

PRIMENA WEB 4.0 TEHNOLOGIJA U RAZVOJU ODRŽIVIH LANACA SNABDEVANJA POŠTANSKE LOGISTIKE

Svetlana Dabić-Miletić, Vladimir Simić
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
cecad@sf.bg.ac.rs, vsima@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Razvoj održivih lanaca snabdevanja u poštanskoj logistici predstavlja ključni izazov i prioritet u uslovima ubrzane digitalne transformacije. Primena Web 4.0 tehnologija, poput AI, IoT-a, blockchain-a i napredne analitike, omogućava prelazak sa tradicionalnih na inteligentne i fleksibilne procese koji kombinuju ekonomsku isplativost i ekološku odgovornost i socijalnu održivost. Ove tehnologije doprinose prediktivnom planiranju, optimizaciji ruta, transparentnosti i boljem upravljanju resursima, čime se smanjuju troškovi i emisija štetnih gasova, uz povećanje pouzdanosti i kvaliteta poštanskih usluga. Integracija sa održivim praksama, koje podrazumevaju korišćenje električnih vozila, pametnih skladišta i ekoloških pakovanja, stvara sinergijski efekat koji omogućava veću efikasnost, smanjenje ekološkog otiska i unapređenje korisničkog iskustva. Rad pruža sistematičan pregled tehnologija i održivih praksi u poštanskoj logistici, identifikuje njihove ključne prednosti i izazove, te pokazuje na koji način njihova sinergija obezbeđuje dugoročnu rezilijentnost, konkurentsku prednost i transformaciju poštanske logistike ka inteligentnim i održivim sistemima.*

Ključne reči: *Web 4.0 tehnologije, digitalizacija, lanac snabdevanja, poštanska logistika*

1. Uvod

Savremeni poštanski sistemi suočavaju se sa višestrukim izazovima koji proizlaze iz rastućih zahteva korisnika, povećane konkurencije, kao i sve izraženijih zahteva za održivim poslovanjem [1]. Tradicionalne modele poštanske logistike uglavnom karakteriše rigidna struktura i ograničene mogućnosti optimizacije, što dovodi do povećane potrošnje resursa, povećanih operativnih troškova i većeg ekološkog otiska. U tom kontekstu, razvoj održivih lanaca snabdevanja (LS) u sektoru poštanskih usluga postaje imperativ, jer omogućava racionalizaciju procesa opsluge korisnika, smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i unapređenje kvaliteta usluga, istovremeno balansirajući ekonomske i ekološke ciljeve poštanskih sistema [2]. Paralelno, digitalna transformacija i integracija naprednih tehnologija predstavljaju značajnu priliku za modernizaciju poštanskih operacija. Web 4.0 tehnologije, koje obuhvataju

decentralizovane digitalne platforme, veštačku inteligenciju (AI), napredne analitičke alate i blockchain, omogućavaju kreiranje adaptivnih, „pametnih“ LS [1]. Ove tehnologije omogućavaju prediktivno planiranje resursa, optimizaciju transportnih ruta, implementaciju autonomnih transportnih sistema i transparentno praćenje pošiljki, što značajno doprinosi operativnoj efikasnosti i ekološkoj održivosti poštanskih servisa.

Primena Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici ne samo da poboljšava performanse i smanjuje troškove, već pruža i mogućnost integracije održivih praksi u svakodnevne operacije vezane za realizaciju stohastičnih zahteva u opsluzi korisnika. Transparentnost koju omogućava blockchain, kombinovana sa analitikom i AI, doprinosi boljem upravljanju resursima, smanjenju otpada i unapređenju energetske efikasnosti [3]. Istovremeno, integracija decentralizovanih platformi omogućava agilnije i fleksibilnije prilagođavanje promenama u potražnji, što je od posebnog značaja u globalnim poštanskim mrežama koje funkcionišu u dinamičnom i konkurentnom okruženju [1, 2]. Cilj ovog rada je da analizira mogućnosti primene Web 4.0 tehnologija u razvoju održivih LS poštanske logistike, identifikujući ključne prednosti, izazove i ograničenja njihove implementacije. Rad takođe formuliše smernice za stratešku digitalnu transformaciju u ovoj oblasti, naglašavajući sinergiju između tehnoloških inovacija i principa održivosti. Poseban fokus je stavljen na primenu prediktivne logistike, autonomnih transportnih sistema i blockchain tehnologija, sa ciljem stvaranja efikasnih, transparentnih i održivih LS poštanske logistike.

