



10.OPTIMIZACIJA TRANSPORTA



Ovo poglavlje posvećeno je najvažnijim pitanjima vezanim uz optimizaciju transporta. Uključuje:

- osnovne definicije transportnog sustava,
- prirodu i važnost optimizacije transportnog sustava,
- opis primjene transportne problematike u praksi.

10.1. Uvod

U fazi distribucije dominantnu ulogu imaju procesi transporta i špedicije. Važno je napomenuti da njihov sve veći značaj generira potrebu za inovacijama u organizaciji kretanja tereta korištenjem odgovarajuće odabranih transportnih sredstava i načina transporta (Krawczyk, 2001). Stoga se traže metode i alati koji će dati precizne odgovore na ključna pitanja vezana uz procese transporta i špedicije. Netko se može zapitati jesu li potrebne promjene i, ako jesu, kakvi će to rezultirati financijskim rezultatima? Izazov, ali i potreba suvremenog poduzeća je spojiti ekonomske koristi održavanja visoke kvalitete usluge kupcima sa smanjenjem troškova transporta, što je također funkcija usluge kupcima. Pritom pitanje minimiziranja troškova poprima stratešku dimenziju (Christopher, 2000).

Transport spada u područje proizvodnje materijalnih usluga, obavlja transport ljudi i robe, osigurava distribuciju i opskrbu sirovinama i proizvodima industrije i poljoprivrede svih regija svijeta. Glavna zadaća transporta je potpuno i pravodobno zadovoljiti prometne potrebe nacionalnog gospodarstva i stanovništva, povećati učinkovitost i kvalitetu transportne mreže. S obzirom na vodeću ulogu transporta u tržišnom gospodarstvu, upravljanje transporta izdvojeno je u zasebno područje koje se naziva transportna logistika. Transportna logistika uključuje niz elemenata, a glavni su (Yahiaoui, 2019; Vakulenko i Evreenova, 2019):

- tereti,
- konsolidacijske stanice,
- transportna čvorišta (hubovi),



- transportna mreža,
- vozni park,
- oprema za rukovanje,
- sudionici logističkog procesa,
- transportni kontejneri,
- pakiranje.

Glavne rezerve za unapređenje transportno-logističkog procesa leže u racionalnoj organizaciji međudjelovanja sudionika u opskrbnom lancu, koordinaciji njihovih interesa i traženju obostrano korisnih i odgovarajućih rješenja. Napredak u informacijskoj tehnologiji može značajno poboljšati učinkovitost transportne logistike, a informacija i informatička podrška imaju zaslužno mjesto među ključnim logističkim funkcijama (Liu, Zhang i Wang, 2018; Sun, i dr., 2019).

Napredak informacijske tehnologije pridonio je povećanju učinkovitosti transporta. Korištenjem najnovije informacijske tehnologije moguće je automatizirati sve informatičke aktivnosti transportničkih tvrtki koje su uključene u procese organizacije teretnog transporta. Automatizacija transportne logistike omogućuje povećanu učinkovitost i optimizaciju transporta. Uvođenjem automatiziranih sustava za rutiranje, naplatu i planiranje u transportnim poduzećima, transportna logistika doseže novu razinu (Dekhtyaruk, i dr. 2021).

10.2. Priroda i značaj optimizacije prometnog sustava

Istraživanje i rad na optimizaciji prometnog sustava povezan je s važnim pitanjima prometne politike, igrajući važnu ulogu u razvoju teorije ekonomije prometa. Razvoj optimizacijskog rada i istraživanja potiče gospodarska praksa prometa, ukazujući na najrelevantnija pitanja koja treba riješiti, kao i određujući opseg i smjerove metodoloških istraživanja. S druge strane, tema optimizacije prometnog sustava inspirirala je istraživače da implementiraju dostignuća teorije sustava i kibernetike za rješavanje ekonomskih prometnih problema. To je pridonijelo povoljnom razvoju u pogledu metodologije znanstvenog istraživanja, kao i poticanje interesa za aspekte transportne ekonomije metodološke prirode (De Maio i Vitetta, 2015).

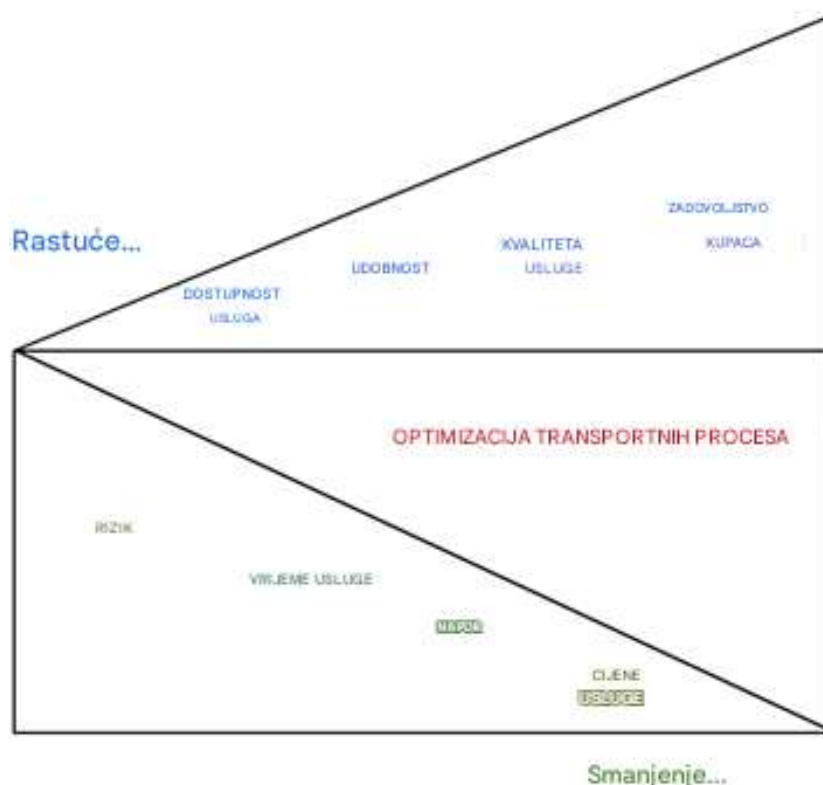


optimalnim prometnim sustavom podrazumijeva se sustav koji u potpunosti i pravilno osigurava uslugu postojećih prometnih potreba (volumen, vrste, prostorna disperzija) uz najmanji utrošak društvenog rada, uz racionalno korištenje svojstava i karakteristika (tehničkih, operativnih i ekonomskih) pojedinih oblika prometa. Idejom ove definicije prihvaćene u literaturi, pitanje optimizacije prometnog sustava svodi se na cjelovito i pravilno servisiranje prometnih potreba uz kriterij minimiziranja društvenog inputa rada (Wong, i dr., 2016).

