



10. OPTIMIZACIJA TRANSPORTA



To poglavje je posvečeno najpomembnejšim vprašanjem, povezanim z optimizacijo transporta. Vključuje:

- osnovne opredelitve transportnega sistema,
- naravo in pomen optimizacije transportnih sistemov,
- opis uporabe transportnega vprašanja v praksi.

10.1. Uvod

V fazi distribucije imajo prevladujočo vlogo postopki transporta in posredovanja. Pomembno je poudariti, da se zaradi njihovega vse večjega pomena pojavlja potreba po inovacijah v zvezi z organizacijo gibanja tovora z uporabo ustrezno izbranih transportnih sredstev in načina transporta (Krawczyk, 2001). Zato se iščejo metode in orodja, ki bi zagotovili natančne odgovore na ključna vprašanja v zvezi s procesi transporta in špedicije. Lahko se vprašamo, ali je treba uvesti kakšne spremembe, in če je tako, kakšni bodo finančni rezultati? Izziv in hkrati potreba sodobnega podjetja je združiti ekonomske koristi ohranjanja visoke kakovosti storitev za stranke z zmanjšanjem stroškov transporta, ki je prav tako funkcija storitev za stranke. Pri tem vprašanje zmanjševanja stroškov dobi strateško razsežnost (Christopher, 2000).

Promet sodi na področje proizvodnje materialnih storitev, opravlja transport ljudi in blaga ter zagotavlja distribucijo in dobavo surovin in izdelkov industrije in kmetijstva v vse regije sveta, doma in v tujini. Glavna naloga transporta je v celoti in pravočasno zadovoljiti transportne potrebe nacionalnega gospodarstva in prebivalstva, povečati učinkovitost in kakovost transportnega omrežja. Glede na vodilno vlogo transporta v tržnem gospodarstvu je upravljanje transporta dodeljeno posebnemu področju, ki se imenuje transportna logistika. Transportna logistika vključuje številne elemente, med katerimi so glavni (Yahiaoui, 2019; Vakulenko in Evreenova, 2019):

- obremenitve,



- konsolidacijske postaje,
- transportna vozlišča,
- transportno omrežje,
- železniški vozni park,
- oprema za rokovanje,
- udeleženci logističnega procesa,
- transportne posode,
- pakiranje.

Glavne rezerve za izboljšanje transportnega in logističnega procesa so v racionalni organizaciji interakcij med udeleženci oskrbovalne verige, usklajevanju njihovih interesov ter iskanju vzajemno koristnih in ustreznih rešitev. Napredek informacijske tehnologije lahko bistveno izboljša učinkovitost transportne logistike, informacije in informacijska podpora pa imajo upravičeno mesto med ključnimi logističnimi funkcijami (Liu, Zhang in Wang, 2018; Sun et al., 2019).

Napredek informacijske tehnologije je prispeval k večji učinkovitosti transporta. Uporaba najnovejše informacijske tehnologije omogoča avtomatizacijo vseh informacijskih dejavnosti transportnih podjetij, ki so vključena v procese organiziranja tovarnega transporta. Avtomatizacija transportne logistike zagotavlja večjo učinkovitost in optimizacijo transporta. Z uvedbo avtomatiziranih sistemov za usmerjanje, obračunavanje in načrtovanje v transportnih podjetjih transportna logistika doseže novo raven (Dekhtyaruk idr. 2021).

10.2. Narava in pomen optimizacije transportnega sistema

Raziskave in delo na področju optimizacije transportnih sistemov so povezane s pomembnimi vprašanji transportne politike in imajo pomembno vlogo pri razvoju teorije transportne ekonomije. Razvoj dela in raziskav na področju optimizacije spodbuja ekonomska praksa transporta, ki nakazuje najpomembnejša vprašanja, ki jih je treba rešiti, ter določa obseg in smeri metodoloških raziskav. Po drugi strani je tema optimizacije transportnih sistemov spodbudila raziskovalce k uporabi dosežkov teorije sistemov in kibernetike pri reševanju ekonomskih problemov transporta. To je prispevalo k ugodnemu razvoju z vidika



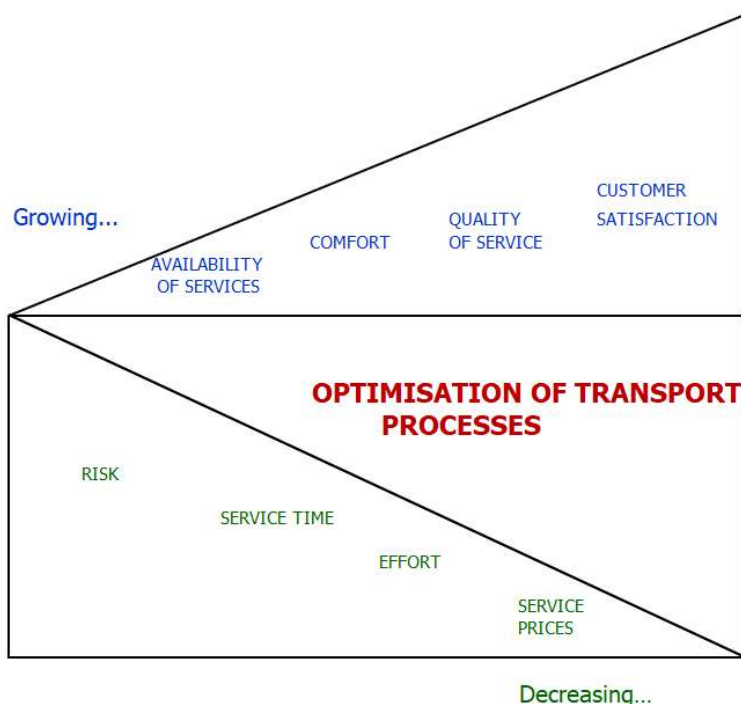
metodologije znanstvenega raziskovanja in spodbudilo zanimanje k vidikom transportne ekonomije metodološke narave (De Maio in Vitetta, 2015).