2. Implementacija održivih tehnologija i praksi u poštanskoj logistici

Implementacija održivih tehnologija i praksi u poštanskoj logistici predstavlja ključnu fazu u prelasku sa tradicionalnih na inteligentne i ekološki odgovorne sisteme opsluge korisnika. Usklađivanje tehnoloških inovacija sa principima održivog razvoja, omogućava istovremeno unapređenje operativne efikasnosti i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu [4]. U fokusu je integracija digitalnih rešenja, poput AI, IoT i blockchain tehnologije, sa „zelenim“ praksama koje uključuju optimizaciju energetskih resursa, održivi transport i upotrebu ekoloških materijala [2, 3]. Time se stvara osnova za razvoj poštanske logistike koja je sposobna da odgovori na zahteve modernog tržišta, poveća konkurentnost i obezbedi dugoročnu otpornost sistema. U okviru ovog dela biće detaljno opisane ključne tehnologije i prakse koje omogućavaju opisanu transformaciju, uz naglasak na njihove konkretne doprinose održivosti, efikasnosti i unapređenju kvaliteta poštanskih usluga.

2.1. Digitalizacija i Web 4.0 tehnologije

Web 4.0 tehnologije predstavljaju temelj za transformaciju poštanske logistike ka inteligentnim, fleksibilnim i održivim sistemima. AI omogućava prediktivno planiranje, optimizaciju ruta isporuke i dinamičko prilagođavanje rasporeda transporta u realnom vremenu, što direktno smanjuje troškove transporta, potrošnju goriva i emisiju CO₂ [4]. Pored toga, AI i blockchain omogućavaju analizu velikih količina podataka o potražnji, sezonskim fluktuacijama i promenama u saobraćaju, što doprinosi smanjenju kašnjenja i povećanju pouzdanosti isporuka. Kompanije poput DHL i FedEx već koriste AI sisteme za balansiranje opterećenja vozila i prediktivno planiranje ruta, čime ostvaruju značajnu uštedu energije, smanjenje emisije štetnih gasova i efikasnije korišćenje svojih

transportnih kapaciteta [1]. IoT omogućava kontinuirano praćenje pošiljki, kontrolu temperature, vlažnosti i drugih parametara koji utiču na očuvanje integriteta proizvoda, posebno kod transporta hrane, lekova i drugih osetljivih proizvoda. IoT senzori omogućavaju operaterima da u realnom vremenu reaguju na potencijalne probleme, smanjujući gubitke i poboljšavajući kvalitet usluge. Blockchain tehnologija pruža visoku transparentnost i sigurnost podataka u LS [5]. Korišćenje blockchaina omogućava proveru autentičnosti i održivosti materijala, praćenje životnog ciklusa paketa i stvaranje digitalnih „zelenih sertifikata“ pošiljki. Ova tehnologija smanjuje rizik od grešaka, povećava poverenje korisnika i olakšava regulatornu usklađenost, posebno u kontekstu ekoloških standarda i sertifikacija. Napredna analitika, uključujući metode prediktivne i deskriptivne analize podataka, obezbeđuje optimizaciju skladišnih kapaciteta, precizno planiranje resursa i smanjenje otpada [6]. Analitički alati mogu identifikovati neusaglašenosti u toku pakovanja, skladištenja i transporta, što doprinosi boljem upravljanju resursima i smanjenju operativnih troškova. Integracija ovih tehnologija omogućava poštanskim operatorima da razviju inteligentne, fleksibilne i održive LS, povećavaju efikasnost i pouzdanost, smanjuju ekološki otisak, pružajući dodatnu vrednost korisnicima kroz transparentnost i kvalitet usluge.

Iako navedene tehnologije obezbeđuju brojne koristi, njihova implementacija nosi i određene izazove. Visoki troškovi uvođenja digitalne infrastrukture, potreba za stručnim kadrom, bezbednosni rizici vezani za syber napade, kao i regulatorna ograničenja mogu usporiti proces digitalne transformacije [7]. Pored toga, integracija različitih sistema i standarda zahteva značajnu koordinaciju među učesnicima u LS, dok otpor zaposlenih prema promenama i potreba za kontinuiranom obukom dodatno komplikuju proces prelaska na pametne logističke modele [1, 2].