Optimizacija u transportu vrlo je širok pojam koji obuhvaća različite procese. Njihov cilj je poboljšati položaj strana uključenih u transport (pošiljatelja, primatelja, zaposlenika). Najčešće se u literaturi mogu naći aspekti koji se odnose na optimizaciju i špediciju. Obično se radi o smanjenju troškova transporta i dostave. Međutim, u praksi se radi o višekriterijskim pitanjima. Relevantni su i manje uobičajeni kriteriji, među kojima se mogu spomenuti udobnost, ekologija, kvaliteta transportnih usluga, zadovoljstvo korisnika, pa čak i istrošenost cesta. Trošak i vrijeme su, međutim, dominantni faktori. Logističke procese treba promatrati iz strateške, ali i operativne perspektive. Strateška perspektiva odnosi se na dugoročno planiranje i osmišljavanje vizije poduzeća. Operativna perspektiva bavi se trenutnom situacijom. Ovi aspekti optimizacije trebali bi biti povezani jedan s drugim, kao i podržani od strane različitih sustava upravljanja logistikom. Tema optimizacije transporta, čak i ako je ograničena na minimiziranje troškova, uključuje čitav niz aktivnosti koje se tiču cjelokupnog opskrbnog lanca. Najvažnije je stvaranje učinkovite distribucijske mreže, koja se tiče identifikacije lokacije kupaca i njihovih potreba, koje se potencijalno mijenjaju tijekom vremena, te optimalne lokacije distribucijskih centara, distribucijskih terminala i skladišta. Također je važno odabrati pravi vozni park (veličina vozila, raspodijeljena na vlastiti i eksterni vozni park, kao i njihovi kapaciteti kao što su podizanje, dizalica, rashladni uređaji, tovarni prostor), jer neadekvatan vozni park može značajno smanjiti potencijal transportne tvrtke. Proces optimizacije transporta također treba analizirati različite scenarije toka proizvoda, kao i globalnu identifikaciju uskih grla i čimbenika koji smanjuju profit za tvrtku (www_10.1).

Prednosti pravilno provedenog procesa optimizacije su povećana sigurnost, bolja kvaliteta usluge i veća dostupnost roba i usluga. Integracija sustava i primjena unaprijed definiranih standarda, zajedno s vještim odabirom tehnika optimizacije, pomaže nacionalnom i regionalnom transportu, a također doprinosi povećanju konkurentnosti poduzeća. Najvažnije

prednosti optimizacije, kada se pravilno provede, ilustrirane su na slici 10.1. Sljedeća slika prikazuje promjene koje nastaju implementacijom procesa optimizacije.



Slika 10. 1. Promjene koje proizlaze iz primjene optimizacije transportnih procesa

Izvor: (Zajdel i Filipowicz, 2008)

Može se spomenuti nekoliko problema optimizacije. Najvažniji od njih u skupini malih pošiljaka su:

- izbor između neizravnog i izravnog prijevoznika,
- planiranje distribucijskog potencijala,
- razmotriti lokalnu distribuciju.

Prihvaćanje transportnih naloga uvijek postavlja pitanje izbora između izravnih dobavljača i korištenja distribucijske mreže. Donošenje odluke o transportu pošiljke ovisi o terminalu i troškovima dostave. Ovaj problem odnosi se na dimenzije pošiljke. Velika pošiljka i velika udaljenost dostave potiču vas da odaberete izravan transport. Ako se radi o jednoj pošiljci, problem postaje lako rješiv jer je dovoljno usporediti troškove transporta pomoću terminalskog



sustava. No, treba imati na umu da se spajanjem pošiljke s drugim artiklima smanjuju troškovi neizravnog transporta. Projektiranje distribucijske mreže za male parcele strateško je pitanje. Ukupni trošak sustava može se izračunati pomoću sljedeće formule (Milewski, 2011):

$$K_{CSD} = \sum_{j=1}^n K_{d-o_j} + K_{T_j} + K_{P_j},$$

gdje:

K_{CSD} – ukupni trošak distribucijskog sustava,

K_{d-o_j} – troškovi transporta i zbrinjavanja i -tog terminala,

K_{T_j} – terminalni troškovi i -tog terminala,

K_{P_j} – troškovi linijskog transporta i -tog terminala,

n – broj terminala.

Operativni problem je planiranje ruta transporta paketa u okviru strateških dogovora. Ukupni trošak transporta pošiljaka duž određene rute može se izraziti pomoću formule ispod (Milewski, 2011.) :

$$K_{CDL} = \sum_{k=1}^o K_{i,k} * d_k,$$

gdje:

K_{CDL} – ukupni trošak lokalne distribucije,

$K_{i,k}$ – trošak transporta (isporuka ili distribucija) pošiljaka na relaciji k ,

d_k – duljina rute k ,

o – broj ruta.

Glavni cilj optimizacijskih metoda i modela je rješavanje problema. Kriterij optimizacije obično je najkraće moguće vrijeme transporta ili najkraći put. Ovaj je pristup dovoljan pod pretpostavkom da ukupni trošak izravno ovisi o duljini ruta. Stoga rutu treba odabrati tako da bude "što kraća ili da vrijeme putovanja njome bude što kraće". Ovdje treba obratiti pozornost na model optimizacije transportnog makrosustava (Milewski, 2011). Njegova je zadaća razviti odgovarajući broj pokazatelja i mjera potrebnih u procesu racionalnog upravljanja transportom tijekom logističke provedbe operativnih aktivnosti. Što preciznije model odražava testiranu

stvarnost, to su mogućnosti upravljanja učinkovitije. Ovisno o sličnosti, optimizacijski model može se koristiti za izravnu izradu poslovne strategije u sektoru prometnih usluga. Optimizacijski model transportnog sustava pruža metode i znanstvene alate za upravljanje transportnim sustavom. Može se napisati u obliku sljedećeg izraza (Ficoń, 2010).

$$MDE_{ST} = \langle Z_{ST}, P_{ST}(t) \parallel G_{ST}, F_{ST}, H_{ST} \rangle \xrightarrow{\max STO_{ST}} \min S_{ST},$$

gdje:

Z_{ST} – skup operativnih (logističkih) resursa ST sustava,

P_{ST} – skup operativnih (logističkih) procesa ST sustava,

G_{ST} – skup ograničenja i rubnih uvjeta ST sustava,

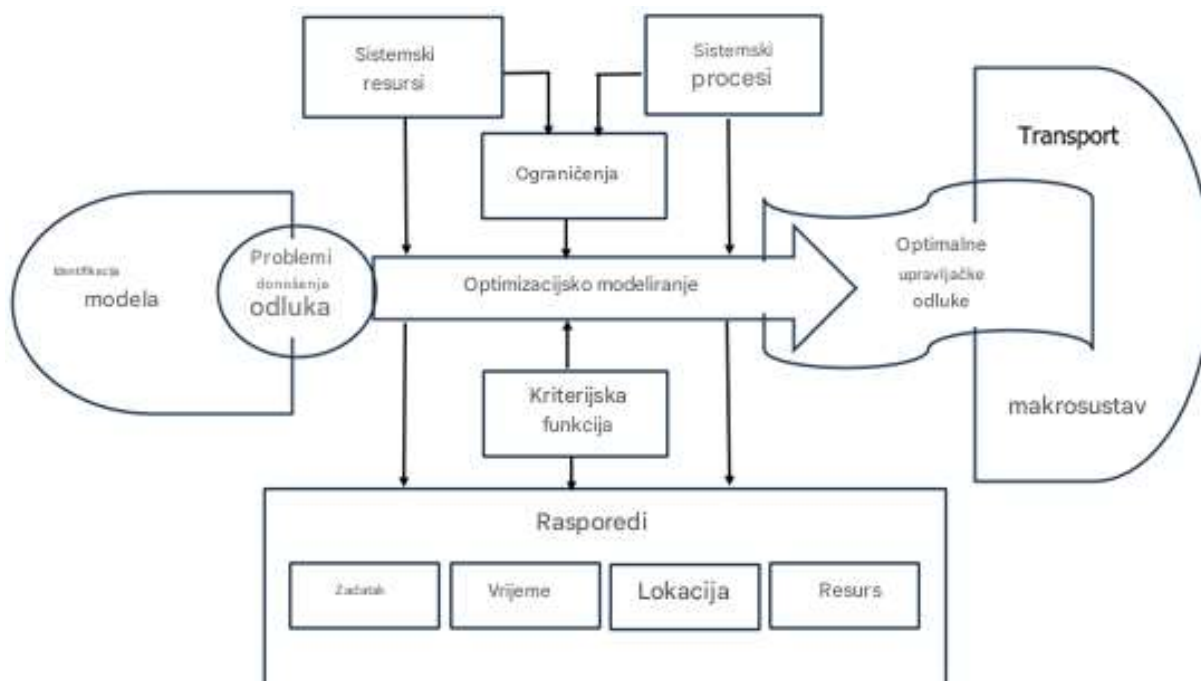
F_{ST} – funkcija kriterija rada ST sustava,

H_{ST} – skup prihvatljivih rasporeda rada za ST sustav,

S_{ST} – globalni troškovi funkcioniranja transportnog makrosustava ST ,

STO – standardi logističke usluge kupcima u transportnom sektoru.