Optimalen transportni sistem je sistem, ki v celoti in pravilno zagotavlja zadovoljevanje obstoječih transportnih potreb (obseg, vrste, razpršenost območja) z najmanjšim vložkom družbenega dela, pri tem pa racionalno uporablja značilnosti in lastnosti (tehnične, operativne in ekonomske) posameznih vrst transporta. Z idejo te opredelitve, sprejete v literaturi, se vprašanje optimizacije transportnega sistema skrči na popolno in ustrezno zadovoljevanje transportnih potreb z merilom najmanjšega vložka družbenega dela (Wong et al., 2016)

Optimizacija v transportu je zelo širok pojem, ki zajema različne procese. Njihov cilj je izboljšati položaj udeležencev v transportu (pošiljatelj, prejemnikov in zaposlenih). V literaturi je najpogostejše mogoče najti vidike, povezane z optimizacijo in špedicijo. Običajno gre za zmanjšanje stroškov transporta in dostave. V praksi pa je vprašanje več-kriterijsko. Pomembna so tudi manj pogosta merila, med katerimi lahko omenimo udobje, ekologijo, kakovost transportnih storitev, zadovoljstvo strank in celo obrabo cest. Vendar so stroški in čas prevladujoči dejavniki. Logistične procese je treba obravnavati s strateškega in operativnega vidika. Strateški vidik se nanaša na dolgoročno načrtovanje in oblikovanje vizije podjetja. Operativna perspektiva se nanaša na trenutne razmere. Ti vidiki optimizacije morajo biti med seboj povezani in podprti z različnimi sistemi za upravljanje logistike. Tematika optimizacije transporta, tudi če je omejena na zmanjšanje stroškov, vključuje celotno zaporedje dejavnosti, ki zadevajo celotno dobavno verigo. Najpomembnejša je vzpostavitev učinkovitega distribucijskega omrežja, ki se nanaša na določitev lokacije kupcev in njihovih potreb, ki se lahko sčasoma spreminjajo, ter na optimalno lokacijo distribucijskih centrov, distribucijskih terminalov in skladišč. Pomembna je tudi izbira ustreznega voznega parka (velikost vozil, razdelitev na lastni in zunanji vozni park ter njihove zmogljivosti, kot so dvigalo, žerjav, hladilni prostor, tovorni prostor), saj lahko neustrezen vozni park bistveno zmanjša potencial transportnega podjetja. V postopku optimizacije transporta je treba analizirati tudi različne scenarije pretoka izdelkov ter globalno opredeliti ozka grla in dejavnike za zmanjšanje dobička podjetja (www_10.1).



Prednosti pravilno izvedenega postopka optimizacije so večja varnost, boljša kakovost storitev ter večja razpoložljivost blaga in storitev. Povezovanje sistemov in uporaba vnaprej določenih standardov skupaj s strokovnim izborom tehnik optimizacije je koristno za nacionalni in regionalni transport, prispeva pa tudi k povečanju konkurenčnosti podjetja. Najpomembnejše prednosti optimizacije, če je izvedena pravilno, so prikazane na sliki 10.1. Naslednja slika prikazuje spremembe, ki se zgodijo z izvajanjem postopkov optimizacije.



Slika 10.1. Spremembe, ki so posledica uporabe optimizacije transportnih procesov

Vir: (Zajdel & Filipowicz, 2008)

Omeniti je mogoče več vprašanj optimizacije. Najpomembnejša v skupini majhnih pošiljk so:

- izbira med posrednim in neposrednim prenosom,
- načrtovanje distribucijskega potenciala,
- upoštevati lokalno distribucijo.

Pri sprejemanju naročil za transport se vedno pojavi vprašanje izbire med neposrednimi dobavitelji in uporabo distribucijske mreže. Odločitev o transportu pošiljke je odvisna od



terminala in stroškov dostave. Ta problem se nanaša na dimenzije pošiljke. Velika pošiljka in dolga dostavna razdalja vas spodbujata k izbiri neposrednega transporta. Če je pošiljka enkratna, je problem lažje rešiti, saj je dovolj, da primerjamo stroške transporta z uporabo sistema terminalov. Vendar je treba opozoriti, da združevanje pošiljke z drugimi predmeti zmanjša stroške posrednega transporta. Oblikovanje distribucijskega omrežja za majhne pošiljke je strateško vprašanje. Skupne stroške sistema je mogoče izračunati z naslednjo formulo (Milewski, 2011):

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

kjer:

$K_{(CSD)}$ - skupni stroški distribucijskega sistema,

K_{d-o_j} - stroški transporta in odstranjevanja i-tega terminala,

K_{T_j} - stroški terminala i-tega terminala,

K_{P_j} - stroški linearne transporta i-tega terminala,

n - število priključkov.

Operativni problem je načrtovanje poti za transport paketov v okviru strateških ureditev. Celotne stroške transporta pošiljk po določeni poti lahko izrazimo s spodnjo formulo (Milewski, 2011):

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

kjer:

$K_{(CDL)}$ - skupni stroški lokalne distribucije,

$K_{i,k}$ - stroški transporta (dostave ali distribucije) pošiljk na poti k ,

d_k - dolžina poti k ,

o - število poti.

