

Luka Olivari, mag. ing. mech.¹
mr. sc. Srećko Đuranović²

UTJECAJ BOLESTI COVID-19 NA USMJERAVANJE VOZILA U PRAKSI

Pregledni rad / Review paper
UDK / UDC: 656:616.2-036.21(497.5)
DOI: 10.51650/ezrvs.16.3-4.6
Primljeno / Received: 31/10/2022
Prihvaćeno / Accepted: 5/12/2022

Pandemija bolesti COVID-19 stvorila je pritisak na globalne lance opskrbe, među ostalim, velikim porastom potražnje medicinskih potrepština uz istovremena ograničenja kretanja, povećane troškove transporta i smanjenje dostupnosti radne snage. Već dugi niz godina, transport, distribucija i logistički procesi optimiraju se rješavanjem problema usmjeravanja vozila (engl. Vehicle Routing Problem – VRP). Optimiranje logističkih procesa posebno je važno u vrijeme pandemije kada su resursi ograničeni, a zastoji mogu ugroziti ljudske živote. Cilj ovog rada je pregledom literature istražiti utjecaj bolesti COVID-19 na rješavanje problema usmjeravanja vozila u praksi uslijed novih ograničenja i izazova.

Ključne riječi: *problem usmjeravanja vozila, VRP, COVID-19, pregled literature.*

1. Uvod

COVID-19 virusna bolest utjecala je na mnoge aspekte javnog i poslovnog života, pa tako i na opskrbne lance, logističke procese, te u konačnici i na probleme usmjeravanja vozila (eng. *Vehicle Routing Problem*, VRP). Mjere suzbijanja pandemije, među ostalim, su nastojale smanjiti gužve u javnom i gradskom prijevozu na način da se smanji potreba za dnevnim migracijama. Mjere su uključivale rad od kuće, nastavu na daljinu, ograničenja kretanja i slično. Zbog navedenog se mijenjaju uobičajeni načini transporta, ali se uvode i nove obaveze poput dezinficiranja vozila koje zahtijevaju određeno vrijeme i čine transport tromijim i skupljim. Također, bolest i izolacija ugroženih osoba dovodi no nestabilne dostupnosti radne snage.

Pandemija bolesti COVID-19 znatno je povećala potražnju za medicinskim potrepštinama, poput lijekova, cjepiva i zaštitne opreme, što uz ograničenja kretanja radi značajan pritisak na lance opskrbe. Povećanjem broja hospitaliziranih, testiranih i cijepjenih osoba povećava se i količina otpada, od čega je velik dio medicinskog otpada koji može biti zarazan ili štetan za okoliš. Zbog toga se javljaju dva nova izazova, pravedna i efikasna dostava medicinskih potrepština, te prikupljanje, odvoz i odlaganje medicinskog otpada.

¹ Veleučilište u Šibeniku, Trg Andrije Hebranga 11, 22000 Šibenik, Republika Hrvatska; e-mail: luka.olivari@vus.hr

² Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Vukelićeva 4, 10000 Zagreb, Republika Hrvatska; e-mail: srecko.duranovic@fpz.hr

Trgovina robom preko interneta i narudžba hrane bila je u porastu i prije pandemije zbog toga što velik broj ljudi preferira opciju kupnje od kuće umjesto odlaska u trgovine. Mjere suzbijanja pandemije, poput rada od kuće, nastave na daljinu i mjere popularno nazvane „lock-down“, doprinijele su tom rastućem trendu. U nekim gradovima količina osobnih pošiljki narasla je za više od 100% nakon izbivanja pandemije (Settey et al., 2021). Kao odgovor na takav trend pojavljuje se sve više on-line platformi koje nude dostavu paketa i/ili svježe pripremljene hrane.

Nagla promjena velikog broja utjecajnih faktora dovela je nestabilnosti lanaca opskrbe koji se moraju uravnotežiti što prije. Neki od načina stabiliziranja lanaca opskrbe je primjena novih tehnologija, poput autonomnih vozila i robota, te efikasna koordinacija i optimizacija opskrbnih lanaca. U vrijeme pandemije je još bitnije donijeti ispravne odluke koje će dovesti do pravedne i učinkovite raspodjele dobara, prikupljanja otpada i prijevoza putnika.

Primjenom VRP-a moguće je postići velike uštede, bilo skraćivanjem transportnih ruta, odabirom ruta s najmanjim troškovima ili skraćivanjem vremena dostave i povećanjem zadovoljstva korisnika. Isto tako može se postići pravednija raspodjela posla među zaposlenicima, tj. vozačima ili pravednija raspodjela dobara među korisnicima. Primjena VRP-a je kritična za vrijeme pandemije jer je ispravno korištenje resursa od iznimne važnosti, a zastoji u opskrbi mogu ugroziti ljudske živote.