Koncept optimizacijskog modeliranja prometnog sustava prikazan je na slici 10.2.



Slika 10. 2. Koncept optimizacijskog modeliranja prometnog sustava

Izvor: (Ficoń, 2010)



Postoje, naravno, i drugi modeli koji pomažu u rješavanju problema optimizacije u transportu. Postoji mnogo više problema optimizacije transporta. Među njima postoje razlike ovisno o tvrtki, njezinoj veličini i proizvodima koji su joj na raspolaganju.

10.3. Problemi optimizacije transporta u praksi

Jedna od osnovnih komponenti optimizacije transporta je **optimizacija rute**. To uključuje dizajniranje ruta za vozila koja se koriste za transport robe kako bi se optimizirali profit i usluga korisnicima. Za poduzeće to obično znači smanjenje troškova i vremena transporta, dok za kupce to znači niže troškove i isporuku na vrijeme. Ti se ciljevi postižu minimiziranjem prijeđene udaljenosti, mogućnošću prilagodbe rasporeda transporta promjenjivim uvjetima i novim situacijama tijekom vremena, sinkronizacijom transporta sa skladišnim operacijama te mogućnošću česte i brze optimizacije kako bi se ažurirao trenutni plan. Iako je najčešći cilj u transportnim zadaćama svesti troškove transporta na minimum ili nastojati minimizirati udaljenosti, u slučaju transporta proizvoda, uglavnom prehrambenih, kojima može brzo zastarjeti, proizvoda koji brzo gube uporabna svojstva ili onih koji se isporučuju po principu just-in-time zbog ograničenih skladišnih kapaciteta ili prevelikih troškova skladištenja u prostorijama primatelja, ili kasnih isporuka od strane prethodnih karika u opskrbnom lancu, prioritetni cilj je smanjiti vrijeme isporuke za sve isporuke. Kraći rokovi isporuke omogućuju ispunjavanje očekivanja kupaca u pogledu rokova isporuke, kao i očuvanje uporabne vrijednosti transportiranih proizvoda, čime se mogu nadoknaditi troškovi koji proizlaze iz angažmana transportnih sredstava. U gore navedenim slučajevima, najvažnije razmatranje je stoga smanjenje najdužeg vremena transporta u danom sustavu isporuke, tj. izračun najkraćeg vremena u kojem bi isporuke mogle biti dovršene (Gaspars-Wieloch, 2011).

Jedna od osnovnih komponenti optimizacije transporta je optimizacija rute. To uključuje dizajniranje ruta za vozila koja se koriste za transport robe kako bi se optimizirali profit i usluga korisnicima. Za poduzeće to obično znači smanjenje troškova i vremena transporta, dok za kupce to znači niže troškove i isporuku na vrijeme. Ti se ciljevi postižu minimiziranjem prijeđene udaljenosti, mogućnošću prilagodbe rasporeda transporta promjenjivim uvjetima i novim



situacijama tijekom vremena, sinkronizacijom transporta sa skladišnim operacijama te mogućnošću česte i brze optimizacije kako bi se ažurirao trenutni plan. Iako je najčešći cilj u transportnim zadacima svesti troškove transporta na minimum ili nastojati minimizirati udaljenosti, u slučaju transporta proizvoda, uglavnom prehrambenih, kojima može brzo zastarjeti, proizvoda koji brzo gube uporabna svojstva ili onih koji se isporučuju po principu just-in-time zbog ograničenih skladišnih kapaciteta ili prevelikih troškova skladištenja u prostorijama primatelja, ili kasnih isporuka od strane prethodnih karika u opskrbnom lancu, prioritetni cilj je smanjiti vrijeme isporuke za sve isporuke. Kraći rokovi isporuke omogućuju ispunjavanje očekivanja kupaca u pogledu rokova isporuke, kao i očuvanje uporabne vrijednosti transportiranih proizvoda, čime se mogu nadoknaditi troškovi koji proizlaze iz angažmana transportnih sredstava. U gore navedenim slučajevima, najvažnije razmatranje je stoga smanjenje najdužeg vremena transporta u danom sustavu isporuke, tj. izračun najkraćeg vremena u kojem bi isporuke mogle biti dovršene (Gaspars-Wieloch, 2011).

Iz IT perspektive, optimizacija rute u transportu i logistici usko je povezana s **problemom trgovačkog putnika** (TSP) i problemom ranžiranja (VRP, *Vehicle Routing Problem*). Problem trgovačkog putnika je klasični kombinatorni optimizacijski problem, koji uključuje planiranje najkraće i najjeftinije transportne rute, koja prolazi kroz n specificiranih točaka slanja i primanja, sa zadanim troškovima putovanja između svakog para točaka. VRP problem je generalizacija TSP problema. U njemu je moguće imati više putnika (više vozila), uz mogućnost povratka u bazu više puta prije nego što se stigne na svih n lokacija. I za TSP i za VRP problem postoje mnoge generalizacije i dodatna praktična ograničenja, koja mogu uključivati vremenske prozore, sekvencijalna ograničenja posjećenih lokacija, različite sposobnosti vozila i vozača ili ograničenja kapaciteta, koja su korisna za dostavu i preuzimanje (www_10.2).

Kako bi se riješio zadatak TSP-a, potrebno je specificirati: razinu zaliha proizvoda na svakoj točki slanja, obujam potražnje na svakoj točki primanja, kao i troškove transporta od svake točke slanja do svake točke primanja (Vinichenko, 2009). Ako se radi o samo jednom proizvodu, tada se potražnja prijemnih točaka može nadopuniti s jedne ili više otpremnih točaka. Namjera takvog plana je izračunati količinu proizvoda otpremljenih od svake točke



slanja do svake točke primanja kako bi se ukupni troškovi transporta sveli na minimum (Stachurski i Wierzbicki, 2001).

Ako je trošak putovanja izravno proporcionalan prevezenoj količini, imamo posla s linearnim transportnim zadatkom. U protivnom, ako ovaj uvjet nije ispunjen, transportni zadatak postaje nelinearni zadatak. Jedna od najpopularnijih metoda optimizacije je linearno programiranje (Silaen, i dr., 2019; Gass, 2013). Najveća korisnost ove metode uočena je pri kreiranju mreže objekata, pri čemu su ograničavajući uvjeti za model veličina potražnje i ponude za proizvodne pogone, distribucijske centre ili pojedina tržišta. S danom ciljnom funkcijom, uz pretpostavku, na primjer, smanjenja ukupnih troškova, linearno programiranje pomaže u stvaranju optimalnog obrasca postavljanja postrojenja koji uzima u obzir ograničenja potražnje i ponude. Iako je metoda linearnog programiranja prilično praktična, postoje ograničenja u njezinoj uporabi, budući da problem koji se njome rješava mora biti formuliran deterministički, kao i da problem mora biti podvrgnut linearnoj aproksimaciji. Osim toga, fiksni i varijabilni operativni troškovi logističkih objekata ne mogu se uzeti u obzir u linearnom programiranju (Coyle i dr., 2002).

