Primljen: 17.1.2026.
Prihvaćen: 21.4.2026.

Stručni rad
UDK: 658.78:621.396

Primjena unutarnjih lokatora u pronalaženju paketa u skladištima

Application of Indoor Locators for Package Retrieval in Warehouses

[1]Davor Vižintin, [2]Damir Malnar, [3*]Vesna Krajči
Veleučilište u Rijeci, Vukovarska 58, 51000 Rijeka
e-mail: [1]dvizintin@veleri.hr, [2]dmalnar@veleri.hr, [3*]vkrajci@veleri.hr

Sažetak: *U radu je prikazana važnost upotrebe unutarnjih lokatora u skladišnom poslovanju s naglaskom na njihov utjecaj na povećanje efikasnosti pronalaženja paketa u skladištima te time smanjenja financijskih i vremenskih gubitaka. Cilj je pronaći tehnološki održivo i isplativo rješenje koje smanjuje operativne gubitke, povećava učinkovitost pronalaženja artikala i unaprijeđuje cjelokupno korisničko iskustvo u skladištima. U radu su prikazane razne tehnologije unutarnje lokacije, ističući prednosti BLE tehnologije u odnosu na alternativne tehnologije poput GPS, Wi-Fi i UWB. Analizirana je energetska učinkovitost i ekonomičnost BLE tehnologije, posebno u njenoj primjeni u skladišnim okruženjima. Detaljna analiza sustava obuhvaća komponente i funkcioniranje unutarnjih lokatora temeljenih na BLE tehnologiji, uz praktični primjer koji ilustrira njihove prednosti u skladišnim procesima. Primjena BLE tehnologije u skladištima predstavlja važan korak u modernizaciji skladišnog poslovanja, značajno smanjujući logističke neučinkovitosti te omogućujući vremenske i financijske uštede. BLE lokatori pružaju precizne i pouzdane signale za lociranje robe, učinkovito rješavajući izazove navigacije u kompleksnim skladišnim okruženjima.*

Ključne riječi: *unutarnji lokatori, učinkovitost skladišta, BLE tehnologija*

Abstract: *The paper presents the importance of indoor locators in warehouse operations, focusing on their impact on increasing of efficiency of finding packages in the warehouses and decreasing of financial and time losses. The primary objective is to identify a technologically sustainable and cost-effective solution that minimizes*

operational losses, improves item retrieval efficiency, and enhances the overall user experience in warehouses. Different indoor location technologies are presented in the paper, emphasizing the advantages of BLE technology over alternatives such as GPS, Wi-Fi, and UWB. Energy efficiency and cost-effectiveness of BLE technology are analyzed, highlighting its utility in warehouse environments. A detailed system analysis includes components and functioning of BLE-based indoor locators, with practical application example illustrating their benefits in warehouse systems. BLE technology implementation in warehouses is an important step towards modernization of warehouse management, significantly reducing logistical inefficiencies and enabling substantial time and financial cost savings. BLE locators, such as beacons, provide accurate and reliable signals for locating goods, effectively addressing navigation challenges in complex warehouse environments.

Key words: *indoor locators, warehouse efficiency, BLE technology*

1. Uvod

U ovom radu se analizira važnost unutarnjih lokatora u skladišnom poslovanju s posebnim naglaskom na njihov utjecaj na efikasnost i produktivnost. U velikim skladištima, poteškoće u pronalasku robe dovode do značajnih financijskih i vremenskih gubitaka. Rad ističe BLE (engl. Bluetooth Low Energy) tehnologiju kao optimalno rješenje u odnosu na druge metode poput GPS (engl. Global Positioning System), Wi-Fi (engl. Wireless Fidelity) ili UWB (engl. Ultra Wide-Band), zahvaljujući njenoj energetskoj učinkovitosti i ekonomičnosti.

Nakon uvodnog dijela u radu je dan pregled tehnologija unutarnje lokacije, razrada dijelova sustava unutarnjeg lokatora, opis načina funkcioniranja i primjer primjene unutarnjeg lokatora u skladištu. Na kraju rada su dani zaključak i moguća poboljšanja.