VRP pripada grupi mrežnih optimizacijskih problema i podrazumijeva skup različitih problema optimalnih ruta flote vozila prilikom posjećivanja određenog broja lokacija (točaka) na grafu koji predstavlja stvarnu transportnu mrežu. U slučaju kada se ruta ostvaruje jednim vozilom problem usmjeravanja vozila postaje problem trgovačkog putnika (engl. *Traveling Salesman Problem*, TSP), što je specijalan slučaj VRP-a. Kod TSP-a se traži optimalna ruta između određenog broja točaka na grafu, koji često predstavljaju gradove ili lokacije korisnika, odnosno dostavna mjesta ili mjesta prikupljanja kao što su proizvodni pogoni, skladišta, distribucijski centri, prodajna mjesta i sl. Trgovački putnik treba posjetiti sve točke točno jedan put i potom se vratiti u početnu točku. Problem usmjeravanja vozila proširuje problem trgovačkog putnika, prvenstveno time što podrazumijeva veći broj trgovačkih putnika, koji se u ovom slučaju nazivaju vozilima. Vozila dostavljaju robu iz skladišta (engl. *depot*) korisnicima koji su prikazani kao točke na grafu. Za svako vozilo treba biti kreirana ruta koja polazi iz skladišta i završava u skladištu. Sve točke, odnosno korisnici, trebaju biti posjećeni točno jedan put i samo s jednim vozilom, a ukupna duljina svih ruta treba biti najkraća moguća.

Kako VRP predstavlja skup problema, neki aspekti problema mogu biti različiti. Na primjer funkcija cilja može biti najkraći put, najmanji troškovi transporta, najmanje cestarine, najmanja potrošnja goriva ili najmanji negativni utjecaj na okoliš. Vozila mogu imati iste ili međusobno različite karakteristike, poput kapaciteta, potrošnje goriva, vrste pogona (npr. električna vozila) i sl. Korisnicima se može dostavljati roba ili se od njih prikupljati (npr. prikupljanje otpada). Udaljenost između dva korisnika može biti različita ovisno u kojem smjeru se vozilo kreće, u tom slučaju se govori o asimetričnom problemu usmjeravanja vozila. S obzirom na navedene razlike, kroz godine su formulirane razne ekstenzije problema usmjeravanja vozila.

Cilj ovog rada je istražiti utjecaj bolesti COVID-19 na praktičnu primjenu problema usmjeravanja vozila, identificirati probleme u praksi, namjene za koje se koristi VRP u COVID-19 okruženju, odnosno ustanoviti koja su nova ograničenja i izazovi koji su nastali uslijed globalne pandemije visoko zaraznom virusnom bolesti.

Rad je strukturiran tako su u poglavlju 2 opisani metodologija i opseg istraživanja. U poglavlju 3 su analizirani podatci, nakon čega slijedi interpretacija dobivenih podataka. U poglavlju 4 su iznesena zaključna razmatranja i mogućnosti daljnjeg istraživanja.

2. Metodologija i opseg istraživanja

Relevantni radovi su prikupljeni pretraživanjem znanstvene baze podataka Dimensions (www.dimensions.ai), korištenjem fraze (*vrp OR "vehicle routing" AND (covid-19 OR coronavirus)*) u traci za pretraživanje. Prema Guerrero-Bote i sur. (2021), baza Dimensions pokriva 25% više studija od baze Scopus, a preklapanje rezultata između dvije baze je značajno. Stoga se smatra da su rezultati dobiveni pretraživanjem baze Dimensions dovoljni da bi se dobila jasna slika. Pretraživanje je ograničeno na naslove i sažetke znanstvenih radova, te radove na engleskom jeziku. Dobiveno je 85 rezultata. Rezultati su pročišćeni tako da su uklonjeni rezultati stariji od 2019. godine, jer prethode izbijanju pandemije COVID-19, isključena su poglavlja u knjigama i ostale publikacije koje ne uključuju znanstvene odnosno stručne radove, te su isključene kategorije istraživanja biomedicinske i kliničke znanosti (*biomedical and clinical sciences*) i medicinske mikrobiologije (*medicinal microbiology*). Pročišćavanjem parametara pretraživanja, dobivena su 42 rezultata. Analizom naslova i sažetaka radova uklonjeno je 9 rezultata jer nisu relevantni za temu rada, odnosno u nekim slučajevima se radi o preglednim radovima. U konačnici je preostalo 33 rada za analizu.

Od prethodnih preglednih istraživanja u ovom području, Lin i sur. (2022) su izradili sustavni pregled literature u kojem se analizira primjena VRP modela i metoda rješavanja kako bi se suzbio negativan utjecaj pandemijskih zaraza. Analiza obuhvaća radove od 2009. do 2021. godine, razne pandemijske bolesti i elementarne katastrofe. U ovom radu je pristup obratan. Istražuje utjecaj (isključivo) bolesti COVID-19 na praktičnu primjenu VRP-a uslijed novih ograničenja i izazova. Prema saznanjima autora, nema drugih preglednih radova u kojima se istražuje utjecaj bolesti COVID-19 na VRP.