Velik broj znanstvenih radova o teoriji i praksi organiziranja optimalnog transportnog sustava korištenjem različitih modela i metoda. Publikacije (Lai i Bierlaire, 2015; De Maio i Vitetta, 2015; Manley, Orr i Cheng, 2015; Vitetta, 2016) predstavljaju studije optimizacije rute prema kriteriju minimalnog vremena isporuke.

U člancima (Hess, i dr., 2015; Nyrkov, Sokolov i Belousov, 2015) korištene su metode temeljene na alternativnom uzorkovanju za određivanje optimalne rute. Nasuprot tome, autori publikacija (Zhilenkov, Nyrkov, i Cherniy, 2015; Omelianenko, i dr., 2019; Tomashevskiy, 2007; Cheng i Wu, 2020; Zaychenko, 2014) koristili su metode modeliranja ruta temeljene na neizravnoj logici za transportne sustave. U publikacijama (Shang, i dr., 2020; Shramenko i Shramenko, 2019) njihovi su se autori, kako bi planirali optimalnu rutu, koristili heurističkim modelom, dok je u člancima (Maleev, i dr., 2019,; Skvortsov, Pshonkin i Luk'yanov, 2018,) bio opisan kvantni model za određivanje optimalne rute u transportnim sustavima.



Rezultati modeliranja odabira optimalnih ruta korištenjem podataka **Global Positioning System** (GPS) usmjerenih na kamione na dugim putovanjima mogu se vidjeti u publikacijama (Khripach, i dr., 2018; Navrodska, i dr., 2019; Fialko, i dr., 2020).

U nastavku su detaljno prikazani pojedini koraci u rješavanju transportnog zadatka na praktičnom primjeru transportnog problema s vremenskim kriterijem optimizacije opskrbe lanca supermarketa, koji je opisan u članku (Gaspars-Wieloch, 2011).

Karakterizacija problema transportnog problema s vremenskim kriterijem optimizacije opskrbe lanca supermarketa

U opisanom problemu optimizacije transporta razmatra se lanac supermarketa raspoređen u različitim dijelovima zemlje. Za svaki tjedan razvija se novi asortiman robe koji se, uz stalni asortiman koji uključuje namirnice, drogerijske proizvode, prodaje kupcima samo šest dana od ponedjeljka do subote ili do isteka zaliha. Tjedna ponuda između ostalog uključuje bijelu tehniku, proizvode od papira, odjeću, igračke, alate ili predmete za vrtlarstvo. Često je ponuda proizvoda prilagođena godišnjem dobu i blagdanima kao što su Božić, Uskrs, Valentinovo, Svi sveti, Prva Sveta Pričest itd. Tjedne ponude određuju se dosta unaprijed, a proizvodi koje pokrivaju nalaze se u veleprodajama diljem zemlje. Ovisno o mogućnostima koje dobavljači imaju na raspolaganju, različite vrste robe dostavljaju se veletrgovcima tjedan dana unaprijed različitim danima (uključujući subotu ujutro) prije nego što krenu u prodaju. Veletrgovci su dužni pripremiti komplete proizvoda za svaku trgovinu. Primjer kompleta može uključivati 20 salveta, 30 televizora, 40 kanti, 20 pari japanki, 30 lonaca, 20 plišanih medvjedića, 30 pari hlača, 60 krema za ruke, 50 lopti i 40 bilježnica.

Budući da kompleti možda neće biti dovršeni do kraja tjedna, a zbog nedovoljno skladišnog prostora u supermarketima, tvrtka želi isporučiti tjedni asortiman svim trgovinama u noći s nedjelje na ponedjeljak i rasporediti ih po policama bez odgađanja.

Svaki kamion koji napusti skladište odmah dostavlja komplete proizvoda u nekoliko ili čak desetak supermarketa, tvoreći sektor. Supermarketi u sektoru nalaze se prilično blizu jedan drugome (npr. u istom gradu). Vrijeme potrebno za opskrbu sektora ovisi o tome od kojeg



veletrgovca je vozilo preusmjereno u njega. Ključni cilj tvrtke je minimizirati najduže vrijeme isporuke.

Matematički model transportnog zadatka

Opći oblik modela koji opisuje zatvoreni transportni problem s vremenskim kriterijem može se prikazati na sljedeći način (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$\max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\} \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (5),$$

gdje:

x_{ij} – količina robe transportirana od i -tog dobavljača do j -tog kupca,

t_{ij} – vrijeme transporta robe od i -tog dobavljača do j -tog primatelja,

n – broj primatelja,

m – broj dobavljača,

a_i – opskrba i -tog dobavljača,

b_j – j -ti zahtjev kupca.

Kada ne postoji jednakost između ukupne ponude i ukupne potražnje, zadnja formula (5) se ne uzima u obzir i uvjeti ponude (2) ili uvjeti potražnje (3) pretvaraju se u nejednakosti. Gore opisani matematički model primjenjiv je na okolnosti u kojima donositelj odluke ne uzima u obzir druga razmatranja, kao što je nedovoljna količina vozila za opskrbu, potrebna minimalna razina zadovoljenja potražnje ili razlika u prirodi vremena transporta i vremena istovara.



U znanstvenim radovima (Sikora, 2008) prikazan je algoritam za rješavanje prethodno opisanog transportnog problema. Daljnji koraci tijekom radnje prema navedenom algoritmu navedeni su u nastavku (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

1. Prvi korak je određivanje dopuštene bazne jednadžbe pomoću metode minimalnog elementa matrice, poznate kao MEM metoda na temelju tablice vremena.
2. u drugom koraku važno je odrediti maksimalno vrijeme isporuke (T^k) za određeno rješenje na temelju formule (6):

$$T^k = \max_{x_{ij} > 0} \{t_{ij}\}, \quad (6)$$

gdje:

T^k – maksimalno vrijeme isporuke u k-toj iteraciji.

3. tablica troškova (c_{ij}) za k -to rješenje mora se prikazati prema formuli (7):

$$c_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & t_{ij} < T^k \\ 1 & t_{ij} = T^k \\ 10 & t_{ij} > T^k \end{array} \right\} \quad \text{if} \quad (7)$$

4. Sljedeći korak je provjera optimalnosti rješenja na temelju tablice troškova. U slučaju nenegativnosti kriterija optimalnosti (Δ_{ij}) za sve osnovne rute, postupak završava u ovoj fazi. Ako su kriteriji optimalnosti negativni, slijedite korake u petom koraku.

$$\Delta_{ij}^k = c_{ij}^k - \alpha_i^k - \beta_j^k, \quad (8)$$

gdje:

α_i^k, β_j^k – dualne varijable, tj. potencijali u k -toj iteraciji.

5. prihvatljivo osnovno rješenje treba ponovno odrediti, uzimajući u obzir najnegativniji kriterij optimalnosti, a zatim se vratiti na drugi korak.

Gore navedeni algoritam temelji se na tzv. metodi potencijala, koja je opisana u mnogim publikacijama, npr. (Leonard, 1997). Ako postoje druge pretpostavke u



konkretnom problemu odlučivanja, a koje se tiču ograničenog kapaciteta pakiranja transportnog sredstva, tada bi se razmatrani postupak trebao dodatno pozivati na načela koja su usvojena tijekom postupka za transportni zadatak s ograničenim kapacitetom rute (Codeca i Cahill, 2022; Sanz i Escobar Gomez, 2013).