2. Tehnologije unutarnje lokacije

Globalni sustav pozicioniranja (GPS) je razvijen za primjenu na otvorenim prostorima, dok se sustav za unutarnje pozicioniranje (engl. Indoor Positioning System IPS) koristi za određivanje položaja objekta unutar zatvorenih prostora (Syazwani et al., 2022.). Sustav za unutarnje pozicioniranje koji se koristi u skladištima najprije mjeri signal do željenog objekta, a iz prikupljenih karakteristika tog signala se računa položaj

objekta.

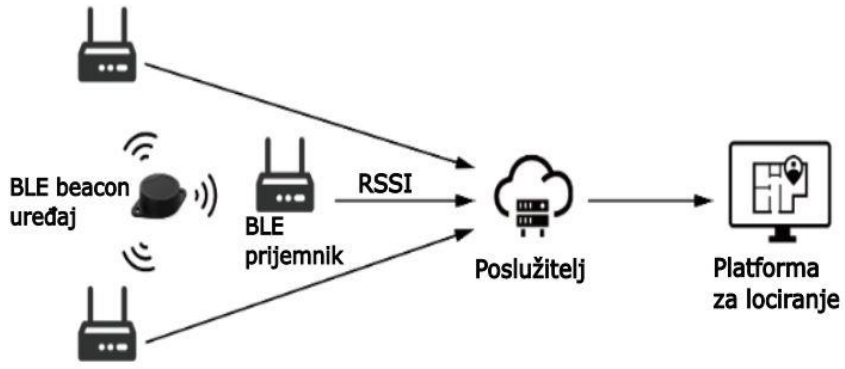
U sustavima za unutarnje pozicioniranje se često koristi bežična tehnologija (engl. Radio Frequency RF) (Locatify, 2025.) koja uključuje uobičajene bežične komunikacijske tehnologije kao što su Wi-Fi, BLE i UWB (Syazwani et al., 2022.). Ove bežične tehnologije se mogu koristiti istovremeno i međusobno se nadopunjavati svojim prednostima, kao što su veća preciznost pozicioniranja i udaljenost prijenosa kod UWB tehnologije (Feasycom, 2022.), veća brzina prijenosa kod Wi-Fi te povoljno i pouzdano pozicioniranje kod BLE tehnologije, uz jednostavnu instalaciju i održavanje (Locatify, 2025.).

Prednosti BLE tehnologije su niska potrošnja energije, visoka preciznost, lakoća implementacije, niska cijena elemenata i mogućnost prilagodbe. Nedostatci BLE tehnologije kod primjene u unutarnjem lociranju paketa u skladištima su ograničen domet, ograničena prolaznost kroz zidove, osjetljivost na smetnje i potreba za baterijama (Syazwani et al., 2022.).

BLE bežična tehnologija je dostupna i široko korištena tehnologija zbog svoje povoljne cijene i jednostavnosti implementacije (Tang, 2023.). Najčešće se primjenjuje u praćenju lokacije u zatvorenom prostoru (engl. Indoor Location Tracking) i unutarnjoj navigaciji (engl. Indoor Navigation) (Jiang, 2022.).

Kod praćenja lokacije u zatvorenom prostoru (Slika 1) BLE odašiljači (engl. beacon) su pričvršćeni na neke predmete ili ih nose ljudi, dok su prijemnici raspoređeni po zidovima i stropovima te nakon detekcije signala s BLE odašiljača šalju se poslužitelju na obradu. Potom sustav računa udaljenost i određuje lokaciju BLE odašiljača (Jiang, 2022.).