Glavni cilj metod in modelov optimizacije je reševanje problemov. Merilo optimizacije je običajno najkrajši možni čas transporta ali najkrajša pot. Ta pristop zadostuje ob predpostavki, da so skupni stroški neposredno odvisni od dolžine poti. Zato je treba pot izbrati tako, da je "čim krajša ali da je čas potovanja po njej čim krajši". Na tej točki je treba pozornost nameniti

optimizacijskemu modelu transportnega makrosistema (Milewski, 2011). Njegova naloga je razviti ustrezno število kazalnikov in ukrepov, potrebnih v procesu racionalnega upravljanja transporta med logističnim izvajanjem operativnih dejavnosti. Bolj natančno kot model odraža preizkušeno realnost, učinkovitejše so zmožnosti nadzora. Glede na podobnost se lahko optimizacijski model uporabi za neposredno oblikovanje poslovne strategije v sektorju transportnih storitev. Optimizacijski model transportnega sistema zagotavlja metode in znanstvena orodja za nadzor transportnega sistema. Zapišemo ga lahko v obliki naslednjega izraza (Ficoń, 2010).

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

kjer:

Z_{ST} - niz operativnih (logističnih) virov sistema ST ,

P_{ST} - niz operativnih (logističnih) procesov sistema ST ,

G_{ST} - niz omejitev in robnih pogojev sistema ST ,

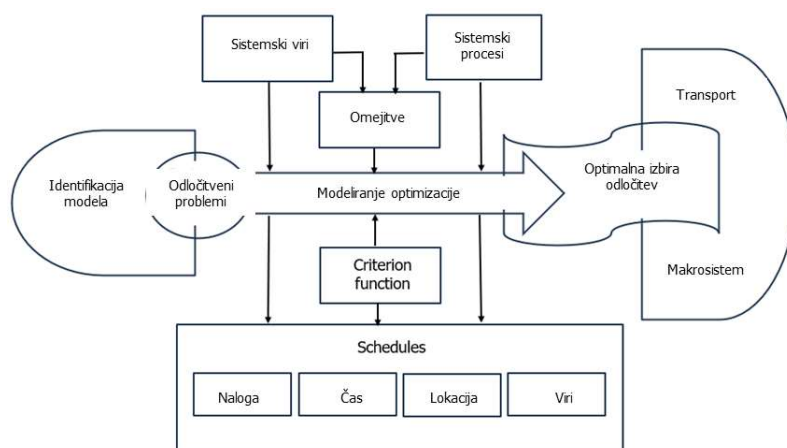
F_{ST} - Funkcija merila delovanja sistema ST ,

H_{ST} - niz sprejemljivih urnikov obratovanja za sistem ST ,

S_{ST} - globalni stroški delovanja transportnega makrosistema ST ,

STO - standardi logističnih storitev za stranke v transportnem sektorju.

Koncept optimizacije transportnega sistema je predstavljen na sliki 10.2.



Slika 10.2. Koncept optimizacijskega modeliranja transportnega sistema

Vir: (Ficoń, 2010)



Seveda obstajajo tudi drugi modeli, ki pomagajo reševati probleme optimizacije v transportu. Vprašanj optimizacije v transportu je še veliko več. Med njimi obstajajo razlike, ki so odvisne od podjetja, njegove velikosti in izdelkov, s katerimi razpolaga.

10.3. Problemi optimizacije transporta v praksi

Eden od osnovnih elementov optimizacije transporta je **optimizacija poti**. Ta vključuje načrtovanje poti za vozila, ki se uporabljajo za transport blaga, da bi optimizirali dobiček in storitve za stranke. Za podjetje to običajno pomeni zmanjšanje stroškov in časa transporta, za stranke pa nižje stroške in pravočasno dostavo. Ti cilji se dosežejo z zmanjšanjem prevožene razdalje, sposobnostjo prilagajanja vozniških redov spreminjajočim se razmeram in novim situacijam skozi čas, sinhronizacijo transporta s skladiščnimi operacijami ter sposobnostjo pogoste in hitre optimizacije za posodobitev trenutnega načrta. Čeprav je najpogostejši cilj pri transportnih nalogah zmanjšati stroške transporta na minimum ali si prizadevati za zmanjšanje razdalj, je pri transportu izdelkov, predvsem živil, ki jim lahko hitro poteče rok uporabe, izdelkov, ki hitro izgubijo svoje uporabne lastnosti, ali izdelkov, ki se dobavljajo po načelu pravočasno zaradi omejenih skladiščnih zmogljivosti ali previsokih stroškov skladiščenja pri prejemniku ali zamud pri dobavah prejšnjih členov v dobavni verigi, prednostni cilj čim bolj skrajšati dobavni čas za vse dobave. Krajši dobavni roki omogočajo izpolnitev pričakovanj strank glede dobavnih rokov in ohranitev uporabne vrednosti prepeljanih izdelkov, kar lahko nadomesti stroške, ki nastanejo zaradi uporabe transportnih sredstev. V navedenih primerih je zato najpomembnejši vidik skrajšanje najdaljšega transportnega časa v danem sistemu dostave, tj. izračun najkrajšega časa, v katerem je mogoče opraviti dostavo (Gaspars-Wieloch, 2011).