Algoritam se može koristiti kao ručna procedura pri rješavanju zadataka s malim brojem dobavljača i kupaca. Za probleme veće složenosti preporuča se korištenje odgovarajućeg programa izrađenog za algoritam u bilo kojem programskom jeziku.

Druga opcija za prikazani postupak može biti razvijeni optimizacijski informatički alat, primjer za koji je Solver, uključen u Microsoft Excel. Međutim, treba uzeti u obzir da verzija Solvera ima utjecaj na vrstu zadataka koji se mogu riješiti. Sa svakom novijom verzijom nudi se više mogućnosti u smislu broja uvjeta ili varijabli u zadatku, vremena potrebnog za rješavanje problema i vrste funkcija koje se koriste. U standardnoj verziji Solvera ne može se koristiti funkcija „if“, „max{ }“ ili „min{ }“. U matematičkom modelu, opisanom formulama (1)-(5), pojavljuje se funkcija „max“ pa se čini da se zadatak ne može riješiti standardnom verzijom Solvera. Kako bi se izvršili izračuni, u nastavku se razmatra primjer s određenim numeričkim podacima, za koji je formuliran odgovarajući matematički model. Primjer se odnosi na lanac supermarketa koji se sastoji od tri veletrgovca, P (na jugu zemlje), Z (na zapadu zemlje) i PW (na sjeveroistoku zemlje), te 50 trgovina, podijeljenih u 8 diferenciranih sektora, označenih slovima (A, B, C, D, E, F, G i H). Na temelju transportiranih proizvoda, svaki veletrgovac može sastaviti 18 kompleta. Potražnja za kompletima po sektoru je sljedeća:

$Z_A = 6; Z_B = 7; Z_C = 9; Z_D = 6; Z_E = 8; Z_F = 5; Z_G = 4; Z_H = 5$, pri čemu je $\sum_{j=1}^8 50$.

Vrijeme koje je dostavnim vozilima potrebno da opsluže svaki sektor formira se vremenom putovanja od veletrgovca do sektora, koje ne ovisi o broju trgovina u sektoru, kao i vremenom istovara u samom sektoru, koje ovisi o broju prodavaonica, kao što je prikazano u tablicama 10.1 i 10.2. Pretpostavlja se da se vrijeme transporta u sektoru, koje je u praksi određeno udaljenošću između trgovina u sektoru, uzima u obzir u vremenima istovara asortimana u svakoj tprodavaonici. Cilj je minimalizirati vrijeme isporuke koje traje najdulje.



Tablica 10. 1. Približno vrijeme putovanja (t_{ij}^p , u satima)

Sectors Wholesalers	A	B	C	D	E	F	G	H
P	9	6	3	3	6	9	12	7
Z	5	4	5	6	9	12	9	7
PW	8	5	11	5	3	3	4	3

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Tablica 10. 2. Prosječno vrijeme istovara jedinice (t_i^r , u satima)

Sectors	A	B	C	D	E	F	G	H
t_i^r	1/3	1/2	1/3	2/5	1/2	2/5	1/4	2/5

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Gore prikazani primjer s numeričkim podacima ima nešto veći stupanj složenosti od standardnog transportnog problema s vremenskim kriterijem. Stoga je točna notacija zadatka optimizacije koja se primjenjuje na dotični primjer samo djelomično slična općem matematičkom modelu, kao što je ilustrirano formulama (9)-(21). Funkcija cilja za minimiziranje vremena isporuke može se napisati na sljedeći način (Gaspars-Wieloch, H. u: Szymczak, M. (ur), 2011., str. 17-18) :

$$\begin{aligned} \max \{ & (9 \min \{x_{11}, 1\} + \frac{1}{3}x_{11}), (6 \min \{x_{12}, 1\} + \frac{1}{2}x_{12}), (3 \min \{x_{13}, 1\} + \frac{1}{3}x_{13}), (3 \min \{x_{14}, 1\} + \\ & + \frac{2}{5}x_{14}), (6 \min \{x_{15}, 1\} + \frac{1}{2}x_{15}), (9 \min \{x_{16}, 1\} + \frac{2}{5}x_{16}), (12 \min \{x_{17}, 1\} + \frac{1}{4}x_{17}), (7 \min \{x_{18}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{18}), (5 \min \{x_{21}, 1\} + \frac{1}{3}x_{21}), (4 \min \{x_{22}, 1\} + \frac{1}{2}x_{22}), (5 \min \{x_{23}, 1\} + \frac{1}{3}x_{23}), (6 \min \{x_{24}, 1\} \\ & + \frac{2}{5}x_{24}), (9 \min \{x_{25}, 1\} + \frac{1}{2}x_{25}), (12 \min \{x_{26}, 1\} + \frac{2}{5}x_{26}), (9 \min \{x_{27}, 1\} + \frac{1}{4}x_{27}), \end{aligned}$$



$$\left(7 \min\{x_{28}, 1\} + \frac{2}{5}x_{28}\right), \left(8 \min\{x_{31}, 1\} + \frac{1}{3}x_{31}\right), \left(5 \min\{x_{32}, 1\} + \frac{1}{2}x_{32}\right), \left(11 \min\{x_{33}, 1\} + \frac{1}{3}x_{33}\right), \left(5 \min\{x_{34}, 1\} + \frac{2}{5}x_{34}\right), \left(3 \min\{x_{35}, 1\} + \frac{1}{2}x_{35}\right), \left(3 \min\{x_{36}, 1\} + \frac{2}{5}x_{36}\right), \left(4 \min\{x_{37}, 1\} + \frac{1}{4}x_{37}\right), \left(3 \min\{x_{38}, 1\} + \frac{2}{5}x_{38}\right) \rightarrow \min \quad (9)$$

Uvjeti koji se odnose na sektorsku potražnju napisani su kako slijedi (Gaspars-Wieloch, 2011) :

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 6 \quad (10)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 7 \quad (11)$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 9 \quad (12)$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 6 \quad (13)$$

$$x_{15} + x_{25} + x_{35} = 8 \quad (14)$$

$$x_{16} + x_{26} + x_{36} = 5 \quad (15)$$

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} = 4 \quad (16)$$

$$x_{18} + x_{28} + x_{38} = 5 \quad (17)$$

Uvjeti koji se primjenjuju na opskrbu veletrgovaca prikazani su u nastavku (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \leq 18 \quad (18)$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \leq 18 \quad (19)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} \leq 18 \quad (20)$$

Uvjet koji se odnosi na integrabilnost varijabli odluke ima oblik (Gaspars-Wieloch, 2011.) :

$$x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38} \in N, \quad (21)$$

gdje:

x_{11} – broj kompleta prevezenih iz skladišta P u supermarket A,

⋮



x_{38} – broj kompleta transportiranih od skladišta PW do supermarketa H.

Razmatrani primjer jedan je od prilično zamršenih, ne samo zbog nedostatka izravne mogućnosti rješavanja optimizacijskih problema koji sadrže funkcije „ max{ } ” i „ min{ } ” u standardnoj verziji Solvera. Daljnje komplikacije uključuju uvedene dvije vrste vremena: vrijeme dolaska u svaki sektor i vrijeme pražnjenja u sektoru. To je bilo nužno jer se proizvodi koji se prevoze kamionima ne istovaruju na jednom mjestu, već u nekoliko trgovina. Stoga postoji korelacija između vremena istovara i broja opsluženih supermarketa. Prethodno opisani algoritam ne bi se trebao izravno primjenjivati na ovu vrstu problema.