3. Analiza i diskusija

U nastavku će se iznijeti rezultati analize prikupljenih referenci i osvrt na uočene uzorke. Poglavlje je podijeljeno na dva dijela, analiza i diskusija. U poglavlju 3.1. Analiza podataka su analizirani rezultati i napravljena je podjela po kategorijama i potkategorijama, a u poglavlju 3.2. Diskusija su iznesena razmatranja.

3.1. Analiza podataka

Analiza praktične primjene VRP-a je provedena tako da su problemi iz prakse kategorizirani u četiri kategorije. Kategorizacija problema iz prakse je napravljena po uzoru na Lin i sur. (2022), uz dodanu kategoriju *ostalo*. Kategorije su redom: dostava, prikupljanje otpada, prijevoz putnika i ostalo.

Dostava, odnosno logistika posljednje milje (engl. *last-mile logistics*) podrazumijeva posljednji korak distribucije dobara. Unatoč nazivu, logistika posljednje milje, nije ograničena doslovno na posljednju milju puta, već na simboličan način označava dostavu do krajnjeg korisnika. Ova

kategorija dalje je podijeljena na dostavu kućanskih potrepština, dostavu medicinskih potrepština, dostavu goriva, crowd-shipping, dostavu humanitarne pomoći i dostavu paketa.

Dostava kućanskih potrepština podrazumijeva dostavu namirnica i ostalih proizvoda koji se mogu pronaći u trgovinama. Dostava medicinskih potrepština podrazumijeva dostavu lijekova, cjepiva i medicinske opreme, između ostalog maski i vizira. Dostavu goriva nije potrebno dodatno pojašnjavati. *Crowd-shipping* (ili *crowd logistics*) je metoda dostave usko povezana s on-line narudžbama i podrazumijeva dostavu od strane ljudi (tzv. povremenih prijevoznika, engl. *occasional driver*) koji se već nalaze u prometu i koriste se društvenim platformama kako bi organizirali narudžbu i dostavu robe. Dostava humanitarne pomoći podrazumijeva (hitnu) dostavu potrepština u područja pogođena nekom nepogodom, poput potresa, elementarnih nepogoda ili velikog broja zaraženih infektivnim bolestima poput COVID-19.

Prikupljanje otpada podrazumijeva organizaciju prikupljanja, pohrane, prijevoza, procesiranja i odlaganje otpada, te se dijeli na prikupljanje općeg i medicinskog otpada. Medicinski otpad je specifičan po tome što su potrebne dodatne mjere kako bi se prikupio i odložio, jer može biti zarazan ili štetan za okoliš. Prijevoz putnika podrazumijeva transport ljudi, a dijeli se na prijevoz pacijenata i evakuacija ljudi iz pogođenih područja. Usluge podrazumijevaju prijevoz ljudi do odredišta kako bi obavili neku uslugu, poput popravka, održavanja, montaže i sl. Pod Kategorijom *ostalo* su kategorizirani radovi obrađuju problem koji nije definiran ili se može svrstati u više kategorija, odnosno ne može kategorizirati u iznad navedene kategorije.

U *tablici 1* prikazana je raspodjela svih radova po kategorijama. Očito je da dostava predstavlja problem koji dominira u praksi s 21 radom i 6 potkategorija koji su izneseni u nastavku. Ovakav rezultat je očekivan, budući da se VRP često koristi za organizaciju brže, jeftinije i pravednije dostave. Potreba za rješavanjem ovih problema posebno je izražena u vrijeme pandemije kada su lanci opskrbe dodatno ugroženi naglim porastom potražnje i ograničenjem kretanja. Slijede radovi koji se bave prikupljanjem otpada s pet radova, te četiri rada koji nisu svrstani u posebnu kategoriju. Prijevoz putnika obrađuje se u tri rada, s tim da se kod Nucci (2021) radi o prijevozu radnika koji vrše uslugu servisa.

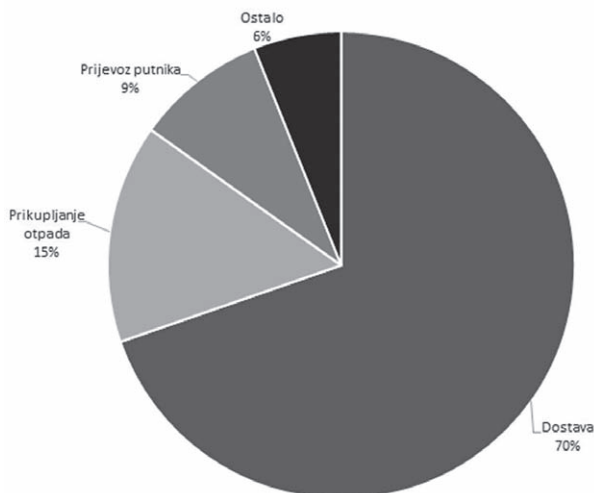
Tablica 1. Raspodjela radova po kategorijama

