Robotizirana skladišta.

### **Autonomni roboti (AMR)**

Autonomni mobilni roboti (AMR) su jedno od najnovijih i najinovativnijih automatiziranih rješenja na tržištu. To su samoupravljujući uređaji koji dolaze u raznim oblicima, s različitim funkcijama i mogućnostima. Autonomni mobilni roboti postaju sve složeniji, napredovali su od tehnologije koja je zahtijevala mehanizme usmjerenja (poput vodiča, magnetske vrpce i drugih navigacijskih oznaka) do toga da mogu samostalno skenirati objekt, izbjegavati prepreke na koje nailaze i zaobilaziti djelatnike uz pomoć kombinacije lasera, skenera, 3D kamera i audio-vizualnih indikatora upozorenja. Mogu identificirati gdje se nalaze stvari u skladištu, izračunati najučinkovitiji put za prikupljanje i odlaganje te se vratiti na stanice za punjenje kad su im baterije skoro prazne. AMR se razlikuju od AGV po stupnju autonomije, samostaljniji su i neovisniji. Ti roboti su kreirani za suočavanje sa najsPECIFICNIJIM izazovima u tipičnom industrijskom okruženju. Neki AMR roboti su dizajnirani na način da im je potrebno malo ljudskog prisustva, dok su drugi dizajnirani kao pomoćni roboti namijenjeni zajedničkim operacijama s ljudima. Autonomni roboti za inventure (eng. Autonomous Inventory Robots) su AMR-ovi koji mogu pojednostaviti upravljanje zalihama skladišta. Ručno prebrojavanje je nezgodno do te mjere da se ovi projekti često odgađaju i izvode mnogo rjeđe nego što bi trebali. Zato autonomni roboti za inventure mogu potencijalno obavljati preglede zaliha koristeći proizvode označene RFID-om svakih nekoliko sati kako bi upraviteljima lanaca opskrbe osigurali ažuriranje podataka u stvarnom vremenu za razliku od tradicionalnog ručnog prebrojavanja inventara (Engineering, 2017.).

Automatski vođena vozila koja se koriste u pametnim skladištima (Slika 1. i Slika 2.) i distribucijskim centrima premještaju terete po lokacijama i pripremaju ih za otpremu/utovar, primanje ili premještanje s transporterom na određena mjesta unutar skladišta. Navedena vozila omogućuju veći broj ponavljanja uz učinkovito kretanje materijala/sirovine tijekom proizvodnog procesa. Kako bi cjelokupan proces bio s što manje nepotrebnih radnji i ponavljanja nužan je odgovarajući softver za upravljanje skladištem. Pametna skladišta upotrebljavaju tehnologiju i stupanj automatizacije kako bi podigla razina učinkovitost i točnost skladištenja određenog proizvoda. Spomenuta skladišta koriste robotske sustave (Slika 3.), prilagođeni stupanj umjetne inteligencije potreban za adekvatno kretanje autonomnih robota te razvijenu wi-fi mrežu s IoT senzorima za optimizaciju cjelokupnog procesa. Prema Bajević (2021.) autonomni mobilni roboti su samoupravljački roboti koji dolaze u različitim oblicima i s raznim funkcionalnostima prilagođenima potrebama klijenata. Ovi roboti mogu samostalno skenirati objekte i navigirati kroz skladište koristeći mape za obilazak prepreka

pomoću lasera i 3D kamera. Autonomni roboti izračunavaju najučinkovitije rute za kretanje kroz skladište, brzo dolaze do proizvoda i vraćaju se na stanicu za punjenje baterija.