Eden od osnovnih elementov optimizacije transporta je optimizacija poti. Ta vključuje načrtovanje poti za vozila, ki se uporabljajo za transport blaga, da se optimizirata dobiček in storitev za stranke. Za podjetje to običajno pomeni zmanjšanje stroškov in časa transporta, za stranke pa nižje stroške in pravočasno dostavo. Ti cilji se dosežejo z zmanjšanjem prevožene razdalje, sposobnostjo prilagajanja vozniških redov spreminjajočim se razmeram in novim situacijam skozi čas, sinhronizacijo transporta s skladiščnimi operacijami ter sposobnostjo pogoste in hitre optimizacije za posodobitev trenutnega načrta. Čeprav je najpogostejši cilj pri



transportnih nalogah zmanjšati stroške transporta na minimum ali si prizadevati za čim manjše razdalje, je pri transportu izdelkov, predvsem živil, ki jim lahko hitro poteče rok uporabe, izdelkov, ki hitro izgubijo svoje uporabne lastnosti, ali izdelkov, ki se dobavljajo po načelu pravočasno zaradi omejenih skladiščnih zmogljivosti ali previsokih stroškov skladiščenja pri prejemniku ali zamud pri dobavah prejšnjih členov oskrbovalne verige, prednostni cilj čim bolj skrajšati čas izvedbe vseh dobav. Krajši dobavni roki omogočajo izpolnitev pričakovanj strank glede dobavnih rokov in ohranitev uporabne vrednosti prepeljanih izdelkov, kar lahko nadomesti stroške, ki nastanejo zaradi uporabe transportnih sredstev. V navedenih primerih je zato najpomembnejši vidik skrajšanje najdaljšega transportnega časa v danem sistemu dostave, tj. izračun najkrajšega časa, v katerem je mogoče opraviti dostavo (Gaspars-Wieloch, 2011).

Z vidika IT je optimizacija poti v transportu in logistiki tesno povezana s problemom potujočega prodajalca (TSP) in problemom razporejanja (VRP, Vehicle Routing Problem). Problem potujočega prodajalca je klasični kombinatorični problem optimizacije, ki vključuje načrtovanje najkrajše in najcenejše transportne poti, ki poteka skozi n določenih točk pošiljanja in prejemanja z danimi potnimi stroški med vsakim parom točk. Problem VRP je posplošitev problema TSP. V njem je mogoče imeti več potnikov (več vozil) z možnostjo večkratnega vračanja v bazo, preden dosežejo vseh n točk. Tako za problem TSP kot za problem VRP obstajajo številne posplošitve in dodatne praktične omejitve, ki lahko vključujejo časovna okna, zaporedne omejitve obiskanih lokacij, različne zmogljivosti vozil in voznikov ali omejitve zmogljivosti, ki so uporabne za dostavo in zbiranje (www_10.2).

Za rešitev naloge TSP je treba določiti raven zaloge izdelkov na vsaki točki pošiljanja, obseg povpraševanja na vsaki točki prejemanja ter stroške transporta od vsake točke pošiljanja do vsake točke prejemanja (Vinichenko, 2009). Če gre samo za en izdelek, se lahko povpraševanje v sprejemnih točkah dopolni iz ene ali več točk pošiljanja. Namen takšnega načrta je izračunati količino izdelkov, ki se pošiljajo od vsake točke pošiljanja do vsake točke prejemanja, da se čim bolj zmanjšajo skupni stroški transporta (Stachurski in Wierzbicki, 2001).

Če so stroški potovanja neposredno sorazmerni s prepeljano količino, imamo opravka z linearno transportno nalogo. V nasprotnem primeru, če ta pogoj ni izpolnjen, postane



transportna naloga nelinearna naloga. Ena izmed najbolj priljubljenih metod optimizacije je linearno programiranje (Silaen et al., 2019; Gass, 2013). Največja uporabnost te metode je opazna pri oblikovanju omrežja obratov, pri čemer so omejitveni pogoji za model velikost povpraševanja in ponudbe za proizvodne obrate, distribucijske centre ali posamezne trge. Ob dani ciljni funkciji, ki na primer predvideva zmanjšanje skupnih stroškov, je linearno programiranje koristno pri oblikovanju optimalnega modela razporeditve objektov, ki upošteva omejitve povpraševanja in ponudbe. Čeprav je metoda linearnega programiranja precej praktična, obstajajo omejitve pri njeni uporabi, saj mora biti problem, ki ga je treba rešiti z njo, oblikovan deterministično, prav tako pa je treba problem podvreči linearnemu približku. Poleg tega pri linearnem programiranju ni mogoče upoštevati stalnih in spremenljivih stroškov poslovanja logističnih objektov (Coyle et al., 2002)

V logistični literaturi je mogoče najti veliko število znanstvenih člankov o teoriji in praksi organiziranja optimalnega transportnega sistema z uporabo različnih modelov in metod. V publikacijah (Lai & Bierlaire, 2015; De Maio & Vitetta, 2015; Manley, Orr & Cheng, 2015; Vitetta, 2016) so predstavljene študije optimizacije poti po merilu minimalnega časa dostave

V člankih (Hess et al., 2015; Nyrkov, Sokolov in Belousov, 2015) so bile za določitev optimalne poti uporabljene metode, ki temeljijo na alternativnem vzorčenju. Nasprotno pa so avtorji publikacij (Zhilenkov, Nyrkov in Cherniy, 2015; Omelianenko et al., 2019; Tomashevskii, 2007; Cheng in Wu, 2020; Zaychenko, 2014) uporabili metode modeliranja poti za transportne sisteme na podlagi fuzzy logike. V objavah (Shang et al., 2020; Shramenko & Shramenko, 2019) so njihovi avtorji za načrtovanje optimalne poti uporabili hevristični model, v člankih (Maleev, et al., 2019,; Skvortsov, Pshonkin & Luk'yanov, 2018,) pa je bil opisan kvantni model za določitev optimalne poti v transportnih sistemih.