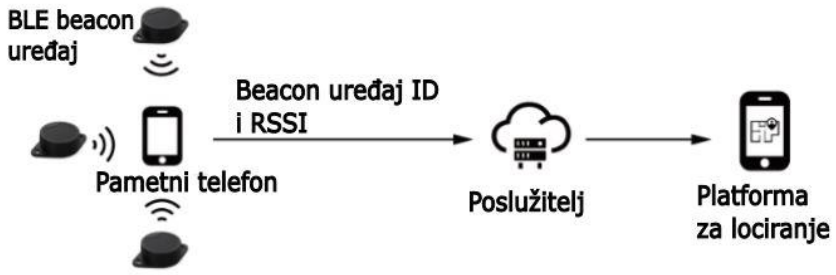
Slika 1. *Način funkcioniranja praćenja lokacije u zatvorenom prostoru.*



Izvor: https://www.linkedin.com/pulse/ble-bluetooth-low-energy-location-tracking-claire-jiang/, prijevod: Autori

Za unutarnju navigaciju (Slika 2) BLE odašiljači su raspoređeni na fiksnim pozicijama u cijelom unutarnjem prostoru, a pametni telefon prima njihove signale koje šalje na poslužitelj koji potom računa udaljenost i određuje lokaciju pametnog telefona, što je vidljivo u aplikaciji u realnom vremenu (Jiang, 2022.).

Slika 2. *Način funkcioniranja unutarnje navigacije.*



Izvor: https://www.linkedin.com/pulse/ble-bluetooth-low-energy-location-tracking-claire-jiang/, prijevod: Autori

3. Dijelovi sustava unutarnjeg lokatora

Sustav unutarnjeg lokatora predstavlja tehnološki naprednu infrastrukturu koja omogućuje precizno određivanje položaja unutar zatvorenog prostora. Podjela BLE odašiljača može se izvršiti prema protokolu koji je za njih razvijen, vrsti napajanja koje koriste i njihovom obliku.

Prema razvijenom protokolu danas se koriste uređaji iBeacon razvijeni od tvrtke Apple, Eddystone koje je razvio Google, AltBeacon razvijen od tvrtke Radius Networks te uređaji bazirani na senzorima (Peter, 2024.). BLE odašiljači sa senzorima putem Bluetooth protokola šalju podatke o lokaciji i dodatne podatke o okolici prikupljene sa senzora temperature, vlage, osvjetljenja, pokreta, udaljenosti. Ovi se uređaji najčešće koriste za praćenje imovine, nadzor objekata, detekciju prisutnosti ljudi u prostoru, što se koristi za optimizaciju korištenja energije ili sigurnosne mjere (Peter, 2024.).

BLE odašiljači su najčešće napajani baterijama, ali mogu imati napajanje pomoću USB kabela i mrežnog napajanja ako su fiksirani i treba im konstantno napajanje (Huang, 2023.).

Oblik Bluetooth uređaja prvenstveno ovisi o njegovoj upotrebi te predstavlja ključnu

ulogu u optimizaciji upotrebe i učinkovitosti samog uređaja. Najčešći oblici BLE odašiljača su: kartica, narukvica, naljepnica, USB, na privjesku za ključeve i u obliku značke (Huang, 2023.).

4. Primjena unutarnjih lokatora u skladištu

Unutarnji lokatori omogućuju precizno praćenje i lociranje svake pojedinačne stavke u skladištu. Uz unutarnje lokatore potrebno je još imati pametni telefon ili drugi prijenosni uređaj poput tableta s Bluetooth tehnologijom i aplikaciju koja podržava određeni tip lokatora. Nakon pokretanja aplikacije, lokator unutar kruga djelovanja daje signal, nakon čega je u aplikaciji prikazano u kojem smjeru treba tražiti skladištenu robu. Na ekranu aplikacije može se prikazati karta skladišta s jasno označenom trenutnom pozicijom korisnika i približnom lokacijom artikla. Sustav pruža navigacijske upute koje korisnika vode najkraćim putem do cilja uz minimalna odstupanja. Pronalaženje lokatora, a time i tražene robe, osim vizualnim prikazom u aplikaciji, može biti olakšano i zvučnim signalom samog lokatora. Podaci prikupljeni pomoću lokatora sinkroniziraju se sa centralnom bazom podataka, čime se omogućuje automatizacija procesa, smanjenje pogrešaka i povećanje efikasnosti rada na skladištu (Zadgaonkar i Chandak, 2021.). U provedenom istraživanju je lociranje robe unutar skladišta pomoću BLE odašiljača pomoglo smanjiti vrijeme isporuke narudžbe s 11 min na 2.2 min, uz točnost lociranja objekta od 1.4 m (Zadgaonkar i Chandak, 2021.).