Dizajn Excel tablice u prikazanom primjeru transportnog zadatka

Slika 10.3 prikazuje kako unijeti podatke u proračunsku tablicu Microsoft Excel za primjer transportnog zadatka o kojem se govori. Čelije s adresama C8-J10 su polja u kojima će biti prikazane optimalne vrijednosti varijabli odluke ($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{38}$). Zbrojene vrijednosti polja odgovarajućih stupaca tablice C8-J10 izračunate su u retku s brojem 11. One predstavljaju lijevu stranu uvjeta (10)-(17). Formulirana potražnja uključena je u redak s brojem 12. Dodane vrijednosti iz raspona ćelija C8:J8, C9:J9, C10:J10 prikazane su u stupcu označenom s K. One sadrže ukupan broj kompleta prevezenih od veletrgovaca P, Z, PW, odnosno lijevu stranu ograničenja ponude (18)-(20). Vrijednosti nabave pojedinačnih veletrgovaca prikazane su u stupcu L.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
7	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
8	P									0	18
9	Z									0	18
10	PW									0	18
11	Sector total	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
13											
16		9	6	3	3	6	9	12	7		
17	Travel time to sector	5	4	5	6	9	12	9	7		
18		8	5	11	5	3	3	4	3		
19											
20	Unloading time	0.33	0.50	0.33	0.40	0.50	0.40	0.25	0.40		
21											
24		0	0	0	0	0	0	0	0		
25	Total unloading time	0	0	0	0	0	0	0	0		
26		0	0	0	0	0	0	0	0		
27											
30	Total journey time	9	6	3	3	6	9	12	7		
31	(fixed) and unloading	5	4	5	6	9	12	9	7		
32	time (variable)	8	5	11	5	3	3	4	3		
33											
36	Base and non-base	0	0	0	0	0	0	0	0		
37	routes	0	0	0	0	0	0	0	0		
38		0	0	0	0	0	0	0	0		
39											
43	Total time on base	0	0	0	0	0	0	0	0		Objective function
44	routes	0	0	0	0	0	0	0	0		0,0
45		0	0	0	0	0	0	0	0		

Slika 10. 3. Podaci uneseni u proračunsku tablicu u ovom primjeru transportnog zadatka

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Redovi 16-45 predstavljaju sažetak parametara i formula potrebnih za određivanje funkcije cilja. Podaci iz tablica 10.1 i 10.2 prikazani su u redovima 16-18 i 20. Ukupno vrijeme istovara od i -tog veletrgovca do j -tog sektora u recima 24-26 izračunato je množenjem vremena istovara jedinice iz retka 20 s brojem isporučenih kompleta u recima 8-10, kao što je prikazano na slici 10.4.

24	Total unloading time	=C20*C8	=D20*D8	=E20*E8	=F20*F8	=G20*G8	=H20*H8	=I20*I8	=J20*J8
25		=C20*C9	=D20*D9	=E20*E9	=F20*F9	=G20*G9	=H20*H9	=I20*I9	=J20*J9
26		=C20*C10	=D20*D10	=E20*E10	=F20*F10	=G20*G10	=H20*H10	=I20*I10	=J20*J10

Slika 10. 4. Izračun ukupnog vremena istovara

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Način određivanja ukupnog vremena putovanja i vremena istovara u redovima označenim brojevima 30-32 prikazan je na slici 10.5.



30	Total journey time (fixed) and unloading time (variable)	=C16+C24	=D16+D24	=E16+E24	=F16+F24	=G16+G24	=H16+H24	=I16+I24	=J16+J24
31		=C17+C25	=D17+D25	=E17+E25	=F17+F25	=G17+G25	=H17+H25	=I17+I25	=J17+J25
32		=C18+C26	=D18+D26	=E18+E26	=F18+F26	=G18+G26	=H18+H26	=I18+I26	=J18+J26

Slika 10. 5. Izračun ukupnog vremena istovara

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Svrha pisanja „ $\min\{x_{ij}, 1\}$ ” u formuli (9) je izdvojiti temeljne rute. U standardnoj verziji Solvera nije moguće rješavati zadatke u kojima je prisutna funkcija 'min{ }'. Stoga se osnovne rute moraju drugačije odrediti. Ako kvocijent u formuli (22) ima vrijednost blizu broja 1, tada se ova ruta može nazvati osnovnom rutom. Ako je, pak, kvocijent jednak nuli, tada se transport na ispitivanoj relaciji neće odvijati, kao što je prikazano na slici 10.6.

$$\frac{x_{ij}}{x_{ij} + 0,00001} \quad (22)$$

36	Base and non-base routes	=C8/(C8+0.00001)	=D8/(D8+0.00001)	=E8/(E8+0.00001)	=F8/(F8+0.00001)	=G8/(G8+0.00001)	=H8/(H8+0.00001)	=I8/(I8+0.00001)	=J8/(J8+0.00001)
37		=C9/(C9+0.00001)	=D9/(D9+0.00001)	=E9/(E9+0.00001)	=F9/(F9+0.00001)	=G9/(G9+0.00001)	=H9/(H9+0.00001)	=I9/(I9+0.00001)	=J9/(J9+0.00001)
38		=C10/(C10+0.00001)	=D10/(D10+0.00001)	=E10/(E10+0.00001)	=F10/(F10+0.00001)	=G10/(G10+0.00001)	=H10/(H10+0.00001)	=I10/(I10+0.00001)	=J10/(J10+0.00001)

Slika 10. 6. Određivanje osnovnih i nebaznih ruta

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011).

Koristeći opisanu metodu, samo vremena za osnovne rute mogu biti uključena u završni korak. Formule za izračun ukupnog vremena na osnovnim rutama nalaze se na slici 10.7. a može se naći u redovima 43-45. Čelije u recima 43-45 su uzastopni argumenti funkcije {max} koja se pojavljuje u formuli (9). Sama funkcija cilja nalazi se u ćeliji L44.

43	Total time on base routes	=C36*C30	=D36*D30	=E36*E30	=F36*F30	=G36*G30	=H36*H30	=I36*I30	=J36*J30
44		=C37*C31	=D37*D31	=E37*E31	=F37*F31	=G37*G31	=H37*H31	=I37*I31	=J37*J31
45		=C38*C32	=D38*D32	=E38*E32	=F38*F32	=G38*G32	=H38*H32	=I38*I32	=J38*J32

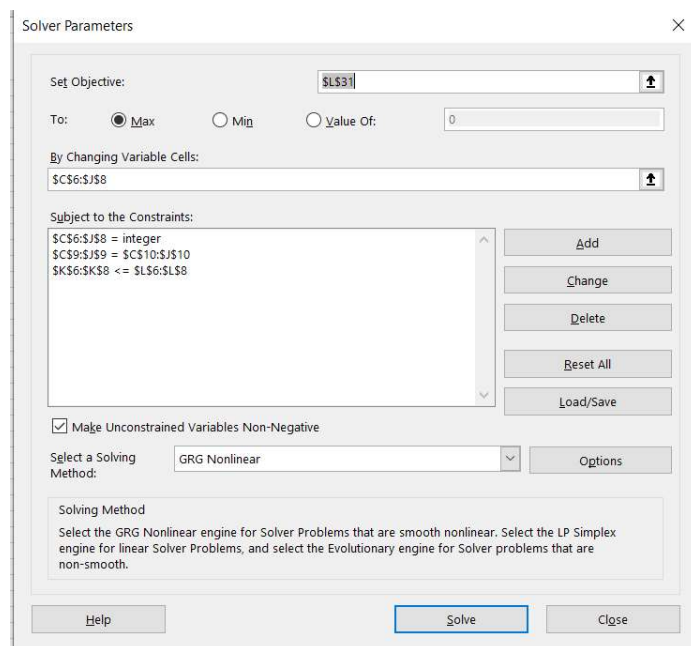
Slika 10. 7. Određivanje ukupnih troškova na osnovnim rutama

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011).