Rezultati modeliranja izbire optimalnih poti z uporabo podatkov **globalnega sistema za določanje položaja** (GPS), osredotočenega na tovornjake, ki opravljajo dolge vožnje, so na voljo v publikacijah (Khripach et al., 2018; Navrodska et al., 2019; Fialko et al., 2020).

V nadaljevanju so posamezni koraki pri reševanju transportne naloge podrobno predstavljeni na praktičnem primeru transportne naloge s časovnim merilom za optimizacijo oskrbe verige supermarketov, ki je bil opisan v članku (Gaspars-Wieloch, 2011).



Opredelitev problema transporta s časovnim merilom za optimizacijo oskrbe verige supermarketov

V opisanem problemu optimizacije transporta je obravnavana veriga supermarketov, razporejenih v različnih delih države. Za vsak teden se razvije nova ponudba blaga, ki se poleg vedno obstoječe ponudbe, ki vključuje živila in drogerijske izdelke, kupcem prodaja le šest dni, od ponedeljka do sobote, ali dokler ne zmanjka zalog. Ponudba tedna med drugim vključuje belo tehniko, papirne izdelke, oblačila, igrače, orodje ali vrtnarske izdelke. Pogosto je ponudba izdelkov prilagojena letnemu času in praznikom, kot so božič, velika noč, valentinovo, dan vseh svetih, prvo sveto obhajilo itd. Tedenska ponudba je določena precej vnaprej, izdelki, ki jih zajema, pa so na zalogi pri trgovcih na debelo, ki so razporejeni po vsej državi. Glede na možnosti, ki jih imajo na voljo dobavitelji, se različne vrste blaga dostavijo trgovcem na debelo teden dni vnaprej na različne dneve (tudi ob sobotah zjutraj), preden se začnejo prodajati. Veletrgovci morajo za vsako trgovino pripraviti komplete izdelkov. Primer kompleta lahko vsebuje 20 prtičkov, 30 televizorjev, 40 veder, 20 parov japonk, 30 loncev, 20 medvedkov, 30 parov hlač, 60 krem za roke, 50 žog in 40 zvezkov

Ker kompleti morda ne bodo dokončani do konca tedna in ker v supermarketih ni dovolj prostora za skladiščenje, želi podjetje v noči iz nedelje na ponedeljek v vse trgovine dostaviti tedensko ponudbo in jo nemudoma razporediti po policah.

Vsak tovarnjak, ki zapusti skladišče, takoj dostavi sklope izdelkov v več ali celo več supermarketov, ki tvorijo sektor. Supermarketi v sektorju so precej blizu drug drugemu (npr. v istem mestu). Čas, potreben za oskrbo sektorja, je odvisen od tega, od katerega veletgovca je vozilo preusmerjeno. Ključni cilj podjetja je čim bolj skrajšati najdaljši čas dostave.

Matematični model naloge transporta

Splošna oblika modela, ki opisuje zaprt transportni problem s časovnim kriterijem, je lahko predstavljena na naslednji način (Gaspars-Wieloch, 2011):

$$\max_{x,y>0} \{t_{ij}\} \rightarrow \min \quad (1)$$



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

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

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

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

kjer:

x_{ij} - količina blaga, prepeljanega od i-tega dobavitelja do j-tega kupca,

t_{ij} - čas transporta blaga od i-tega dobavitelja do j-tega prejemnika,

n - število prejemnikov,

m - število dobaviteljev,

a_i - dobava i-tega dobavitelja,

b_j - povpraševanje j-te stranke.

Kadar ni enakosti med celotno ponudbo in celotnim povpraševanjem, se zadnja formula (5) ne upošteva in pogoji ponudbe (2) ali povpraševanja (3) se spremenijo v neenakosti. Zgoraj opisani matematični model je uporaben v okoliščinah, ko odločevalec ne predpostavlja drugih dejavnikov, kot so nezadostno število dobavnih vozil, zahtevana minimalna raven zadovoljitve povpraševanja ali razlika v naravi časa transporta in časa raztovarjanja.

V znanstvenih člankih (Sikora, 2008) je bil predstavljen algoritem za reševanje predhodno opisanega problema transporta. V nadaljevanju so navedeni nadaljnji koraki postopka v skladu z navedenim algoritmom (Gaspars-Wieloch, 2011):

1. Prvi korak je določitev dopustne osnovne enačbe z metodo najmanjšega matričnega elementa, znano kot metoda MEM, ki temelji na tabeli časov.
2. V drugem koraku je pomembno določiti najdaljši čas dostave (T_k) za določeno rešitev na podlagi formule (6):

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



kjer:

T^k - najdaljši čas dostave v k-ti iteraciji.

3. za k-to rešitev je treba v skladu s formulo (7) predložiti preglednico stroškov (c_{ij}):

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

4. Naslednji korak je preverjanje optimalnosti rešitve na podlagi preglednice stroškov. Če kriterij optimalnosti (Δ_{ij}) za vse osnovne poti ni negativen, se postopek na tej stopnji konča. Če so merila optimalnosti negativna, sledite korakom v petem koraku.

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

kjer:

α_i^k, β_j^k - dvojne spremenljivke, tj. potenciali v k-ti iteraciji.

5. je treba ponovno določiti sprejemljivo osnovno rešitev, pri čemer je treba upoštevati najbolj negativno merilo optimalnosti, nato pa se vrniti na drugi korak.