**Slika 1.** Automatizacija skladišta i robotske tehnologije (Izvor: <https://www.lightguidesys.com>) / **Figure 1.** Warehouse automation and robotic technology (Source: <https://www.lightguidesys.com>)



**Slika 2.** AGV u proizvodnji (Izvor: <https://www.igz.com/en/blog/agvs-in-production-supply/>) / **Figure 2.** AGV in production supply (Source: <https://www.igz.com/en/blog/agvs-in-production-supply/>)



**Slika 3.** Robot Ryder pri definiranju skladišta (Izvor: <https://newsroom.ryder.com/news/news-details/2019/Ryder-Redefines-the-Smart-Warehouse-Deploys-Innovative-Mix-of-Startup-Technologies/default.aspx>) / **Figure 3.** Ryder robot defining the warehouse (Source: <https://newsroom.ryder.com/news/news-details/2019/Ryder-Redefines-the-Smart-Warehouse-Deploys-Innovative-Mix-of-Startup-Technologies/default.aspx>)

Kibernetičko-fizički sustav su danas uglavnom autonomni mobilni roboti koji imaju sposobnost donošenja odluka koristeći integraciju software-a i fizičkih komponenti poput strojeva koji prikupljene informacije u realnome vremenu koriste putem IoT-a. Današnji autonomni mobilni roboti su sustavi složeni od senzorske tehnologije, velike količine podataka (eng. Big data) koja se kreće putem bežičnih mreža, otvorenih i zatvorenih ovisno o potrebi proizvodnje i skladište-

nja. Velika količina podataka se putem IoT infrastrukture izračunava i umrežava u druge skladišne objekte koji imaju mogućnost primanja i slanja podataka (pametni objekti) (Min, 2022a; Min 2022b, NSF 2022). Upotreba autonomnih mobilnih robota omogućuje dehumanizaciju skladišta i to na način da omogućuje ljudima više vremena za druge obaveze i kvalitetniji prostor pri skladištenju uz redukciju ljudske pogreške pri pozicioniranju što direktno pozitivno utječe na bolju prilagodljivost većim i bržim skladišnim potražnjama. Integracija autonomnih mobilnih robota i IoT-a omogućuje kvalitetnu vezu između grupe strojeva (M2M-machine to machine) i samim time kvalitetniji lanac opskrbe. Korištenjem software-a i inteligentnih rješenja omogućuje se putem pametnih skladišta dijagnostika skladištenja te komunikacija između robota (Slika 4.), čovjeka i opreme gdje se postiže brza rekonfiguracija skladišta. Komponente koje su sastavni dio pametnih skladišta su: AMR, cloud computing, IoT, razne digitalno povezane platforme te software za upravljanje skladištem (eng. WMS – warehouse management system).



**Slika 4.** Primjer integracije IoT-a u pametnom skladištu (Izvor: <https://eleks.com/blog/iot-enabled-smart-warehouse/>)

**Figure 4.** Example of IoT integration in a smart warehouse (Source: <https://eleks.com/blog/iot-enabled-smart-warehouse/>)



**Slika 5.** IoT u poljoprivredi: 7 praktičnih primjena tehnologije (Izvor: <https://lvivity.com/iot-in-agriculture-practical-uses>)

**Figure 5.** IoT in Agriculture: 7 Practical Uses of the Technology (Source: <https://lvivity.com/iot-in-agriculture-practical-uses>)

### Internet of things

„Internet of things“, odnosno na hrvatskom: Internet stvari, ima mnogo definicija, a jedna od njih definira „Internet of Things“ kao platformu koja ožičenom ili bežičnom mrežom unikatno prepoznatljivih, međusobno sparenih uređaja, predmeta, životinja i ljudi može analizirati podatke i međusobno komunicirati sa ili bez ljudske uključenosti, a najkraća definicija je da je to mreža koja povezuje pametne stvari (Nagpure, 2016.). „Internet of things“ će utjecati na agronomiju, građevinu, automobilsku industriju, zdravstvo i trgovinu. Uspješno usvajanje IoT-a u industrijama oslanjat će se na poboljšanu infrastrukturu, poboljšane propise o podacima te na pojačanu sigurnost (Slika 5.). Sustav Internet stvari sastoji se od pametnog uređaja s kojim upravlja korisnik putem aplikacije kroz Internet mrežu. Aplikacija koja se koristi ne mora biti povezana sa stvarima nego sa servisom u kojem se podaci skladište i obrađuju. Navedeni sustav se sastoji od uređaja, pristupnika, servisa u oblaku te aplikacije (Slika 6.). Glavna prednost Internet stvari je njegova velika mogućnost povezivanja. Pomoću Internet stvari možemo uspješno pratiti i upravljati složenim energetske sustavima, samim time poboljšava se energetska učinkovitost, postiže se bolja sinkronizacija različitih energetske sustava i poboljšava se ekonomski aspekt (Nižetić i sur., 2020.).