Referenca	Praktična primjena			
	Dostava	Prikupljanje otpada	Prijevoz putnika	Ostalo
Cerrone & Sciomachen (2022)	X			
Govindan i sur. (2021)		X		
Eren & Rifat Tuzkaya (2021)		X		
Pacheco & Laguna (2020)	X			
Zhang i sur. (2020)			X	
Chen i sur. (2021)	X			
Babae Tirkolae & Aydın (2021)		X		
Jiang i sur. (2021)	X			
Tsai i sur. (2021)			X	
Chen i sur. (2020)	X			
Gai i sur. (2021)	X			
Erdem (2022)		X		
Li i sur. (2022)	X			
Zheng i sur. (2021)	X			
Niranjani & Umamaheswari (2022)		X		
Nucci (2021)			X	
Dalbah i sur. (2022)				nije definirano
Le i sur. (2022)	X			
Zheng i sur. (2022)	X			
Szmelter-Jarosz i sur. (2021)	X			
Mondal & Roy (2021)	X			
Syahraini i sur. (2022)	X			
Xu & Lyu (2021)	X			
Barojas-Payán i sur. (2022)	X			
Yan i sur. (2022)	X			
Pasha i sur. (2020)	X			
Cerrone i sur. (2021)	X			
Du i sur. (2022)	X			
Settey i sur. (2021)				lokacija logističkog centra
Pasha i sur. (2022)	X			
Torres i sur. (2022)	X			
Zhang & Yang (2022)	X			
Mehlawat i sur. (2021)	X			

Izvor: Autori

Na slici 1 je prikazan postotni udio radova iz pojedine kategorije.

Slika 1. Postotni udio tipova problema u praksi



Izvor: Autori

U tablici 2 prikazane su potkategorije logistike posljednje milje. U većini radova nije definirano što se točno dostavlja, već je pažnja usmjerena na postizanje što efikasnije dostave općenito ili postizanje beskontaktno dostave korištenjem suvremenih tehnologija, kao što su roboti ili dronovi. U radovima u kojim se obrađuje dostava kućanskih i medicinskih potrepština uglavnom se radi o zadovoljavanju hitnih i nužnih potreba, poput dostave hrane u izolirane zajednice ili raspodjele cjepiva i zaštitne opreme, poput vizira, bolnicama koje su suočene s navalom zaraženih pacijenata. Problem predstavlja i dnevna dostava svježih proizvoda koji su sklони kvarenju. Koncept tvornice-u-kutiji detaljnije je opisan u poglavlju 3.2., a radi se o posebnoj vrsti VRP-a koji podrazumijeva transport proizvodnih strojeva u kontejnerima na lokaciju gdje postoji povećana potražnja za određenim proizvodnom ili malim serijama raznolikih, ali srodnih proizvoda.

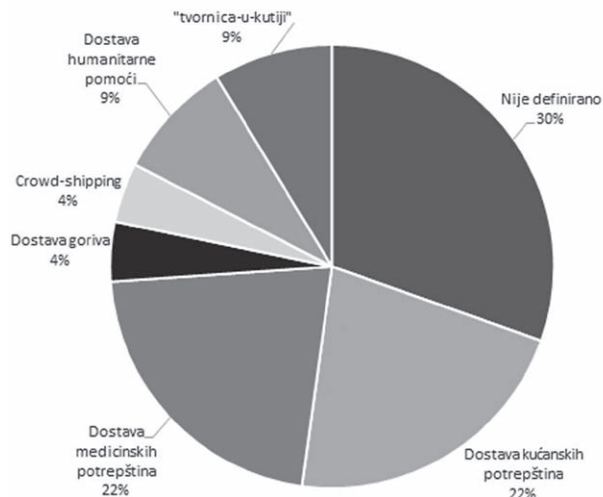
Svi radovi koji se bave prikupljanjem otpada podrazumijevaju prikupljanje medicinskog otpada. U vrijeme pandemije, zbog skokovitog rasta hospitaliziranih pacijenata i velike potrebe za testiranjem potencijalnih bolesnika, dolazi do velikog porasta medicinskog, zaraznog otpada. Medicinski otpad predstavlja potencijalni izvor zaraze i potrebno ga je odvesti i odložiti u što kraćem vremenskom roku kako bi se umanjio rizik od zaraze. Od radova koji se bave prijevozom putnika, Zhang i sur. (2020) se bavi prijevozom visoko rizičnih pacijenata, Tsai i sur. (2021) evakuacijom iz ugroženih područja, a Nucci (2021) prijevozom radnika u neizvjesnim uvjetima zbog bolesti COVID-19.