2.2. Održivi transport i skladišni sistemi

Električna i hibridna vozila sve više postaju standard u modernoj poštanskoj logistici, predstavljajući jedno od najefikasnijih rešenja za smanjenje emisije CO₂ i troškova goriva. Njihova primena naročito dolazi do izražaja u urbanim sredinama, gde se zbog velike gustine isporuka ostvaruju maksimalne uštede i ekološki benefiti. Na primer, Pošta Singapura i Deutsche Post DHL testiraju i uvode flote električnih vozila za dostavu u gradskim zonama, čime redukuju ekološki otisak, ali i unapređuju imidž socijalno održive kompanije [8]. Najveći značaj ovih tehnologija u poštanskoj logistici ogleda se u mogućnosti da se obezbedi održiv i pouzdan sistem isporuke, koji odgovara zahtevima regulatornih standarda i rastućim očekivanjima korisnika za „zelenim“ rešenjima. Međutim, jedan od ključnih izazova vezan je za značajne početne investicije, ograničenu dostupnost infrastrukture za punjenje i relativno manji domet vozila u poređenju sa klasičnim dizel rešenjima [9].

Pored transporta, pametna skladišta imaju izuzetno važnu ulogu u transformaciji poštanske logistike. Automatizovani sistemi, energetske efikasne rasvete, regulacija temperature i pametno upravljanje prostorom omogućavaju optimalno korišćenje resursa i smanjenje operativnih troškova [1, 9]. Senzori i digitalni sistemi omogućavaju precizno praćenje potrošnje energije, vlažnosti i temperature, što je posebno značajno za čuvanje osetljivih pošiljaka i smanjenje otpada. Ove inovacije doprinose smanjenju emisija štetnih gasova, povećavajući pouzdanost, brzinu i tačnost usluga. Ipak, implementacija

pametnih skladišta zahteva visoka početna ulaganja, složeno održavanje digitalnih sistema i kontinuiranu obuku zaposlenih [2, 8].

2.3. Održivo pakovanje i materijali

Reciklirani i biorazgradivi materijali za pakovanje postaju nezaobilazan element u razvoju održive poštanske logistike, jer direktno doprinose smanjenju ekološkog otiska i podstiču cirkularnu ekonomiju [10]. Njihova primena predstavlja jednu od najočiglednijih i najvidljivijih promena za krajnje korisnike, budući da pakovanje često čini najveći deo otpada koji nastaje nakon dostave. Inovativna rešenja, poput papirnih i biorazgradivih jastuka za zaštitu proizvoda ili kompostabilnih kutija i kesa, omogućavaju lakšu reciklažu, smanjenje količine nerekiclabilnog otpada i rasterećenje deponija. Za poštansku logistiku, značaj ovih rešenja ogleda se u mogućnosti da se ispune regulatorni zahtevi, poboljša reputacija operatora i zadovolje rastuća očekivanja ekološki osvešćenih korisnika, što postaje ključni faktor konkurentnosti na globalnom tržištu. Dodatnu dimenziju održivosti donosi integracija pakovanja sa blockchain sistemima [11], koji omogućavaju transparentnu proveru porekla i održivosti materijala kroz ceo LS [12]. Na ovaj način poštanski operatori mogu da sertifikuju „zelene“ pošiljke, čime jačaju poverenje korisnika i omogućavaju praćenje ispunjavanja standarda održivosti u realnom vremenu [7]. Globalni lideri u sektoru pružanja poštanskih usluga već kombinuju inovativne materijale i digitalne tehnologije za postizanje višeg nivoa transparentnosti i odgovornosti.

Ipak, izazovi u široj primeni recikliranih i biorazgradivih materijala su brojni. Među njima se izdvajaju veća cena u odnosu na konvencionalna pakovanja, ograničena dostupnost određenih materijala, kao i potreba za standardizacijom i jasnim regulatornim okvirima [13]. Takođe postoje tehnička ograničenja u pogledu izdržljivosti i zaštite osetljivih proizvoda, što zahteva dodatna istraživanja i inovacije u pogledu primene održivih materijala.