**Slika 6.** Sustav IoT-a (Izvor:[https://miro.medium.com/max/875/1\\*QKXuTlksH7RbleoxqEQLFQ.jpeg](https://miro.medium.com/max/875/1*QKXuTlksH7RbleoxqEQLFQ.jpeg) / **Figure 6.** IoT system ([https://miro.medium.com/max/875/1\\*QKXuTlksH7RbleoxqEQLFQ.jpeg](https://miro.medium.com/max/875/1*QKXuTlksH7RbleoxqEQLFQ.jpeg))

Temperature-temperatura, Location-lokacija, Weather-vrijeme, Movement-kretanje, Environment-okolina, Gateway-pristupni uređaj za protok jedne mreže prema drugoj, Cloud/Server-mjesto pohrane podataka, Desktop i Mobile-uređaji za komunikaciju i rad s podacima, Web-internet

### Software za upravljanje skladištem (WMS – warehouse management system)

Software za upravljanjem sustavom skladišta se danas zove WMS (eng. warehouse management system) pomoću kojeg rukovoditelji upravljaju cijelim pametnim skladištem. Korištenjem WMS-a rukovoditelj može nadgledati i kreirati bolje radne skladišne operacije uz optimizaciju postojećih skladišnih proizvoda. Na spomenuti način se mogu pojednostaviti svi aspekte skladišnih operacija. Navedeni sustavi omogućuje uvid u razinu zaliha, status određene narudžbe i raspodjelu postojećih resursa u stvarnom vremenu uz minimalne greške. Koristeći WMS sustav može se upravljati autonomnim mobilnim robotima. Prema Min (2006) ključni ciljevi WMS-a uključuju: uklanjanje pogrešaka u ispunjavanju narudžbi identifikacijom proizvoda i kontinuiranim brojanjem ciklusa, slanje i primanje kritičnih informacija o kupcima/skladištu s minimalnim vremenom isporuke putem elektroničkog prijenosa, maksimiziranje produktivnosti rada upravljanjem i određivanjem prioriteta zadataka, maksimiziranje iskorištenosti prostora odabirom odgovarajuće lokacije za skladištenje, smanjenje zahtjeva za zalihama i rukovanjem kontinuiranim protokom informacija. Trenutno postoje četiri tipa WMS-a i to: WMS u oblaku, Samostalni WMS, Integrirani ERP ili softver za upravljanje zalihama i Moduli lanca opskrbe (Slika 7.)



**Slika 7.** Izvedbe WMS-a

(Izvor: <https://www.cin7.com>)

### Figure 7. Types of WMS

(Source: <https://www.cin7.com>)

Cloud-based WMS- softversko rješenje smješteno na internetu koje pomaže u upravljanju i kontroli skladišnih operacija i zaliha, Standalone WMS- je specijalizirana softverska aplikacija koja se isključivo fokusira na upravljanje skladišnim operacijama, Integrated ERP or IMS- je sustav koji kombinira više tokova podataka, od prognoza potražnje do obveza prema dobavljačima, Supply chain modules- Moduli lanca opskrbe su funkcionalna područja unutar sustava upravljanja lancem opskrbe (SCM) koja obrađuju specifične procese.