Tablica 2. Raspodjela radova logistike posljednje milje po potkategorijama

	Ukupno	Radovi
Logistika posljednje milje	23	
Nije definirano	7	Chen i sur. (2021), Li i sur. (2022), Zheng i sur. (2021), Syahraini i sur. (2022), Barojas-Payán i sur. (2022), Zhang & Yang (2022), Mehlawat i sur. (2021)
Dostava kućanskih potrepština	5	Cerrone & Sciomachen (2022), Jiang i sur. (2021), Chen i sur. (2020), Le i sur. (2022), Cerrone i sur. (2021)
Dostava medicinskih potrepština	5	Pacheco & Laguna (2020), Zheng i sur. (2022), Szmelter-Jarosz i sur. (2021), Mondal & Roy (2021), Du i sur. (2022)
Dostava goriva	1	Xu & Lyu (2021)
Crowd-shipping	1	Torres i sur. (2022)
Dostava humanitarne pomoći	2	Gai i sur. (2021), Yan i sur. (2022)
„Tvornica-u-kutiji“	2	Pasha i sur. (2020), (2022)

Izvor: Autori

Slika 2. Postotni udio radova u potkategorijama logistike posljednje milje



Izvor: Autori

3.2. Diskusija

Većina dosadašnjih formulacija problema usmjerenja vozila nije bila prilagođena pandemijskim uvjetima jer se u obzir nisu uzimala dodatna ograničenja poput dodatnog vremena dezinficiranja vozila i prostora ili za testiranja na bolest COVID-19, faktor rizika prijevoza zaraznih ili rizičnih putnika i faktor rizika prijevoza zaraznog otpada, kao i povećani troškovi transporta upravo zbog testiranja na COVID-19 i korištenje dodatne zaštitne opreme.

Kod praktične primjene VRP-a uslijed pandemije bolesti COVID-19 uzimaju se u obzir gore navedeni faktori. Uočeno je da se kod izračuna optimalne rute uključuje faktor rizika od zaraze i dodatno vrijeme za dezinfekciju ili testiranje na bolest COVID-19, nastoji se postići beskontaktna dostava kako bi se izbjegla mogućnost zaraze. Povećan je broj korisnika on-line usluga naručivanja i crowd-shipping metode dostave. Povećana je i količina medicinskog otpada koji predstavlja potencijalni izvor zaraze prilikom prikupljanja i odvoza. Koncept „tvornice-u-kutiji“ pokazao se kao dobro rješenje za nagli porast potražnje u dok su lanci opskrbe poremećeni.

Nova rješenja VRP-a uzimaju u obzir faktor rizika od zaraze, tj. opasnosti od zaraze koji prethodno nije bio razmatran. Faktor rizika od zaraze podrazumijeva smanjenje mogućnosti zaraze i uključen je u funkciju cilja određivanja optimalne rute. Smanjenje troškova transporta i smanjenje rizika od zaraze često su dva oprečna cilja, Li i sur. (2022) su napravili VRP model za električna vozila s namjerom smanjenja oba cilja. Jiang i sur. (2021) nastoje smanjiti učestalost kontaktiranja dostavljača i korisnika, te na taj način umanjiti mogućnost zaraze. Govindan i sur. (2021) nastoje umanjiti faktor rizika od zaraze prilikom prikupljanja otpada tako da se prioritiziraju manje prometne rute.

Neki autori razmatraju potrebno vrijeme i cijenu testiranja na bolest COVID-19 i dezinfekciju vozila, tako su Cerrone & Sciomachen (2022) ograničili maksimalnu duljinu rute kako bi se osiguralo potrebno vrijeme za dezinfekciju dostavnih vozila. Li i sur. (2022) su razvili novi VRP model nazvan Problem usmjeravanja vozila u epidemijskim uvjetima (VRP for epidemic situations - VRP4E) koji uzima u obzir i troškove prevencije zaraze.

Kako bi smanjili rizik od prijenosa bolesti COVID-19 s čovjeka na čovjeka, neki od predloženih VRP modela uzimaju u obzir izbjegavanje kontakta između ljudi, tj. koristi se beskontaktna dostava. Chen i sur. (2020) razvili su model problema usmjeravanja vozila koji uključuje beskontaktno preuzimanje i dostavu hrane. Chen i sur. (2021) koriste autonomne robote za dostavu paketa, a Du i sur. (2022) koriste dronove za dostavu medicinske opreme, sve kako bi postigli beskontaktnu dostavu. Zhang & Yang (2022) koriste robote za beskontaktnu dostavu i razvoj inteligentnog logističkog sustava.

Kao što je spomenuto, bolest COVID-19 i mjere za suzbijanje dovele su do snažnog porasta korisnika on-line usluga naručivanja. Zbog znatnog povećanja broja on-line narudžbi hrane i paketa, stvara se pritisak na logističke procese, odnosno potrebno je organizirati učinkovitu i brzu dostavu, pogotovo unutar gradova. Povećanje potrebe za transportom, također dovodi i do povećanog broja vozila na cestama. Ta vozila su najčešće velika (kombi ili kamion) i pogone se na fosilna goriva. Sve navedeno utječe okoliš i zdravlje građana. Dobra lokacija urbanog logističkog centra može se pronaći rješavanjem VRP-a i na taj način značajno smanjiti broj prijeđenih kilometara vozila u gradovima. Settey i sur. (2021) koriste VRP kako bi odredili povoljnu lokaciju logističkog centra.