5. Testiranje sustava unutarnjih lokatora u skladištu

Funkcioniranje sustava testirano je na primjeru lokalne trgovine klima uređajima sa skladištem do 500 m^2. Od uređaja su za ispitivanje korišteni iBeacon kompatibilni lokatori (Slika 3) čije su dimenzije usporedive s kovanicom od 2 eura te iPad tablet, a od aplikacija simultano Track It i Find My. U aplikacijama se pratila jačina signala i udaljenost lokatora.

Slika 3. *AiYaTo Bluetooth lokator.*



Izvor: https://s9.badu.bg/photos/1121398/800x800_675a9e3a2a030.jpg

Svaki test je započet kod glavnog ulaza u skladište kako je prikazano na slici 4.

Slika 4. *Testiranje BLE lokatora u skladištu.*



Izvor: Autori

Tražilo se pet artikala koje su početno odredili zaposlenici u skladištu. Kontrolni pristup je bio klasični postupak traženja prema oznakama u skladištu, natpisima na kutijama te uz upite skladištarima, a zatim je primijenjena tehnologija BLE lokatora. Nativnom aplikacijom u iPad tabletu se mjerilo vrijeme i koraci, a u korištenim aplikacijama Track It i Find My se pratila jačina signala i procijenjena udaljenost. Obje aplikacije su pokazivale mjerenja unutar 1% razlike i u praktične svrhe se mogu smatrati jednakovrijednima. Rezultati kontrolnog postupka i primjene BLE odašiljača dani su u Tablicama 1 i 2. Pojedinačni zapisi odgovaraju ključnim događajima u toku pretrage kako je opisano u stupcu Napomena.

Tablica 1. *Rezultati kontrolnog postupka.*

Artikl	Način potrage	Vrijeme [s]	Koraci	Napomena
1	Skladišna oznaka	60	55	Pronalazak dijela skladišta
	Skladišni djelatnik	180	190	Pronalazak police
	Oznaka na kutiji	45	50	Pronalazak artikla
2	Skladišna oznaka	90	95	Pronalazak dijela skladišta
	Skladišni djelatnik	120	127	Pronalazak police
	Oznaka na kutiji	45	48	Pronalazak artikla
3	Skladišna oznaka	45	47	Pronalazak dijela skladišta
	Skladišni djelatnik	300	315	Pronalazak police
	Oznaka na kutiji	30	32	Pronalazak artikla
4	Skladišna oznaka	30	33	Pronalazak dijela skladišta
	Skladišni djelatnik	240	250	Pronalazak police
	Oznaka na kutiji	60	66	Pronalazak artikla
5	Skladišna oznaka	30	34	Pronalazak dijela skladišta
	Skladišni djelatnik	75	79	Pronalazak police
	Oznaka na kutiji	20	22	Pronalazak artikla

Izvor: Autori

Tablica 2. *Rezultati mjerenja prilikom potrage za BLE odašiljačima u skladištu.*

BLE	Jačina signala [%]	Udaljenost [m]	Vrijeme [s]	Koraci	Napomena
1	72	2.5	50	45	Pojava signala prve potrage
	78	2.2	5	4	Pojačavanje signala
	84	1.9	5	3	Približavanje odašiljaču
	91	1.5	10	8	Skoro pronađen odašiljač
	100	1.2	3	2	Odašiljač pronađen
2	42	5.0	40	35	Pojava signala druge potrage
	48	4.4	7	6	Lagano pojačavanje signala
	55	3.8	6	5	Približavanje odašiljaču
	67	2.9	7	5	Pojačavanje signala
	98	2.3	2	2	Odašiljač pronađen
3	30	7.5	35	30	Pojava signala treće potrage
	35	7.2	5	5	Lagano pojačavanje signala
	47	6.8	4	3	Približavanje odašiljaču
	62	5.5	4	3	Pojačavanje signala
	100	3.8	4	2	Odašiljač pronađen
4	52	3.8	30	25	Pojava signala četvrte potrage
	58	3.5	10	9	Približavanje odašiljaču
	71	2.9	7	6	Pojačavanje signala
	90	2.4	5	5	Skoro pronađen odašiljač
	99	2.0	5	5	Odašiljač pronađen
5	82	2.8	40	36	Pojava signala pete potrage
	88	2.4	7	6	Jak signal
	95	1.9	3	3	Vrlo jak signal
	100	1.5	3	2	Odašiljač pronađen