Navedeni sustavi pomažu kod optimiziranja rasporeda skladištenja uz sugeriranje najbolje lokacije na pozicijama za smještaj različitih artikala ovisno o gabaritnim dimenzijama, masi proizvoda te potrebi za brzim izuzimanjem. Navedena optimizacija omogućuje maksimizaciju i obujam skladišta te redukciju transportnih ruta prilikom izuzimanja proizvoda. Brojni WMS sustavi mogu se integrirati s ostalim sustavima poput digitalni radnih uputa, skenera barkodova te automatiziranih robotskih sustava. Odlika WMS sustava je analitika, odnosno pružanje brojnih izvještaja o vremenu preuzimanja proizvoda, ispunjenja narudžbi te u konačnosti iskoristivost skladišnih kapaciteta. Navedeno izvješće omogućuje osim spomenutog i mogućnost optimizacije skladišnog rukovanja što direktno utječe na smanjenje ljudske pogreške i bolje upotreba resursa.

### Software za upravljanje zalihama (IMS, eng. Inventory Management Systems)

Kako bi se omogućilo u pametnim skladištima u stvarnom vremenu upravljanje zalihama koriste se software-i za upravljanje zalihama (Slika 8.). Navedeni sustavi vode evidenciju o količini proizvoda u pametnim skladištima u stvarnom vremenu što kreira znatno bolji uvid u stanje i količinu proizvoda kako bi se reducirala mogućnost nestašice određenog proizvoda ili dugo skladištenje istog što također može unijeti negativno financijsko djelovanje na pametno skladište. IMS sustavi analiziraju sve podatke i nude predikciju buduće potražnje određenog proizvoda. IMS može generirati izvješća o različitim aspektima zaliha, kao što su trendovi kretanja zaliha, popularnost proizvoda i stope prometa zaliha što bitno utječe na kapital pametnih skladišta (Smart Warehousing Technologies, 2024.). Prema Warehouse Zebra vision study (2023.) ključni ciljevi automatizacije skladišta su učinkovitost i djelotvornost radnika, smanjenje pogrešaka pri odabiru narudžbi te smanjenje vremena ciklusa.



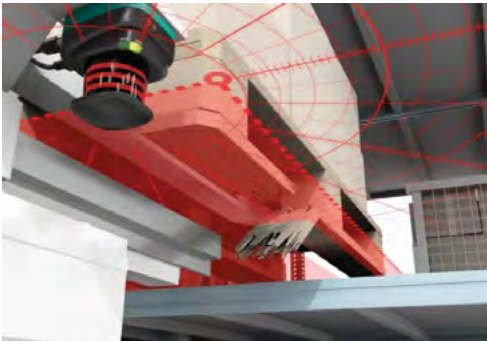
**Slika 8.** Karakteristični dijagram sustava upravljanja skladišnim zalihama. (Izvor: <https://unicommerce.com/blog/what-is-warehouse-management-system-wms/>)

**Figure 8.** Characteristic Diagram of Warehouse Inventory Management Systems. (Source: <https://unicommerce.com/blog/what-is-warehouse-management-system-wms/>)

*Receiving-zaprimanje robe, Putaway-prijenost robe, Storage-skladištenje, Piking and Packing-Uzimanje i pakiranje robe, Shipping and Quality Control-Slanje robe i provjera kvalitete, Reporting-izvještaj obavljenog*

## LiDAR Tehnologija

LiDAR je tehnologija za aktivno mjerenje koja emitira lasere kratkih valnih duljina za mjerenje udaljenosti od senzora do cilja prema laserskoj brzini i vremenu leta koje bilježi mjerач vremena. Udaljenost zatim prenosi u 3D informacije o strukturi na temelju kuta emitiranja lasera koji je prikupio mjerач kuta. LiDAR ima nekoliko prednosti, uključujući visoku prostornu rezoluciju, visoki protok, visoku ponovljivost i ne ovisnost od osvjetljenja, zbog čega je tehnologija pogodna za veći spektar upotrebe između kojeg se koristi i za pametna skladišta, točnije kod integracije s autonomnim mobilnim robotima (Romb-Technologies, 2025.). Na slici 9. prikazana je upotreba LiDAR tehnologije gdje se pomoću senzoričke uočava neispravna paleta koja ne udovoljava standardu za sigurnosno skladištenje. U današnjim pametnim skladištima sve više se upotrebljava visoko inteligentna senzorska tehnologija i tehnika za mogućnošću mapiranja skladišta, navigacijom, izbjegavanjem prepreka i izbjegavanjem rizika što znatno utječe na poslovanje skladišta (Slika 10.).