2.4. Digitalne platforme i korisničko iskustvo

Digitalne platforme predstavljaju ključan element modernizacije poštanske logistike jer omogućavaju visok nivo interakcije između korisnika i poštanskih operatora. Putem mobilnih aplikacija i web servisa korisnici danas mogu da prate pakete u realnom vremenu, zakazuju isporuke u skladu sa sopstvenim potrebama i komuniciraju direktno sa operaterom u slučaju problema ili dodatnih zahteva [14]. Ovakva rešenja značajno podižu kvalitet korisničkog iskustva, jer smanjuju nesigurnost, čekanje i broj neuspešnih isporuka. Primera radi, aplikacije za poštanske usluge nude precizne vremenske intervale isporuke i automatsko obaveštavanje korisnika, čime se optimizuje vremene opsluge, smanjuje broj ponovljenih pokušaja dostave i povećava ukupna operativna efikasnost [4]. Najveći značaj digitalnih platformi u poštanskoj logistici ogleda se u njihovoj sposobnosti da objedine podatke iz različitih izvora (vozila, skladišta, korisničkih zahteva) i pretvore ih u alat za donošenje pametnih odluka. Na ovaj način postiže se bolja iskorišćenost resursa, smanjenje troškova, ali i ekološki efekti, jer smanjeni broj neuspešnih isporuka direktno doprinosi manjoj potrošnji goriva i smanjenju emisije CO₂. Korisnicima ove platforme omogućavaju veću kontrolu dostave, a za poštanske operatere predstavljaju kanal za izgradnju održivog poverenja i lojalnosti [8].

Jedan od ključnih izazova je potreba za kompleksnom IT infrastrukturom, što zahteva značajna ulaganja i stručne kapacitete. Takođe, pitanje bezbednosti i zaštite podataka postaje izuzetno važno, jer veliki obim ličnih i logističkih informacija mora biti zaštićen od potencijalnih zloupotreba i sajber-napada. Osim toga, nejednak nivo digitalne pismenosti korisnika može ograničiti puni potencijal ovih rešenja, pa je edukacija i jednostavnost korišćenja jedan od prioritetnih zadataka operatera.

3. Sinergija tehnologija i održivih praksi

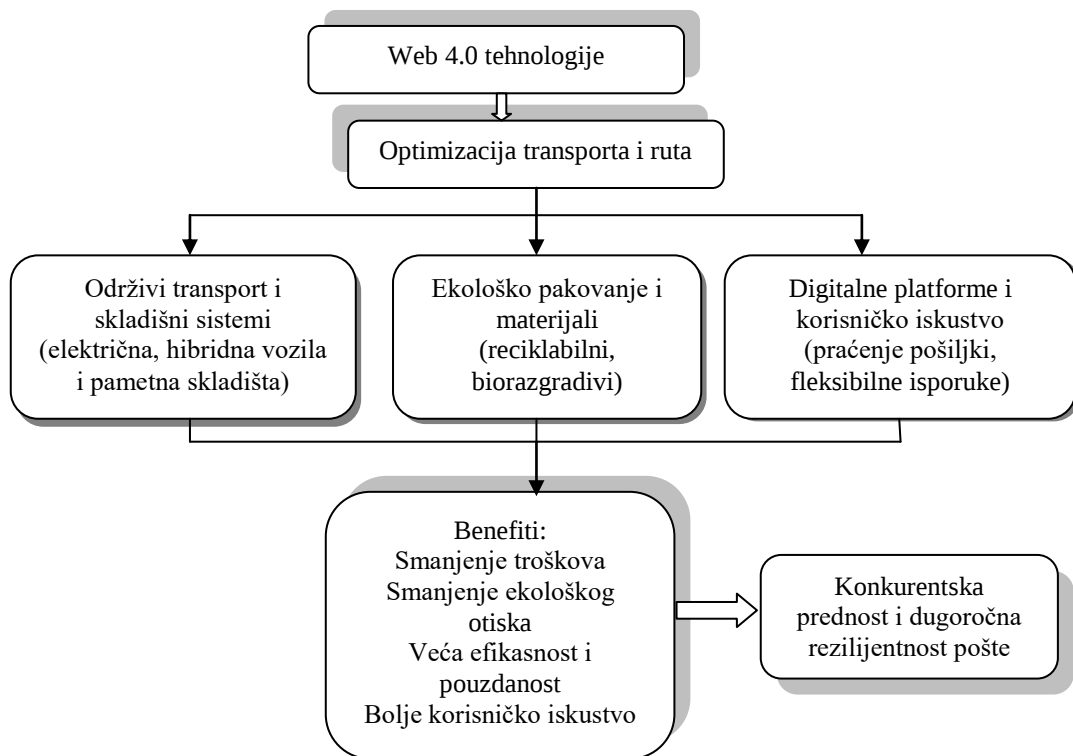
Kombinacija naprednih tehnologija i održivih praksi u poštanskoj logistici postaje ključni pokretač transformacije savremenih sistema isporuke pošiljaka. Ova sinergija unapređuje operativne performanse, smanjuje troškove i ekološki otisak. Integracija AI, blockchaina, IoT senzora i napredne analitike sa održivim rešenjima poput električnih i hibridnih vozila, energetske efikasnosti skladišta i ekološkog pakovanja stvara temelje za adaptivne, rezilijentne i održive LS [9, 10]. Tabela 1. i Slika 1. rekapituliraju benefite, izazove i ograničenja, ali i konkretne prednosti izdvojenih Web 4.0 tehnologija u domenu poštanskog sektora.