Zgornji algoritem temelji na tako imenovani potencialni metodi, ki je opisana v številnih publikacijah, na primer (Leonard, 1997). Če v konkretnem problemu odločanja obstajajo druge predpostavke v zvezi z omejeno zmogljivostjo pakiranja transportnih sredstev, se mora obravnavani postopek dodatno sklicevati na načela, ki so bila sprejeta pri postopku za nalogo transporta z omejeno zmogljivostjo poti (Codeca in Cahill, 2022; Sanz in Escobar Gomez, 2013).

Algoritem se lahko uporablja kot ročni postopek pri nalogah z majhnim številom dobaviteljev in strank. Pri zahtevnejših nalogah je priporočljivo uporabiti ustrezen program, izdelan za algoritem v katerem koli programskem jeziku.

Druga možnost za predstavljeni postopek je lahko razvito informacijsko orodje za optimizacijo, kot je na primer Solver, ki je vključen v program Microsoft Excel. Vendar je treba



upoštevati, da različica programa Solver vpliva na vrsto nalog, ki jih je mogoče rešiti. Z vsako novejšo različico je na voljo več možnosti glede števila pogojev ali spremenljivk v nalogi, časa, potrebnega za rešitev naloge, in vrste uporabljenih funkcij. V standardni različici programa Solver ni mogoče uporabiti nobene funkcije "if", "max{" ali "min{"}. Funkcija "max" se pojavi v matematičnem modelu, opisanem s formulami (1)-(5), zato se zdi, da naloge ni mogoče rešiti s standardno različico programa Solver. Za izvedbo izračunov je v nadaljevanju obravnavan primer s specifičnimi numeričnimi podatki, za katerega je bil oblikovan ustrezen matematični model. Primer zadeva verigo supermarketov, ki jo sestavljajo trije veletrgovci, P (na jugu države), Z (na zahodu države) in PW (na severovzhodu države), ter 50 trgovin, razdeljenih v 8 diferenciranih sektorjev, označenih s črkami (A, B, C, D, E, F, G in H)). Na podlagi prepeljanih proizvodov lahko vsak veletrgovec sestavi 18 kompletov. Povpraševanje po kompletih po sektorjih je naslednje:

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

Čas, ki ga potrebujejo dostavna vozila za oskrbo vsakega sektorja, je sestavljen iz časa potovanja od trgovca na debelo do sektorja, ki ni odvisen od števila trgovin v sektorju, in časa raztovarjanja v samem sektorju, ki je odvisen od števila trgovin, kot je prikazano v preglednicah 10.1 in 10.2. Predpostavljeno je bilo, da se čas transporta v sektorju, ki je v praksi določen z razdaljo med trgovinami v sektorju, upošteva pri časih raztovarjanja asortimenta v vsaki trgovini. Cilj je čim bolj zmanjšati čas dostave, ki traja najdlje.

Preglednica 10.1. Približni čas potovanja (t_{ij}^p , v urah)

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

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)



Preglednica 10.2. Povprečni čas raztovarjanja enote (t_i^r , v urah)

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

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Zgoraj predstavljeni primer s številčnimi podatki je nekoliko bolj zapleten kot standardni transportni problem s časovnim merilom. Zato je natančen zapis optimizacijske naloge, ki velja za obravnavani primer, le delno podoben splošnemu matematičnemu modelu, kar ponazarjajo formule (9)-(21). Ciljno funkcijo za minimiziranje časa dostave lahko zapišemo na naslednji način (Gaspars-Wieloch, H. in: Szymczak, M. (ur.), 2011, str. 17-18):

$$\begin{aligned}
 \max \{ & (9 \min \{x_{11}, 1\} + \frac{1}{3}x_{11}), (6 \min \{x_{12}, 1\} + \frac{1}{2}x_{12}), (3 \min \{x_{13}, 1\} + \frac{1}{3}x_{13}), (3 \min \{x_{14}, 1\} + \\
 & + \frac{2}{5}x_{14}), (6 \min \{x_{15}, 1\} + \frac{1}{2}x_{15}), (9 \min \{x_{16}, 1\} + \frac{2}{5}x_{16}), (12 \min \{x_{17}, 1\} \\
 & + \frac{1}{4}x_{17}), (7 \min \{x_{18}, 1\} \\
 & + \frac{2}{5}x_{18}), (5 \min \{x_{21}, 1\} + \frac{1}{3}x_{21}), (4 \min \{x_{22}, 1\} + \frac{1}{2}x_{22}), (5 \min \{x_{23}, 1\} + \frac{1}{3}x_{23}), (6 \min \{x_{24}, 1\} \\
 & + \frac{2}{5}x_{24}), (9 \min \{x_{25}, 1\} + \frac{1}{2}x_{25}), (12 \min \{x_{26}, 1\} + \frac{2}{5}x_{26}), (9 \min \{x_{27}, 1\} + \frac{1}{4}x_{27}), \\
 & (7 \min \{x_{28}, 1\} + \frac{2}{5}x_{28}), (8 \min \{x_{31}, 1\} + \frac{1}{3}x_{31}), (5 \min \{x_{32}, 1\} + \frac{1}{2}x_{32}), (11 \min \{x_{33}, 1\} + \\
 & \frac{1}{3}x_{33}), (5 \min \{x_{34}, 1\} + \frac{2}{5}x_{34}), (3 \min \{x_{35}, 1\} + \frac{1}{2}x_{35}), (3 \min \{x_{36}, 1\} + \frac{2}{5}x_{36}), (4 \min \{x_{37}, 1\} + \\
 & \frac{1}{4}x_{37}), (3 \min \{x_{38}, 1\} + \frac{2}{5}x_{38}) \} \rightarrow \min
 \end{aligned} \quad (9)$$