Crowd-shipping metoda dostave, koja je postala mnogo zastupljenija za vrijeme pandemije i može ublažiti utjecaj koji COVID-19 ima na dostupnost radne snage koristi povremene prijevoznike koji se već nalaze u prometu, a obavljanjem dostave ostvaruju dodatne prihode. Model problema usmjeravanja vozila mora obuhvatiti nepoznate preferencije i karakteristike povremenih prijevoznika poput kapaciteta i vrste vozila. Također, povremeni prijevoznik može i ne mora prihvatiti zadanu rutu, što među ostalim ovisi o privlačnosti ostalih ruta koje su u ponudi. Torres i sur. (2022) su izradili upravo takav model.

Za vrijeme pandemije COVID-19 značajno je porasla količina medicinskog otpada, među ostalim i zbog hospitalizacije pacijenata i dijagnosticiranja potencijalnih pacijenata. Od navedenog medicinskog otpada, velika količina je infektivni otpad. Kako bi se smanjio rizik od zaraze, taj otpad se mora prevoziti brzo i efikasno. Govindan i sur. (2021) razvili su matematički VRP model, a Babae i Tirkolae & Aydin (2021) razvijaju održivi VRP model prikupljanja otpada, u oba slučaja se istovremeno sa smanjuje cijena transporta i smanjuje izloženost infektivnom otpadu. Erdem (2022) koriste električna vozila kako bi istovremeno umanjili rizik od zaraze infektivnim otpadom i smanjili emisiju ispušnih plinova.

Koncept tvornice-u-kutiji podrazumijeva montažu proizvodnog pogona na mjestima gdje su proizvodi najpotrebniji. Potrebni strojevi i uređaji za proizvodnju nalaze se u kontejnerima te se transportiraju na odabranu lokaciju. Nakon određenog vremena ili nakon što se zadovolji potražnja, „tvornica“ se premješta na novu lokaciju. Na ovaj način, eliminira se negativan utjecaj zastoja u opskrbnim lancima, koji za vrijeme pandemije, visoko rizičnim osobama može značiti razliku između života i smrti. Koncept tvornice-u-kutiji dobro je rješenje za nagli i veliki porast potražnje. Za vrijeme pandemije dolazilo je do takvog porasta potražnje za lijekovima, cjepivima i medicinskom opremom, kao što su viziri. Koncept tvornice-u-kutiji također je dobro rješenje kada postoji velika potražnja za malim serijama raznolikih proizvoda. Klasični VRP podrazumijeva dvije kategorije točaka na grafu, a to su skladišta i korisnici. Vozila prevoze robu iz skladišta prema korisnicima, te se na kraju radnog vremena vraćaju natrag u skladište. Za prikazivanje koncepta tvornice-u-kutiji potreban je veći broj kategorija koji bi uključivao još i dobavljače i proizvođače. Pasha i sur. (2020), (2022) su predložili takav problem usmjeravanja vozila pod nazivom Vehicle Routing Problem with a “Factory-In-a-Box (VRPFIB).

Zanimljivo je spomenuti i rad Dalbah i sur. (2022), u kojem se ne ističe praktična primjena VRP-a, niti utjecaj pandemije na nove formulacije problema, već je bolest COVID-19 poslužila kao inspiracija za novu metodu rješavanja problema usmjeravanja vozila s ograničenjem kapaciteta (CVRP). Točnije, postizanje imuniteta stada cijepljenjem protiv bolesti COVID-19 inspiriralo je novi populacijski algoritam koji simulira strategiju postizanja kolektivnog imuniteta. Coronavirus Herd Immunity Optimizer (CHIO) metaheuristika kojom je moguće pronaći kvalitetna rješenja, ali ne garantira pronalazak optimalnog rješenja. Inače, pronalaženje optimalnog rješavanja za VRP je složen postupak, a veličina problema koji se mogu riješiti egzaktnim metodama je ograničena i zbog toga se često koriste heuristike i metaheuristike.

4. Zaključak

Pandemija bolesti COVID-19 uzrokovala je zastoje u opskrbnim lancima. Neki od razloga su nagla i skokovita potražnja za određenim proizvodima, poput cjepiva i medicinske opreme. Povećana je i proizvodnja medicinskog otpada, koji predstavlja opasnost po zdravlje ljudi. Taj otpad treba ispravno transportirati i zbrinuti. Ograničenja kretanja, karantene, obavezna testiranja na bolest COVID-19 dodatno su usporila transport. Primjenom VRP-a već dugi niz godina postižu se značajne uštede u logistici, što je posebno važno u pandemijskim uvjetima kada pravovremena dostava ili transport rizičnih osoba može značiti razliku između života i smrti. Tako se VRP koristi za optimiranje dostave hrane i medicinskih potrepština, odvoza infektivnog otpada i prijevoza rizičnih pacijenata.