Tabela 1. Benefiti, izazovi i prednosti implementacije naprednih tehnologija za poštu

Kategorija	Benefiti	Izazovi i ograničenja	Konkretne prednosti za poštu
<u>Web 4.0 tehnologije (konkretne prednosti)</u>	Optimizacija ruta, prediktivno planiranje, praćenje paketa, smanjenje grešaka	Visoki inicijalni troškovi, potreba za obukom osoblja, integracija sa postojećim sistemima	Smanjenje troškova transporta i skladištenja, veća pouzdanost isporuka
Transport i vozila	Smanjenje emisije CO ₂ , energetska efikasnost	Dostupnost infrastrukture, regulatorna ograničenja	Smanjenje ekološkog otiska, ušteda energije
Skladišni sistemi	Efikasno korišćenje prostora, optimizacija resursa	Potreba za nadogradnjom infrastrukture i softvera	Manja potrošnja energije, veća efikasnost skladišnog poslovanja
Pakovanje	Smanjenje otpada, cirkularna ekonomija	Troškovi materijala, potreba za praćenjem i sertifikacijom	Smanjenje ekološkog otiska, usklađenost sa standardima održivosti
Digitalne platforme i korisničko iskustvo	Transparentnost, fleksibilne isporuke, efikasnije praćenje pošiljke	Potreba za integracijom sa postojećim kanalima, sigurnost podataka	Veće zadovoljstvo korisnika, brža obrada reklamacija, jačanje poverenja korisnika

Integracijom savremenih Web 4.0 tehnologija i postojećih praksi se oblikuje nova paradigma poštanske logistike, u kojoj tehnološki napredak i održivost funkcionišu kao međuzavisni faktori razvoja. Umesto posmatranja efikasnosti isključivo kroz prizmu brzine i troškova, savremeni pristup uključuje i kriterijume ekonomske isplativosti, ekološke odgovornosti, društvene koristi i dugoročne rezilijentnosti LS u poštanskom sektoru [2, 6]. Ovakvo usmerenje obezbeđuje stabilniji i fleksibilniji LS, doprinoseći

stvaranju vrednosti za društvo očuvanjem resursa i smanjenjem negativnog uticaja na životnu sredinu.



Slika 1. Ključne prednosti implementacije Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici

4. Diskusija

Primena Web 4.0 tehnologija u LS u poštanskom sektoru pokazuje značajan potencijal za unapređenje efikasnosti, smanjenje troškova i unapređenje svih aspekata održivosti. Međutim, proces njihove implementacije praćen je brojnim izazovima i zahteva sveobuhvatnu analizu različitih aspekata koje uključuju tehnološku, organizacionu, ekonomsku i regulatornu komponentu.

S jedne strane, prednosti su jasne: prediktivna logistika i optimizacija ruta vozila u isporuci poštanskih pošiljaka dovode do značajnog smanjenja potrošnje goriva, troškova održavanja i emisije CO₂, dok autonomni transportni sistemi i blockchain tehnologija nude rešenja za najizazovnije segmente logistike, a to su poslednja faza dostave i transparentnost podataka. S tim u vezi, integracija digitalnih platformi dodatno unapređuje povezanost i komunikaciju između svih aktera u LS.

S druge strane, izazovi su višestruki, a neki od najznačajnijih su [4, 7]:

Tehnički izazovi:

- Visoka inicijalna ulaganja u infrastrukturu i tehnologiju.
- Potreba za obukom zaposlenih i prilagođavanjem postojećih procesa.