Pogoji, ki se nanašajo na sektorsko povpraševanje, so zapisani na naslednji način (Gaspars-Wieloch, 2011):

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

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



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

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

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

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

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

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

V nadaljevanju so predstavljeni pogoji, ki veljajo za oskrbo trgovcev na debelo (Gaspars-Wieloch, 2011):

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

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

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

Pogoj, ki je povezan s celovitostjo odločitvenih spremenljivk, ima naslednjo obliko (Gaspars-Wieloch, 2011):

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

kjer:

x_{11} - število kompletov, prepeljanih iz skladišča P v supermarket A,

:

x_{38} - število kompletov, prepeljanih iz skladišča PW v supermarket H.

Obravnavani primer je eden od precej zapletenih, ne le zaradi pomanjkanja neposredne možnosti reševanja optimizacijskih problemov, ki vsebujejo funkciji "max{" in "min{" v standardni različici programa Solver. Nadaljnji zapleti vključujejo dve vrsti uvedenega časa: čas prihoda v vsak sektor in čas praznjenja v sektorju. To je bilo potrebno, ker se izdelki, ki se prevažajo s tovornjaki, ne raztovorijo na enem mestu, temveč v več trgovinah. Zato obstaja povezava med časom natovarjanja in številom oskrbovanih supermarketov. Prej opisanega algoritma ne bi smeli neposredno uporabiti za to vrsto problema.



Oblikovanje Excelove preglednice v predstavljenem primeru naloge transporta

Na sliki 10.3 je prikazan način vnosa podatkov v preglednico Microsoft Excel za obravnavani primer naloge transporta. Celice z naslovi C8-J10 so polja, v katerih bodo prikazane optimalne vrednosti odločitvenih spremenljivk ($x_{11}, x_{12}, \dots, x_{(38)}$). V vrstici s številko 11 so bile izračunane seštete vrednosti polj ustreznih stolpcev preglednice C8-J10. Predstavljajo levo stran pogojev (10)-(17). Formulirana zahteva je vključena v vrstico s številko 12. Dodane vrednosti iz območij celic C8:J8, C9:J9, C10:J10 so prikazane v stolpcu z oznako K. Vsebujejo skupno število kompletov, prepeljanih od veletrgovcev P, Z oziroma PW, tj. levo stran omejitev dobave (18)-20. Vrednosti ponudbe posameznih veletrgovcev so prikazane v stolpcu 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. Podatki, vneseni v preglednico v tem primeru naloge transporta

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)

V vrsticah 16-45 je povzetek parametrov in formul, potrebnih za določitev ciljne funkcije. Podatki iz preglednic 10.1 in 10.2 so predstavljeni v vrsticah 16-18 in 20. Skupni čas



raztovarjanja od i-tega veletrgovca do j-tega sektorja v vrsticah 24-26 je bil izračunan z množenjem časa raztovarjanja na enoto iz vrstice 20 s številom dobavljenih kompletov v vrsticah 8-10, kot je prikazano na sliki 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 skupnega časa raztovarjanja

Vir: pripravljeno na podlagi (Gaspars-Wieloch, 2011).

Na sliki 10.5 je prikazana metoda za določitev skupnega časa vožnje in časa raztovarjanja v vrsticah s številkami 30-32.

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 skupnega časa raztovarjanja

Vir: pripravljeno na podlagi (Gaspars-Wieloch, 2011).

Namen zapisa " $\min\{x_{ij}, 1\}$ " v formuli (9) je izluščiti osnovne poti. V standardni različici programa Solver ni mogoče reševati nalog, pri katerih je prisotna funkcija " $\min\{\}$ ". Zato je treba osnovne poti določiti drugače. Če ima količnik v formuli (22) vrednost blizu števila 1, se ta pot lahko imenuje osnovna pot. Če pa je kvocient enak nič, potem se transport po proučevani poti ne bo izvajal, kot je prikazano na sliki 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. Določanje baznih in nebaznih poti

Vir: pripravljeno na podlagi (Gaspars-Wieloch, 2011).

Z opisano metodo lahko v zadnji korak vključite samo čase osnovnih poti. Enačbe za izračun skupnega časa na osnovnih poteh so prikazane na sliki 10.7 in so v vrsticah 43-45. Polja



v vrsticah 43–45 so zaporedni argumenti za funkcijo max, ki se pojavi v formuli (9). Sama ciljna funkcija je v celici L44.

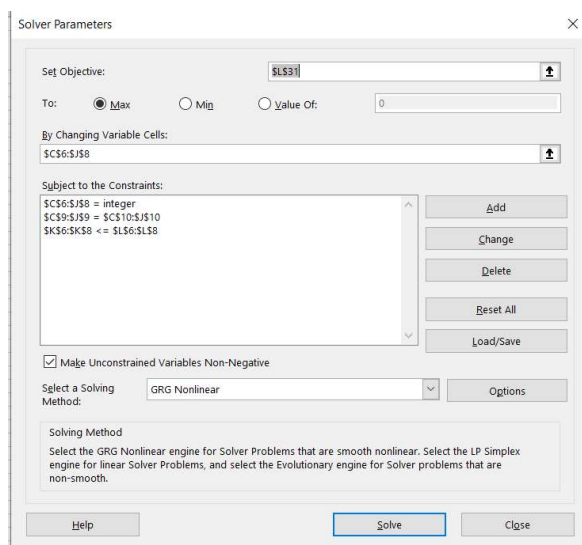
43		=C36*C30	=D36*D30	=E36*E30	=F36*F30	=G36*G30	=H36*H30	=I36*I30	=J36*J30
44	Total time on base routes	=C37*C31	=D37*D31	=E37*E31	=F37*F31	=G37*G31	=H37*H31	=I37*I31	=J37*J31
45		=C38*C32	=D38*D32	=E38*E32	=F38*F32	=G38*G32	=H38*H32	=I38*I32	=J38*J32

Slika 10.7. Določitev skupnih stroškov na osnovnih poteh

Vir: pripravljeno na podlagi (Gaspars-Wieloch, 2011).