Rješavanje problema u prikazanom prometnom zadatku



Da bi se dobilo optimalno rješenje potrebno je još popuniti prozor Solver (Slika 10.8). U opcijama mora biti odabrana nenegativnost varijabli, a zatim odabrane naredbe "Riješi", "Pohrani rješenje" i "U redu".



Slika 10. 8. Formule u prozoru Solver

Izvor: sastavljeno na temelju (Gaspars-Wieloch, 2011)

Dobiveni izračuni prikazani su na slici 10.9. No, treba im pristupiti s oprezom jer je prilikom izrade radnog lista izbjegnuta samo upotreba funkcija tipa „min{ }“, dok je funkcija „max{ }“ i dalje ostala. Rezultate bi stoga trebalo pomnije pogledati. Transport proizvoda na ruti koja povezuje veletrgovinu P sa sektorom F trenutno ima najduže trajanje, tj. 9,8 sati i treba opsluživati dvije trgovine ($x_{16} = 2$). Stoga treba pokušati pronaći povoljniji raspored isporuka dodavanjem uvjeta $x_{16} \leq 1$, tj. $H_{16} \leq 1$. Ovo će smanjiti vrijeme transporta i pražnjenja na maksimalno $9,8 - 0,4 = 9,4$ sata, što će rezultirati povoljnijim rješenjem.



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	7,0	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	17	18
7	Z	6,0	1,0	2,0	4,0	0,0	0,0	1,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	3,0	0,0	0,0	5,0	3,0	3,0	4,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
12	Travel time to sector	9	6	3	3	6	9	12	7		
13		5	4	5	6	9	12	9	7		
14		8	5	11	5	3	3	4	3		
15											
16	Unloading time	0,33	0,50	0,33	0,40	0,50	0,40	0,25	0,40		
17											
18	Total unloading time	0	1,5	2,31	0,8	1,5	0,8	0	0		
19		1,98	0,5	0,66	1,6	0	0	0,25	0,4		
20		0	1,5	0	0	2,5	1,2	0,75	1,6		
21											
22	Total journey time (fixed) and unloading time (variable)	9	7,5	5,31	3,8	7,5	9,8	12	7		
23		6,98	4,5	5,66	7,6	9	12	9,25	7,4		
24		8	6,5	11	5	5,5	4,2	4,75	4,6		
25											
26	Base and non-base routes	0	1	1	1	1	1	0	0		
27		1	1	1	1	0	0	1	1		
28		0	1	0	0	1	1	1	1		
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	5,3	3,8	7,5	9,8	0,0	0,0		Objective function
31		7,0	4,5	5,7	7,6	0,0	0,0	9,2	7,4		9,8
32		0,0	6,5	0,0	0,0	5,5	4,2	4,7	4,6		

Slika 10. 9. Prvo rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Drugi plan prikazan je na slici 10.10. U njemu vrijedi uključiti uvjet $x_{28} \leq 2$, tj $x_{28} \leq 2$, jer će tada pridonijeti smanjenju vremena isporuke na ZH relaciji za najmanje 0,4 sata (vrijeme istovara za proizvode u H sektoru tada će biti $8,2 - 0,4 = 7,8$ sati).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	8,0	1,0	3,0	0,0	0,0	1,0	16	18
7	Z	6,0	2,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	3,0	16	18
8	PW	0,0	2,0	0,0	1,0	5,0	5,0	4,0	1,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	5,6	3,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	5,0	5,3	7,6	0,0	0,0	0,0	8,2		8,2
32		0,0	6,0	0,0	5,4	5,5	5,0	5,0	3,4		

Slika 10. 10. Drugo rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)



Treće rješenje ilustrirano je na slici 10.11. Vrijeme na ZH ruti zapravo se smanjilo na 7,5 sati, ali je najdulje vrijeme zabilježeno na PE ruti (8 sati). Netko bi mogao biti u iskušenju vidjeti bi li dodavanje kriterija $x_{15} \leq 3$, *czyli* $\$G\$8 \leq 3$ poboljšalo konačni rezultat?

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	2,0	8,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	18	18
7	Z	6,0	4,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	4,0	5,0	4,0	3,0	17	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,0	5,6	4,6	8,0	0,0	0,0	0,0		Objective function
31		7,0	6,0	5,3	6,8	0,0	0,0	0,0	7,8		8,0
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,0	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 11. Treće rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

U četvrtom rješenju, prikazanom na slici 10.12, najduže vrijeme isporuke je samo 7,5 sati. Nakon uvođenja ograničenja na rute, koje sada određuju vrijednost funkcije cilja: $x_{12} \leq 2$, *czyli* $\$D\$8 \leq 2$ i $x_{15} \leq 2$, *czyli* $\$G\$8 \leq 2$.

Slika 10.13 prikazuje peto optimalno rješenje. Čak i ako se dodaju dodatna ograničenja, ona više neće poboljšati vrijeme isporuke.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	3,0	4,0	6,0	3,0	0,0	0,0	1,0	17	18
7	Z	6,0	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	15	18
8	PW	0,0	1,0	0,0	0,0	5,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,5	4,3	5,4	7,5	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	5,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,5
32		0,0	5,5	0,0	0,0	5,5	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 12. Četvrto rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)



	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4											
5	Wholesalers and sectors	A	B	C	D	E	F	G	H	Total at a given wholesaler	Supply
6	P	0,0	2,0	4,0	6,0	2,0	0,0	0,0	1,0	15	18
7	Z	6,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	17	18
8	PW	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	4,0	3,0	18	18
9	Sector total	6	7	9	6	8	5	4	5		
10	Demand	6	7	9	6	8	5	4	5		
11											
29											
30	Total time on base routes	0,0	7,0	4,3	5,4	7,0	0,0	0,0	7,4		Objective function
31		7,0	6,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4		7,4
32		0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	5,0	5,0	4,2		

Slika 10. 13. Peto rješenje zadatka optimizacije

Izvor: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Pretpostavka za optimalno rješenje zadatka je da će najdulje vrijeme isporuke od 7,4 sata biti zabilježeno na dvije relacije: PH i ZH. Svaki će sektor biti opskrbljen kompletima u skladu s prijavljenom potražnjom. Zalihe PW veletrgovaca bit će maksimalno iskorištene. Za opskrbu lanca supermarketa bit će potrebno 13 kamiona.

Uspoređujući rezultate dobivene u četvrtom i petom rješenju, moglo bi se zapravo završiti s implementacijom četvrte opcije zbog male razlike u vremenu ($7,5 - 7,4 = 0,1$ h). Ovdje vrijedi napomenuti da bi u četvrtom planu, uz nešto duži rok isporuke, trebalo otpremiti čak 14 teretnih vozila. Dobiveni rezultat naravno nije jedino optimalno rješenje. Različite simulacije mogu dovesti do različitih zaključaka.

Analiza znanstvenih radova koji su spomenuti u prethodnim dijelovima ovog članka pokazuje da se istraživanja istraživača koriste različitim analitičkim pristupima organizaciji teretnog prometa i načinima rada objekata, kao i načinima rada pojedinih elemenata i dijelova logističkih sustava. Time je moguće odabrati metodu kojom će se optimizirati transportni sustav koji je izuzetno važna komponenta logističkih procesa u poduzeću koja utječe na profitabilnost poduzeća.