Bolest COVID-19 potaknula je autore da istraže mogućnosti šire primjene suvremenih tehnologija kao što su on-line platforme i crowd-shipping kako bi ublažili nedostatak radne snage, odnosno robota i dronova za beskontaktnu dostavu. Također, autori razmatraju nova ograničenja i uvjete transporta, a sve kako bi se postigli učinkovitiji lanci opskrbe uz pomoć VRP-a. Također, bitno je razmotriti nove parametre optimizacije, poput smanjenja rizika od zaraze. U konačnici, bolest COVID-19, tj. postizanje imuniteta stada cijepljenjem, inspiriralo je i novu metodu rješavanja složenog problema usmjeravanja vozila.

Za buduća istraživanja planira se proširiti pregled članaka na sistematski pregled postojećih i novih formulacija VRP-a, ograničenja koja su se koristila kod VRP modela, objektivnih funkcija, metoda rješavanja i podataka koji su se koristili za testiranje modela i metoda rješavanja.

LITERATURA

1. Babae Tirkolae, E., & Aydın, N. S. (2021). A sustainable medical waste collection and transportation model for pandemics. *Waste Management and Research*, Vol. 39(1_suppl), str. 34-44.
2. Barojas-Payán, E., de la Cruz-Zopiyactle, E. N., Sánchez-Partida, D., Sánchez-Bazán, I., & Juárez-Rivera, V. (2022). Program for the Delivery of Basic Necessities of a Warehouse During the Covid-19 Pandemic. *Acta Logistica*, Vol. 9(1), str. 39-49.
3. Cerrone, C., Cerulli, R., & Sciomachen, A. (2021). Grocery distribution plans in urban networks with street crossing penalties. *Networks*, Vol. 78(3), str. 248-263.
4. Cerrone, C., & Sciomachen, A. (2022). VRP in urban areas to optimize costs while mitigating environmental impact. *Soft Computing*, Vol. 26(19), str. 10223-10237.
5. Chen, C., Demir, E., Huang, Y., & Qiu, R. (2021). The adoption of self-driving delivery robots in last mile logistics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 146(January 2021), 102214.
6. Chen, D., Pan, S., Chen, Q., & Liu, J. (2020). Vehicle routing problem of contactless joint distribution service during COVID-19 pandemic. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100233.
7. Dalbah, L. M., Al-Betar, M. A., Awadallah, M. A., & Zitar, R. A. (2022). A modified coronavirus herd immunity optimizer for capacitated vehicle routing problem. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, Vol. 34(8), str. 4782-4795.
8. Du, L., Li, X., Gan, Y., & Leng, K. (2022). Optimal Model and Algorithm of Medical Materials Delivery Drone Routing Problem under Major Public Health Emergencies. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 14(8).
9. Erdem, M. (2022). Designing a sustainable logistics network for hazardous medical waste collection a case study in COVID-19 pandemic. *Journal of Cleaner Production*, 376(August), 134192.
10. Eren, E., & Rifat Tuzkaya, U. (2021). Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 157(19), 107328.
11. Gai, L., Jin, Y., & Zhang, B. (2021). An integrated method for hybrid distribution with estimation of demand matching degree. *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 44(4), str. 2782-2808.