Reševanje problema v predstavljeni nalogi transporta

Da bi dobili optimalno rešitev, je treba okno Solver še dopolniti (Slika 10.8). V možnostih je treba izbrati nenegativnost spremenljivk, nato pa izbrati ukaze "Solve" (Rešiti), "Store Solution" (Shrani rešitev) in "Ok" (Ok).



Slika 10.8. Formule v oknu Solver

Vir: pripravljeno na podlagi (Gaspars-Wieloch, 2011).

Izračuni so prikazani na sliki 10.9. Vendar je treba biti previden, saj se je pri ustvarjanju delovnega lista uspelo izogniti uporabi funkcij tipa "min{}", medtem ko je funkcija "max{}" še vedno ostala. Zato je treba rezultate natančneje preučiti. Transport izdelkov na poti, ki povezuje veletrgovca P s sektorjem F, trenutno traja najdlje, tj. 9,8 ure, in mora oskrbovati dve trgovini ($x_{16} = 2$). Zato je treba poskusiti poiskati ugodnejše načrtovanje dostave z dodajanjem



pogoja $x_{16} \leq 1$, tj. $x_{H6} \leq 1$. To bo skrajšalo čas transporta in raztovarjanja na največ 9,8-0,4=9,4 ure, kar bo omogočilo ugodnejšo rešitev.

	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. Prva rešitev optimizacijske naloge

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Drugi načrt je na sliki 10.10. Vanj velja vključiti pogoj, tj. $x_{28} \leq 2$, saj bo tako prispeval k skrajšanju časa dostave na poti Z-H za vsaj 0,4 ure (čas raztovarjanja izdelkov v sektorju H bo potem 8,2-0,4=7,8 ure).

	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. Druga rešitev optimizacijske naloge

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)



Tretja rešitev je prikazana na sliki 10.11. Čas na poti Z-H se je dejansko skrajšal na 7,5 ure, vendar je bil najdaljši čas zabeležen na poti P-E (8 ur). Morda nas mika, da bi preverili, ali bi dodajanje merila $x_{15} \leq 3$, *czyli* $\$G\$8 \leq 3$ izboljšalo končni 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. Tretja rešitev optimizacijske naloge

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011)

Pri četrti rešitvi, prikazani na sliki 10.12, je najdaljši čas dostave že samo 7,5 ure. Po uvedbi omejitev za poti, ki zdaj določajo vrednost ciljne funkcije: $x_{12} \leq 2$, *czyli* $\$D\$8 \leq 2$ i $x_{15} \leq 2$, *czyli* $\$G\$8 \leq 2$.

Na sliki 10.13 je prikazana peta najbolj optimalna rešitev. Tudi če dodamo še več omejitev, ne bodo več izboljšale dobavnih rokov.

	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. Četrta rešitev optimizacijske naloge

Vir: (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. Peta rešitev optimizacijske naloge

Vir: (Gaspars-Wieloch, 2011).

Predpostavka za optimalno rešitev naloge je, da bo na obeh poteh najdaljši čas dostave 7,4 ure: P-H in Z-H. Vsak sektor bo oskrbovan s kompleti glede na prijavljeno povpraševanje. Ponudba veletrgovcev s PW bo uporabljena v največji možni meri. Za oskrbo verige supermarketov bo potrebnih 13 tovornjakov.

Če primerjamo rezultate četrte in pete rešitve, lahko zaradi majhne časovne razlike ($7,5-7,4=0,1$ h) dejansko izberemo četrto možnost. Pri tem je treba omeniti, da bi bilo treba pri četrtem načrtu poleg nekoliko daljšega časa dostave poslati do 14 tovornih vozil. Dobljeni rezultat seveda ni edina optimalna rešitev. Različne simulacije lahko pripeljejo do različnih zaključkov.

Analiza znanstvenih del, ki so bila omenjena v prejšnjih poglavjih tega članka, kaže, da raziskovalci v svojih študijah uporabljajo različne analitične pristope k organizaciji tovornega transporta in načinom delovanja objektov ter načinom delovanja posameznih elementov in delov logističnih sistemov. To omogoča izbiro metode, s katero je mogoče optimizirati transportni sistem, ki je izjemno pomemben element logističnih procesov v podjetju in vpliva na donosnost podjetja.

VPRAŠANJA

1. Kateri so glavni problemi transportne politike, povezani z optimizacijo transportnega sistema?
2. Kateri so glavni cilji optimizacije poti za podjetje in prejemnike?



3. Kaj je problem prodajnega potnika (TSP) in kako je povezan z optimizacijo poti?

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.

Brooke, A.; Kendrick, D.; and Meeraus, A. 1992, *GAMS, A User's Guide*, Boyd and Fraser, Danvers

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 Linear 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 operacyjnej*, 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.