**Slika 9.** R2000 Detection 2-D LiDAR senzor otkriva čak i najmanja oštećenja na paletama (Izvor: Pepperl-fuchs.com)

**Figure 9.** R2000 Detection 2-D LiDAR Sensor Detects Even the Slightest Damage to Pallets (Source: Pepperl-fuchs.com)



**Slika 10.** RoboSavvy s mapiranjem, navigacijom, izbjegavanjem prepreka i izbjegavanjem rizika na razini poduzeća (Izvor: <https://www.robotics247.com/>)

**Figure 10.** RoboSavvy with enterprise-grade mapping, navigation, obstacle avoidance and risk avoidance (Source: <https://www.robotics247.com/>)

## Zaključak

S brzim napretkom digitalne tehnologije i široko rasprostranjenom prilagodbom Industrije 4.0, mnoga skladišta smatraju pametno skladištenje valom budućnosti. Pametna skladišta su danas pozitivna kada se promatraju skladišne operacije. Za uspješan rad spomenutih skladišta nužna je integracija inteligentne opreme poput IoT-a, LiDAR i upotrebe autonomnih robota s mogućnostima brzog odlučivanja na temelju strojnog učenja. Neke od prednosti korištenja pametnih skladišta su: redukcija razine zaliha putem poboljšane vidljivosti lanca opskrbe, poboljšana vidljivost skladišnih operacija, upotreba WMS-a sustava za veću dostupnost informacija u stvarnom vremenu. Upotrebom inteligentne opreme lakše se uočavaju sva potencijalna uska grla i problematična područja te mogu poduzeti korektivne mjere. Poboljšana agilnost skladištenja i brže vrijeme odziva kupaca omogućeno je zbog upotrebe tehnologije senzora, uslijed čega dolazi do brzog prepoznavanja pogrešaka tije-

kom automatizacije. Pametni skladišni sustavi opremljeni su softverima pomoću kojih se može uštedjeti vrijeme eliminirajući potrebu za dugotrajnim nepreciznim i neadekvatnim skladištenjima na lokacija koje ne odgovaraju potpuno zahtjevima artikala. Povećana produktivnost rada kroz značajnu automatizaciju reducira ljudski rad i direktno pozitivno utječe na smanjenje razine ljudske greške u cijelom procesu skladištenja. Također se smanjuje vrijeme potrebno za dovršetak skladištenja kao što su prikupljanje narudžbi, pakiranje i otprema. Upotrebom senzoričke omogućuje se kvalitetnije održavanje ili popravak skladišnih robota i opreme na temelju ranijih upozorenja. Unatoč ogromnim prednostima pametnih skladišta i primjene autonomnih robota navedena dehumanizacija skladišta može predstavljati mnoge izazove. Ti izazovi uključuju smanjenu ili nisku razinu skladišnih poslova za ljudske radnike jer automatizacija obično prenosi vještine potrebne za obavljanje posla s ljudskih radnika na strojeve; stoga smanjuje potrebu za kvalificiranom radnom snagom i podređuje ljudske radnike strojevima ili robotima. Pametna skladišta i autonomni roboti zahtijevaju znatna početna ulaganja za automatizaciju, senzorsku tehnologiju, tehnološku infrastrukturu, obuku korisnika sustava i razvoj poslovne inteligencije. S obzirom na to da je IoT platforma ključna za pametno skladište, pametno skladišno okruženje može stvoriti sigurnosne probleme poput kibernetičkih napada povezane s IoT platformom. Unatoč ogromnim prednostima, pametna skladišta predstavljaju mnoge složene izazove zbog svoje novosti, sigurnosti i troškova implementacije te potrebe za radikalnom transformacijom tradicionalne razine upotrebe skladišta. U Republici Hrvatskoj pametna skladišta su u začetnoj fazi, jer su ulazni troškovi vrlo visoki što je opravdano kod uvođenja nove tehnike i tehnologije. Također je potrebno obaviti kvalitetnu obuku operatera-rukovatelja i redoviti servis informatičke opreme što sve utječe na donošenje odluke o korištenju pametnih skladišta. S daljnjim razvojem industrije i ulaganjima vanjskih gigantskih tvrtki, može se očekivati sve veća dehumanizacija tradicionalnih skladišta.