PITANJA POGLAVLJA

1. Koji su glavni problemi prometne politike vezani uz optimizaciju prometnog sustava?
2. Koji su glavni ciljevi optimizacije rute za tvrtku i primatelje?
3. Što je problem trgovačkog putnika (TSP) i kako je povezan s optimizacijom rute?



LITERATURA

Abdulsalam, K., A., Siti, Z., I., (2020). Developing Palm Oil Inventory Control System Using Excel Macro, *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 5, 51-55.

Cheng, C. & Wu, J., (2020). Intelligent Management and Control of Transportation Hubs Based on Big Data Technology, in *Advances in Intelligent Systems and Computing: International Conference on Cyber Security Intelligence and Analytics*, Haikou: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

Codeca, L. & Cahill, V., (2022). Using Deep Reinforcement Learning to Coordinate Multi-Modal Journey Planning with Limited Transportation Capacity, *SUMO User Conference*.

Coyle, J., Bardi, J. & Langley, J., (2002). *The Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*, South-Western.

De Maio, L. M., Vitetta, A., (2015). Route Choice on Road Transport System: A Fuzzy Approach, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 28, no. 5, 2015-2027.

Dekhtyaruk, M.T., Shao, M., Yang, S, Kontrobayeva, Z.D., Vashchilina, E. (2021). Automated system of freight traffic optimisation in the interaction of various modes of transport, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 9, No. 3, September 2021, p.844-857

Fialko, N.M., Navrodska, R.O., Gnedash, G.O., Presich, G.O. & Shevchuk, S.I., (2020). Study of Heat Recovery Systems of or Heating and Moisturing Combustion Air of Boiler Units, *Science and Innovation*, 16(3), 43-49.

Ficoń, K. (2010). Optymalizacja makrosystemów transportowych według kryteriów logistycznych, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*. 3(182).

Gaspars-Wieloch, H. in: Szymczak, M. (ed.), (2011). *Zastosowanie zagadnienia transportowego z kryterium czasu do optymalizacji zaopatrzenia sieci supermarketów*, Difin, Warszawa.

Gass, S. (2013). *An Illustrated Guide to Linnear Programming*, Dover Publications.



- Hess, S., Quddus, M., Rieser-Schüssler, N. & Daly, A. (2015). Developing Advanced Route Choice Models for Heavy Goods Vehicles Using GPS Data, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 77, 29-44.
- Khripach, N., Lezhnev, L., Tatarnikov, A., Stukolkin, R. & Skvortsov, A., (2018). Turbo-Generators in Energy Recovery Systems, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(6), 1009-1018.
- Krawczyk, S. (2001). Zarządzanie procesami logistycznymi, PWE, Warszawa.
- Lai, X. & Bierlaire, M., (2015). Specification of the Cross-Nested Logit Model with Sampling of Alternatives for Route Choice Models, *Transportation Research Part B: Methodological*, 80, 220-234.
- Leonard, W.H., (1997). *The Quantitative Approach to Managerial Decisions*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Liu, S., Zhang, G. & Wang, L., (2018). IoT-enabled Dynamic Optimisation for Sustainable Reverse Logistics, *Procedia CIRP*, 69, 662-667.
- Maleev, R. A., Zuev, S. M., Fironov, A. M., Volchkov, N. A.. & Skvortsov, A. A., (2019). The Starting Processes of a Car Engine Using Capacitive Energy Storages, *Periodico Tche Quimica*, 16(33), 877-888.
- Manley, E., Orr, S. & Cheng, T. A., (2015). A Heuristic Model of Bounded Route Choice in Urban Areas, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 56, 195-209.
- Milewski, D., (2011). Problemy optymalizacji w przewozach przesyłek drobnych, *Problemy Transportu i Logistyki*, Uniwersytet Szczeciński. Zeszyty naukowe 644, Szczecin.
- Navrodska, R., Fialko, N.G. Presich, N.G., Gnedash, G., Alioshko, S. and Shevcuk, S., (2019). Reducing Nitrogen Oxide Emissions in Boilers at Moistening of Blowing Air in Heat Recovery Systems, *E3S Web of Conferences*, vol. 100, article number 00055.
- Nyrkov, A. P., Sokolov, S. S. & Belousov, A. S., (2015). Algorithmic Support of Optimization of Multicast Data Transmission in Networks with Dynamic Routing, *Modern Applied Science*, 9(5), 162-176.
- Omelianenko, S., Kondratenko, Y., Kondratenko, G. & Sidenko, I., (2019). Advanced System of Planning and Optimization of Cargo Delivery and Its Iot Application, in *Proceedings of the 3rd*



International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, Lviv: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Sanz, F.T., Escobar Gomez, E.N., (2013). The Vehicle Routing Problem with Limited Vehicle Capacities, *International Journal for Traffic*.

Shang, X., Yang, K., Wang, W., Zhang, H. & Celic, S., (2020). Stochastic Hierarchical Multimodal Hub Location Problem for Cargo Delivery Systems: Formulation and Algorithm, *IEEE Access*, 8, 55076-55090.

Shramenko, N. Y. & Shramenko, V. O., (2019). Optimization of Technological Specifications and Methodology of Estimating the Efficiency of the Bulk Cargo Delivery Process, *Scientific Bulletin of National Mining University*, vol. 2019, no. 3, pp. 146 151.

Sikora, W. (ed.), (2008). *Badania operacyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

Silaen, N.E., Savaluddin, Tulus, (2019), Optimization Model in Logistics Planning and Supply Chain, *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1255.

Skvortsov, A. A., Pshonkin, D. E. & Luk'yanov, M. N., (2018). Influence of Constant Magnetic Fields on Defect Formation Under Conditions of Heat Shock in Surface Layers of Silicon, *Key Engineering Materials*, 771, 124-129.

Stachurski, A., Wierzbicki, A. (2001). *Podstawy optymalizacji*, Warszawa, PW.

Sun, F., Dubey, A., White, J. & Gokhale, A., (2019). Transit-Hub: A Smart Public Transportation Decision Support System with Multi-Timescale Analytical Services, *Cluster Computing*, 22, 2239-2254.

Tomashevskiy, V. N., (2007). *Systems Modeling*, Kyiv: Publishing Group BHV.

Trzaskalik, T. (ed.). *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, PWE, Warszawa.

Vakulenko, S. & Evreenova, N., (2019). Transport Hubs as the Basis of Multimodal Passenger Transportation, in *Proceedings of the 12th International Conference "Management of Large-Scale System Development*, Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Vitetta, A., (2016). A Quantum Utility Model for Route Choice in Transport Systems, *Travel Behaviour and Society*, 3, 29-37.



Winiczenko, R., (2009). Optymalizacja kosztów transportu metodą bezpośredniego poszukiwania, Postępy techniki przetwórstwa spożywczego, 1.

Wong, K.Y.M., SAAD, D. & Yeung, C.H., (2016). Distributed Optimization in Transportation and Logistics Networks, IEICE Trans. Commun., E99-B.(11).

Yahiaoui, A., (2019). Stability Analysis of Following Vehicles on a Highway for Safety of Automated Transportation Systems, International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 17(3), 190-199.

Zajdel, M., Filipowicz, B., (2008). Dobór metod optymalizacji dla sieci transportowych, Automatyka, 12(13), 999.

Zaychenko, Ju. P., (2014). Operations Research, Kyiv: Slovo.

Zhilenkov, A. A. Nyrkov, A. P. & Cherniy, S. G., (2015). Evaluation of Reliability and Efficiency of Distributed Systems Rigs, Automation in the Industry, 6, 50-52.

(www_10.1) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-transportu>, access 2024.05.30.

(www_10.2) <http://optifacility.mooncoder.com/site/pl/optymalizacja-tras>, access 2024.05.30.