Pravni i regulatorni izazovi:

- Korišćenje autonomnih vozila i dronova.
- Zaštita podataka i privatnosti korisnika.
- Nedostatak međunarodnih standarda za interoperabilnost blockchain sistema.

Organizacioni izazovi:

- Otpor zaposlenih prema digitalizaciji.
- Potreba za promenom organizacione kulture i unapređenim upravljanjem promenama.

Izazovi se mogu ublažiti postepenom implementacijom Web4.0 tehnologija i strateškim partnerstvima koja smanjuju finansijski teret i olakšavaju tehnološku integraciju. Njihovo prevazilaženje zahteva i jaču saradnju sa regulatornim telima radi usklađivanja standarda, kao i efikasno upravljanje promenama kroz edukaciju i aktivno uključivanje zaposlenih u procese digitalne transformacije.

Implementacija Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici ne može posmatrati i analizirati izolovano, već kao sastavni deo sveobuhvatne strategije digitalne transformacije i održivog razvoja pripadajućeg LS. To podrazumeva da poštanski operatori, pored usvajanja novih tehnoloških rešenja, moraju razvijati i integrisane modele saradnje sa poslovnim partnerima, regulatornim institucijama i krajnjim korisnicima [8]. Takav pristup omogućava ostvarivanje višestrukih koristi: smanjenje ekološkog otiska kroz optimizaciju resursa i smanjenje emisije štetnih gasova, unapređenje ekonomske održivosti kroz efikasnije poslovne procese i smanjenje operativnih troškova, kao i jačanje društvene odgovornosti kroz podizanje kvaliteta i dostupnosti poštanskih usluga [2]. Ovakav koordinisan i integrisan pristup omogućava obezbeđivanje dugoročne održivosti LS u sektoru poštanskih usluga, povećanje rezilijentnosti poštanske logistike i očuvanje njene konkurentnosti u sve dinamičnijem globalnom okruženju.

5. Zaključak

Razvoj održivih LS u poštanskoj logistici predstavlja ključni faktor za unapređenje operativne efikasnosti, konkurentnosti i otpornosti u uslovima ubrzane digitalne transformacije i rastućih zahteva korisnika. Primena Web 4.0 tehnologija omogućava prelazak sa tradicionalnih, rigidnih sistema na inteligentne, fleksibilne i adaptivne procese koji integrišu ekološku i socijalnu odgovornost sa ekonomskom održivošću. Tehnološki alati Web 4.0 kao što su AI, blockchain, IoT i napredna analitika podataka omogućavaju praćenje paketa u realnom vremenu, optimizaciju ruta isporuke, prediktivno održavanje transportnih sredstava i efikasno upravljanje skladišnim kapacitetima. Ovi pristupi povećavaju transparentnost i predvidljivost, smanjuju kašnjenja i operativne troškove, dok istovremeno doprinose smanjenju emisije CO₂ i potrošnje resursa.

Angažovanje električnih i hibridnih vozila, pametnih skladišnih sistema sa automatskim kontrolama temperature i energije, kao i korišćenje recikliranih i biorazgradivih materijala za pakovanje predstavljaju konkretne korake ka održivosti i smanjenju ekološkog otiska poštanske logistike. Primena digitalnih platformi za koordinaciju sa partnerima i korisnicima omogućava bolju komunikaciju, bržu obradu reklamacija i fleksibilno prilagođavanje usluga specifičnim zahtevima tržišta. Primeri iz prakse uključuju automatizovane skladišne sisteme koji optimizuju prostor i energiju,

pametne aplikacije koje korisnicima omogućavaju precizno praćenje pošiljki, kao i kompanije koje koriste blockchain za transparentno praćenje putanje paketa i materijala kroz čitav LS.

Maksimiziranje negativnih efekata održivih praksi moguće je jedino kroz integrisanu strategiju koja obuhvata saradnju sa regulatornim telima, dobavljačima i krajnjim korisnicima, uključujući kontinuirano praćenje performansi i unapređenje procesa. Takav holistički pristup omogućava sinergiju između inovacija i principa održivosti, podržava dugoročnu otpornost i fleksibilnost poštanske logistike, te stvara konkurentsku prednost u globalnom okruženju koje se karakteriše visokom dinamikom i neizvesnošću. Pravci budućih istraživanja trebalo bi da se fokusiraju na nekoliko ključnih oblasti, povezujući teoriju sa praktičnim primerima i aktuelnim trendovima (tabela 2):