## Literatura

- Affia I, Aamer A. (2021).** *An internet of things-based smart warehouse infrastructure: design and application. Journal of Science and Technology Policy Management, 13(1), 90–109.*
- Arun, R. A., Manju, J., Balamurugan, A. G., Praveen, R. (2024).** *An IoT-based Smart Grains Warehouse Monitoring System. AIP Publishing, 3075(1).*
- Bajivić, V. (2021).** *Primjena digitalnih tehnologija za unapređenje rada u skladištu, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike.*
- Čolaković A, Čaušević S, Kosovac A, Muharemović E. (2020).** *A review of enabling technologies and solutions for iot based smart warehouse monitoring system. New Technologies, Development and Application, III (6), 630–7.*
- Engineering (2017.).** *Automate Inventory Management with Mobile Robots. <https://www.engineering.com/automate-inventory-management-with-mobile-robots/> (Datum zadnjeg pristupa: 9.06.2025.)*
- Gondchawar, N., & Kawitkar, R. S. (2016).** *IoT based smart agriculture. International Journal of advanced research in Computer and Communication Engineering, 5(6), 838-842.*
- Jabbar, S., Khan, M., Silva, B. N., Han, K. (2018).** *A REST-based industrial web of things' framework for smart warehousing. The Journal of Supercomputing, 74, 4419-4433.*
- Kamali, A. (2019).** *Smart warehouse vs. traditional warehouse. CiiT International Journal of Automation and Autonomous System, 11(1), 9-16.*
- Kamali, A. (2018).** *Innovative and smart technologies in logistics. CiiT International Journal of Artificial*

*Intelligent Systems and Machine Learning*, 10(10), 216-222.

**Le-Anh, T., De Koster, M. (2006).** A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European journal of operational research*, 171(1), 1-23.

**Liu, X., Wang, X., Zhou, X., Jiang, A. (2018).** Appropriate use of the increment entropy for electrophysiological time series. *Computers in biology and medicine*, 95, 13-23.

Majchrzak, M. (2020). AMR market expands rapidly: The market for autonomous mobile robots (AMRs) is growing fast, and there is a lot of demand globally for them in traditional automation, in non-automotive sectors. *Control Engineering*, 67(2), M11-M11.

**Mekala, M. S., & Viswanathan, P. (2017).** A novel technology for smart agriculture based on IoT with cloud computing. In *2017 International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)* (pp. 75-82). IEEE.

**Min, H. (2023).** Smart Warehousing as a Wave of the Future. *Logistics*, 7(2), 30.

**Min, H. (2022a).** Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0. *Marit. Econ. Logist.* 24, 189–207.

**Min, H. (2022b).** Smart factory: A game changer or another fad in the era of the fourth industrial revolution. *Int. J. Technol.* 89, 26–45.

**Min, H. (2006).** The applications of warehouse management systems: an exploratory study. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9(2), 111-126.

**Nayak, S. P., Rai, S. C., & Sahoo, B. (2022).** SAW: A real-time surveillance system at an agricultural warehouse using IoT. In *AI, Edge and IoT-based Smart Agriculture* (pp. 315-327). Academic Press.

**Nagpure, A. B. (2016).** IOT Enabled: Includes Sample Project Using Arduino with Nodejs.

**Nižetić, S., Šolić, P., Gonzalez-De, D. L. D. I., Patrono, L. (2020).** Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. *Journal of cleaner production*, 274, 122877.