12. Govindan, K., Nasr, A. K., Mostafazadeh, P., & Mina, H. (2021). Medical waste management during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: A mathematical programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 162(January), 107668.
13. Guerrero-Bote, V. P., Chinchilla-Rodríguez, Z., Mendoza, A., & de Moya-Anegón, F. (2021). Comparative Analysis of the Bibliographic Data Sources Dimensions and Scopus: An Approach at the Country and Institutional Levels. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, Vol. 5(January), str. 1-12.
14. Jiang, Y., Bian, B., & Liu, Y. (2021). Integrated multi-item packaging and vehicle routing with split delivery problem for fresh agri-product emergency supply at large-scale epidemic disease context. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Vol. 8(2), str. 196-208.
15. Le, T. D. C., Nguyen, D. D., Oláh, J., & Pakurár, M. (2022). Clustering algorithm for a vehicle routing problem with time windows. *Transport*, Vol. 37(1), str. 17-27.
16. Li, J. Y., Deng, X. Y., Zhan, Z. H., Yu, L., Tan, K. C., Lai, K. K., & Zhang, J. (2022). A Multipopulation Multiobjective Ant Colony System Considering Travel and Prevention Costs for Vehicle Routing in COVID-19-Like Epidemics. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, PP, str. 1-15.
17. Lin, K., Nurmaya Musa, S., & Yap, H. J. (2022). Vehicle Routing Optimization for Pandemic Containment: A Systematic Review on Applications and Solution Approaches. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 14(4), str.1-27.
18. Mehlatat, M. K., Gupta, P., & Khaitan, A. (2021). Multiobjective fuzzy vehicle routing using Twitter data: Reimagining the delivery of essential goods. *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 36(7), str. 3566-3595.
19. Mondal, A., & Roy, S. K. (2021). Multi-objective sustainable opened- and closed-loop supply chain under mixed uncertainty during COVID-19 pandemic situation. *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 159(June), 107453.
20. Niranjani, G., & Umamaheswari, K. (2022). Sustainable Waste Collection Vehicle Routing Problem for COVID-19. *Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 33(1), str. 457–472.
21. Nucci, F. (2021). Multi-shift Single-Vehicle Routing Problem Under Fuzzy Uncertainty. In *Advances in Intelligent Systems and Computing: Vol. 1197 AISC*. Springer International Publishing.
22. Pacheco, J., & Laguna, M. (2020). Vehicle routing for the urgent delivery of face shields during the COVID-19 pandemic. *Journal of Heuristics*, Vol. 26(5), str. 619-635.
23. Pasha, J., Dulebenets, M. A., Kavooosi, M., Abioye, O. F., Wang, H., & Guo, W. (2020). An Optimization Model and Solution Algorithms for the Vehicle Routing Problem with a "Factory-in-a-Box." *IEEE Access*, 8, str. 134743–134763.
24. Pasha, J., Nwodu, A. L., Fathollahi-Fard, A. M., Tian, G., Li, Z., Wang, H., & Dulebenets, M. A. (2022). Exact and metaheuristic algorithms for the vehicle routing problem with a factory-in-a-box in multi-objective settings. *Advanced Engineering Informatics*, 52, str. 1–33.
25. Settey, T., Gnap, J., Beňová, D., Pavličko, M., & Blažeková, O. (2021). The growth of e-commerce due to COVID-19 and the need for urban logistics centers using electric vehicles: Bratislava case study. *Sustainability (Switzerland)*, Vol. 13(10).

26. Syahraini, S., Efendi, S., & Sitorus, S. (2022). A Decision Model For Tackling Logistic Optimization Problem in Online Business Environment. *Sinkron*, Vol. 7(3), str. 2038-2043.
27. Szmelter-Jarosz, A., Ghahremani-Nahr, J., & Nozari, H. (2021). A Neutrosophic Fuzzy Optimisation Model for Optimal Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network during COVID-19. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(11), 519.
28. Torres, F., Gendreau, M., & Rei, W. (2022). Crowdshipping: An open VRP variant with stochastic destinations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 140(November).
29. Tsai, Y. L., Rastogi, C., Kitanidis, P. K., & Field, C. B. (2021). Routing algorithms as tools for integrating social distancing with emergency evacuation. *Scientific Reports*, Vol. 11(1), str. 1–14.
30. Xu, G., & Lyu, Q. (2021). Vehicle Routing Problem for Collaborative Multidepot Petrol Replenishment under Emergency Conditions. *Journal of Advanced Transportation*, 2021.
31. Yan, T., Lu, F., Wang, S., Wang, L., & Bi, H. (2022). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-objective location-routing problem in the early post-disaster stage. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 0(0), 0.
32. Zhang, M. X., Yan, H. F., Wu, J. Y., & Zheng, Y. J. (2020). Quarantine vehicle scheduling for transferring high-risk individuals in epidemic areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17(7), 2275.
33. Zhang, M., & Yang, B. (2022). Swarm Robots Cooperative and Persistent Distribution Modeling and Optimization Based on the Smart Community Logistics Service Framework. *Algorithms*, Vol. 15(2), 39.
34. Zheng, W., Wang, Z., & Sun, L. (2021). Collaborative Vehicle Routing Problem in the Urban Ring Logistics Network under the COVID-19 Epidemic. *Mathematical Problems in Engineering*.
35. Zheng, Y. J., Chen, X., Song, Q., Yang, J., & Wang, L. (2022). Evolutionary Optimization of COVID-19 Vaccine Distribution with Evolutionary Demands. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, c, str. 1-14.

Summary

IMPACT OF THE COVID-19 DISEASE ON THE APPLICATION OF VEHICLE ROUTING PROBLEMS IN PRACTICE

The COVID-19 pandemic has, among other things, disrupted global supply chains, through a large increase in demand for medical supplies with simultaneous movement restrictions, increased transportation costs, and reduced labor availability. For many years, transport, distribution, and logistics processes have been optimized by solving the Vehicle Routing Problem (VRP). Optimizing logistics processes is especially important during a pandemic when resources are limited, and disruptions can endanger human lives. This paper aims to investigate the impact of COVID-19 on the Vehicle Routing Problem in practice due to new limitations and challenges by reviewing the literature.

Keywords: Vehicle Routing Problem, VRP, COVID-19, literature review.