Tabela 2. Veza između tehnologija, održivih praksi i pravaca budućih istraživanja

Kategorija	Primeri iz prakse	Benefiti	Pravci budućih istraživanja
<u>Web 4.0 tehnologije</u>	AI, IoT, blockchain, analitika	Optimizacija ruta, praćenje paketa, efikasno skladištenje	Razvoj AI za prediktivno upravljanje, blockchain za „zelene“ sertifikate, optimizacija ruta
Transport i vozila	Električna i hibridna vozila	Smanjenje CO ₂ , efikasnost	Ispitivanje ekonomičnosti i skalabilnosti održivih vozila
Skladišni sistemi	Pametna skladišta, automatizacija	Manja potrošnja energije, bolja iskorišćenost prostora	Energetski efikasna automatizacija, AI u upravljanju skladištima
Pakovanje	Reciklirani i biorazgradivi materijali	Smanjenje ekološkog otiska	Novi materijali i tehnologije pakovanja, praćenje kroz blockchain
Digitalne platforme i korisničko iskustvo	Aplikacije za praćenje, digitalna komunikacija	Veće zadovoljstvo korisnika, brža obrada reklamacija, fleksibilnost	Uticaj digitalizacije na korisničko iskustvo i socijalnu održivost

Savremena poštanska logistika sve više implementira konkretna tehnološka i organizaciona rešenja koja istovremeno doprinose efikasnosti i održivosti. Korišćenje električnih i hibridnih vozila smanjuje emisiju CO₂ u segmentu transporta, dok pametni sistemi za planiranje ruta, zasnovani na AI, omogućavaju kraće vreme isporuke i niže troškove goriva. IoT nalazi primenu u praćenju pošiljki u realnom vremenu, kontroli temperature i vlažnosti u transportu osetljivih proizvoda, kao i u optimizaciji skladišnih operacija. Upotreba blockchain tehnologije obezbeđuje veću transparentnost i sigurnost podataka, posebno kod međunarodnih pošiljki i procesa sertifikacije. Pored toga, ekološki prihvatljiva ambalaža i digitalizacija dokumenata smanjuju potrošnju resursa i otpad. Objedinjeno, konkretni benefiti implementacije Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici su:

Veća transparentnost i poverenje – blockchain omogućava praćenje pošiljki u realnom vremenu i smanjuje rizik od prevara;

Optimizacija resursa – AI i analitika poboljšavaju planiranje ruta, iskorišćenost vozila i smanjuju potrošnju goriva;

Smanjenje troškova – automatizacija i prediktivna logistika skraćuju vreme isporuke i umanjuju operativne troškove;

Fleksibilnost i agilnost – decentralizovane platforme omogućavaju brzo prilagođavanje promenama u potražnji;

Održivost – Web 4.0 tehnologije doprinose smanjenju otpada, boljoj energetske efikasnosti i ekološki odgovornijim praksama.

Primena Web 4.0 tehnologija u poštanskoj logistici predstavlja strateški pravac ka povećanju efikasnosti, pouzdanosti i održivosti celokupnog LS. Kroz integraciju prediktivne logistike, autonomnih transportnih sistema i blockchain tehnologija, poštanski operatori mogu obezbediti preciznije praćenje pošiljki, optimizaciju ruta i resursa, smanjenje operativnih troškova i emisije štetnih gasova, kao i veći nivo sigurnosti i transparentnosti u opsluzi korisnika. Ovakav pristup ne samo da doprinosi smanjenju ekološkog otiska i racionalnijem korišćenju energije, već omogućava razvoj novih digitalnih poslovnih modela, unapređenje korisničkog iskustva i jačanje konkurentne pozicije poštanskih operatera u dinamičnom globalnom logističkom okruženju.