**NSF (2022).** Cyber-Physical Systems: Enabling a Smart and Connected World. 2018. Dostupno: [https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/cyber-physical/](https://www.nsf.gov/news/special_reports/cyber-physical/)

**Pepperl-fuchs (2025).** Precise Broken Pallet Detection in High Bay Warehouses. <https://www.pepperl-fuchs.com/da-dk/topics/applications/precise-broken-pallet-detection-in-high-bay-warehouses-ga3225> (Datum zadnjeg pristupa: 9.06.2025.)

**Raghuvanshi, D., Roy, A., Panwar, V. (2021).** IoT Based Smart Agriculture System. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 9(6).

**Raj, R., & Kos, A. (2022).** A comprehensive study of mobile robot: History, developments, applications, and future research perspectives. *Applied Sciences*, 12(14), 6951.

**Romb-Technologies (2025).** We develop innovative navigation technology for automated guided vehicles and mobile robots. <https://romb-technologies.hr/> (Datum zadnjeg pristupa: 9.06.2025.)

**Sai Chitti Subrahmanyam, V. (2021).** Smart Warehouse Management System. *Recent Trends in Renewable Energy Sources and Power Conversion*.

**Selvaraj, A. S., Anusha, S. (2021).** RFID enabled smart data analysis in a smart warehouse monitoring system using IoT. *Journal of Physics: Conference Series*, 1717(1), 012022.

**Smart Warehousing Technologies: A Comprehensive Guide (2024.):** Your Guide to the Future of Smart Warehousing. <https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/smart-warehousing-technologies-a-comprehensive-guide/#smart-warehousing-strategies> (Datum zadnjeg pristupa: 9.06.2025.)

**Sridevi P., Srilatha K. (2024).** A Fast-Locking Analog PLL With Deskew Buffer.

**Stojanović, L. (2008.):** Unutrašnji transport i skladištenje, Završni rad, Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin Zagreb.

**Tiwari, S. (2023).** Smart warehouse: A bibliometric analysis and future research direction. *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, 2, 100014.

- Tiwari, S. (2021).** *Supply chain integration and Industry 4.0: a systematic literature review. Benchmarking: An International Journal*, 28(3), 990-1030.
- Tiwari, S. (2022).** *Supply chain innovation in the era of industry 4.0. In Handbook of research on supply chain resiliency, efficiency, and visibility in the post-pandemic era*, 40-60. IGI Global Scientific Publishing.
- Tiwari, S., Raju, T. B. (2022).** *Management of digital innovation. In Promoting inclusivity and diversity through Internet of Things in organizational settings*, 128-149. IGI Global.
- Tekinerdogan, B. (2017).** *Engineering connected intelligence: a socio-technical perspective, Information Technology at Wageningen University & Research. Wageningen University & Research.*
- Vukelić, D. (2020).** *Primjena robota u skladišnom poslovanju, Diplomski rad, Sveučilište Sjever.*
- Vukičević, A., Mladineo, M., Banduka, N., Macuzić, I. (2021).** *A smart Warehouse 4.0 approach for the pallet management using machine vision and Internet of Things (IoT): A real industrial case study. Advances in Production Engineering & Management*,16(3).

Prispjelo/Received: 20.2.2025.

Prihvaćeno/Accepted: 30.3.2025.

Review paper

### Smart warehouses and autonomous robots

#### Summary

The paper explains new technologies and their role in the dehumanization of traditional warehouses. Smart warehouses and the application of modern technologies with the use of artificial intelligence achieve greater integration with people, through the use of autonomous robots. The paper explains the approach to working with systems for moving large amounts of data via the Internet of Things, then using the latest sensor technology, Light Detection and Ranging technology, as a tool for successfully handling autonomous robots, navigating in indoor and outdoor warehouses, and reducing their movement. For the quality handling of smart warehouses and collected large data, warehouse management systems such as Warehouse management system and Inventory management system are explained. This paper will show an example of the use of autonomous robots and explain the diagram of the warehouse inventory management system as one of the important factors for reducing warehouse operating costs.

**Keywords:** smart warehouses, autonomous robots, IoT, LiDAR, sensors