Izvor: Autori

Prosječno vrijeme pronalaženja artikla smanjeno je sa 4.5 min klasičnim načinom na manje od minute pomoću BLE tehnologije. Izmjerena je najmanja udaljenost odašiljača od 1.2 m. Razlika između stvarne udaljenosti artikla i udaljenosti prikazane u aplikaciji, u odnosu na mjeritelja, iznosila je u prosjeku 0.5 m, što je praktično prihvatljivo za unutarnje lokatore. Signali lokatora su testirani u uvjetima prepreka tipičnih za skladište: metalni regali, armirano-betonski zidovi, kartonska, plastična i raznovrsna ambalaža te ispunjeni prostor skladišta gdje signal propagira kroz različite materijale koji značajno atenuiraju signal i doprinose višestrukim refleksijama.

6. Zaključak

Rezultati ispitivanja primjene BLE tehnologije za lociranje artikala u skladištu su potvrdili učinkovitost i pouzdanost unutarnjih lokatora u nehomogenim skladišnim uvjetima. Unatoč preprekama u prostoru, prema dobivenim rezultatima signal BLE lokatora se pokazao pouzdanim i robusnim u pronalaženju artikala u stvarnim uvjetima. Daljnja istraživanja bi se mogla proširiti na integraciju novih tehnologija, npr. algoritama umjetne inteligencije i strojnog učenja za obradu signala, 5G mreža za bržu razmjenu podataka, IoT (engl. Internet of Things) senzora za dvosmjernu komunikaciju između lokatora i sustava za upravljanje skladištem, a sve u svrhu povećanja korisnosti i efikasnosti skladišnih sustava.

Literatura

Feasycom. (2022). What is UWB technology. https://www.feasycom.com/what-is-uwb-technology/ (19.03.2026.)

Huang, N. (2023). How to Select the Right Types of Beacons. https://www.mokosmart.com/types-of-beacons/ (23.03.2026.)

Jiang, C. (2022). BLE (Bluetooth Low Energy) Location Tracking and Positioning. https://www.linkedin.com/pulse/ble-bluetooth-low-energy-location-tracking-claire-jiang/ (20.03.2026.)

Locatify. (2025). Indoor Positioning Systems based on BLE Beacons. https://locatify.com/blog/indoor-positioning-systems-ble-beacons/ (18.03.2026.)

Peter. (2024). BLE Beacons: What, why and how (with an example). https://techexplorations.com/blog/electronics/ble-beacons-what-why-and-how/ (21.03.2026.)

Syazwani, N.; Wahab, N. H. A.; Sunar, N.; Ariffin, S. H. S.; Wong, K. Y.; Aun Y. (2022). "Indoor Positioning System: A Review", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 13(6), 477-490. https://www.researchgate.net/publication/361748336_Indoor_Positioning_System_A_Review (17.03.2026.)

Tang, D. (2023). The Top 10 Bluetooth Beacon Applications and How They Benefit Businesses. https://www.mokoblue.com/top-10-bluetooth-beacon-applications/ (20.03.2026.)

Zadgaonkar, H.; Chandak, M. (2021). "Locating Objects in Warehouses Using BLE Beacons & Machine Learning". IEEE Access, vol. 9, 1-11. https://ieeexplore.ieee.org/document/9614122 (23.03.2026.)