Literatura

- [1] M. Baláž, J. Vaculík, & T. Corejova, T. “Evaluation of the impact of the internet of things on postal service efficiency in Slovakia”. *Economies*, Vol 12, No 10, 271. DOI:10.3390/economies12100271, 2024
- [2] S. Dabić-Miletić, S. Analiza nekih specifičnosti upravljanja rizicima u lancima snabdevanja u međunarodnom poštanskom saobraćaju. *Zbornik radova sa XXXVII Simpozijuma o novim tehnologijama u međunarodnom poštanskom saobraćaju–PosTel*, str. 21-30, Beograd, Srbija, 2019.
- [3] Hyder, J., & Hassini, E. “Optimizing warehouse space allocation to maximize profit in the postal industry”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 195, 103924. DOI: 10.1016/j.tre.2024.103924, 2025
- [4] A. Vorona, L. Istomin & S. Kalmykov “Peculiarities of international postal items logistics. *Transportation Research Procedia*, 63, pp. 1872-1880. DOI:10.1016/j.trpro.2022.06.207, 2022
- [5] H. Hasan, E. AlHadhrami, A. AlDhaheri, K. Salah, & R. Jayaraman “Smart contract-based approach for efficient shipment management”. *Computers & industrial engineering*, Vol 136, pp. 149-159. DOI: 10.1016/j.cie.2019.07.022, 2019
- [6] S. Tsiulin, K. H. Reinau, O. P. Hilmola, N. Goryaev, & A. Karam. “Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks”. *Review of International Business and Strategy*, Vol 30, no 2, pp. 201-224. DOI: 10.1108/RIBS-04-2019-0051, 2020
- [7] L. Guo, J. Chen, S. Li, Y. Li, & J. Lu. “A blockchain and IoT-based lightweight framework for enabling information transparency in supply chain finance”. *Digital Communications and Networks*, Vol. 8, No. 4, pp. 576–587. DOI: 10.1016/j.dcan.2022.03.020, 2022.
- [8] Y. C. Yang, & Y. H. Hsieh. “The critical success factors of smart port digitalization development in the post-COVID-19 era”. *Case Studies on Transport Policy*, Vol. 17, 101231. DOI: 10.1016/j.cstp.2024.101231, 2024.

- [9] S. Iwan, M. Nürnberg, M. Jedliński, & K. Kijewska. "Efficiency of light electric vehicles in last mile deliveries – Szczecin case study". *Sustainable Cities and Society*, Vol. 74, 103167. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103167, 2021.
- [10] S. S. Srinivas, & R. R. Marathe. "Moving towards 'mobile warehouse': Last-mile logistics during COVID-19 and beyond". *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol. 10, 100339. DOI: 10.1016/j.trip.2021.100339, 2021.
- [11] C. Sitinjak, V. Simic, & W. F. Simanullang. "Promoting the Adoption Dynamics of Autonomous and Shared Autonomous Vehicles: A Scientific Mixed-Methods Approach". *International Scientific Spectrum*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-29, 2025.
- [12] M. Dobrodolac, D. Lazarević, A. Trifunović, & M. Petrović. "Exploring the Potential Applications of Artificial Intelligence in Parcel Delivery Systems". *Management Science Advances*, Vol. 2, No. 1, pp. 107-116, 2025. DOI: 10.31181/msa21202512.
- [13] A. Kumar, & Sunita. "E-Waste and the Telecommunication Industry: A 15-Year Bibliometric Mapping of Research Progress". *Applied Research Advances*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-49. 2025. DOI: 10.65069/ara1120251.
- [14] R. Mustafovski. "State-of-the-Art Comparison of Sensors in Industry 4.0, Industry 5.0, and Low-Cost Monitoring Technologies". *Spectrum of Engineering and Management Sciences*, pp. 1-14, 2025. DOI: 10.31181/sems41202658m.

Abstract: *The development of sustainable supply chains in postal logistics represents a key challenge and priority in the conditions of accelerated digital transformation. The application of Web 4.0 technologies, such as AI, IoT, blockchain and advanced analytics, enables the transition from traditional to intelligent and flexible processes that combine economic profitability and environmental responsibility and social sustainability. These technologies contribute to predictive planning, route optimization, transparency and better resource management, thereby reducing costs and emissions, while increasing the reliability and quality of postal services. Integration with sustainable practices, which include the use of electric vehicles, smart warehouses and ecological packaging, creates a synergistic effect that enables greater efficiency, reduction of the ecological footprint and improvement of the customer experience. The paper provides a systematic overview of technologies and sustainable practices in postal logistics, identifies their key advantages and challenges, and shows how their synergy ensures long-term resilience, competitive advantage and the transformation of postal logistics towards intelligent and sustainable systems.*

Keywords: *Web 4.0 technologies, digitization, supply chain, postal logistics*

APPLICATION OF WEB 4.0 TECHNOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE POSTAL LOGISTICS SUPPLY CHAINS

Svetlana Dabić-Miletić, Vladimir Simić