

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA LOGISTIKO

Matjaž Skale

**SPREMEMBA REŠEVANJA  
PROBLEMA PLANIRANJA VOZIL Z  
IMPLEMENTACIJO OPUSTITVE  
ČASOVNIH OKEN DOSTAVE**

diplomsko delo

Celje, december 2009

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA LOGISTIKO

Matjaž Skale

**SPREMEMBA REŠEVANJA  
PROBLEMA PLANIRANJA VOZIL Z  
IMPLEMENTACIJO OPUSTITVE  
ČASOVNIH OKEN DOSTAVE**

diplomsko delo

Mentor:

red. prof. dr. Martin Ivan Lipičnik

Somentor:

asist. mag. Darja Topolšek

Celje, december 2009



fakulteta za logistiko  
celje - krško



## IZJAVA O AVTORSTVU diplomskega dela

Spodaj podpisan/a \_\_\_\_\_,  
študent/ka \_\_\_\_\_  
(študija), z vpisno številko \_\_\_\_\_, sem avtor/ica  
diplomskega dela: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo rezultat izključno mojega lastnega raziskovalnega dela;
- sem poskrbel/a, da so dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric, ki jih uporabljam v diplomskem delu, navedena oz. citirana v skladu s navodili Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru;
- sem poskrbel/a, da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev oz. avtoric navedena v seznamu virov, ki je sestavni del diplomskega dela in je zapisan v skladu s navodili Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru;
- sem pridobil/a vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti prenesena v diplomsko delo in sem to tudi jasno zapisal/a v diplomskem delu;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del, bodisi v obliki citata bodisi v obliki skoraj dobesednega parafraziranja bodisi v grafični obliki, s katerim so tuje misli oz. ideje predstavljene kot moje lastne – kaznivo po zakonu (Zakon o avtorskih in sorodnih pravicah, Uradni list RS št. 21/95), prekršek pa podleže tudi ukrepom Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru v skladu z njenimi pravili;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in za moj status na Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektoriral/a

\_\_\_\_\_.

V Celju, dne \_\_\_\_\_

Podpis avtorja/-ice: \_\_\_\_\_

## **ZAHVALA**

*Zahvalil bi se rad svojemu mentorju red. prof. dr. Martinu Ivanu Lipičniku in somentorici asist. mag. Darji Topolšek za vso pomoč pri izdelavi in usmerjanju moje diplomske naloge.*

*Posebna zahvala velja moji družini, ki mi je ves čas mojega študija stala ob strani in me moralno podpirali. Zahvala pa velja tudi zaposlenim v podjetju Mercator d.d., ki so mi pomagali s podatki in nasveti pri izdelavi diplomskega dela, še posebej izvršnemu direktorju logistike Marku Cedilniku.*

## **SPREMEMBE REŠEVANJA PROBLEMA PLANIRANJA VOZIL Z IMPLEMENTACIJO OPUSTITVE ČASOVNIH OKEN DOSTAVE**

Slovenska podjetja so pri uvajanju različnih poslovnih modelov povsem primerljiva s podjetji iz bolj razvitih gospodarstev. Slika je povsem obratna pri implementaciji znanstveno raziskovalnih dognanj strokovnjakov s področja logistike v vsakodnevne aktivnosti podjetij. Področje logistike v večini slovenskih podjetij sodi v okvir nabavnih ali prodajnih oddelkov, pri upravljanju z logističnimi procesi pa je primarni cilj praviloma visok nivo oskrbe, kar je zagotovo ustrezno, vendar največkrat na račun neupravičeno visokih stroškov logističnih storitev. Z izvajanjem različnih projektov optimizacij v podjetjih, sploh pa v luči aktualne gospodarske krize, je nastopilo zavedanje, da je tudi področje logistike, s primernim upravljanjem, vir potencialnih prihrankov. Podjetja največkrat prihranke v logistiki iščejo na račun zunanjih izvajalcev, čeprav so prihranki največkrat dosegljivi v notranjih rezervah, tudi z vzpostavitvijo primernega nivoja oskrbe, ki je lahko v tem trenutku previsok. Opuščanje okna dostave pri sekundarni distribuciji blaga je eno izmed možnih področij optimizacije stroškov logistike skozi notranje rezerve, ravno ta rešitev pa je, z uporabo znanstveno raziskovalnih metod in orodij, predstavljena v pričujočem delu.

Ključne besede: distribucija, hevrstika, planiranje vozil, časovno okno dostave

## **THE OPTIMISATION OF VEHICLE ROUTING PROBLEM BY DISCARDING DELIVERY TIME WINDOWS**

Slovenian companies are quite comparable with companies from more developed economies when implementing various business models. The image is, however, completely different when it comes to implementation of scientific research achievements done by experts in the field of logistics in the everyday activities of enterprises. Department of logistics in the majority of Slovenian companies is organized within the purchasing and sales departments. In management of logistic processes the primary objective is usually high service level, which is certainly appropriate, but often at the expense of unduly high costs of logistics services. With the implementation of various optimization projects in businesses, especially in light of the current economic crisis, the awareness has arrived that also area of logistics, with proper management, is a source of potential cost savings. Companies often seek savings in logistics at the expense of their outsourcing partners, although the savings are mostly achievable through internal reserves, including in establishing an appropriate service level, which may be too high at observed time. Discarding the delivery time windows in secondary distribution of goods is one of the potential areas of optimization of logistics costs through internal reserves. This solution, along with proper scientific research methods and tools, is presented in this paper.

**Keywords:** distribution, hevrstics, vehicle routing, delivery time windows

# KAZALO

<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
OPREDELITEV PROBLEMA .....	1
NAMEN IN CILJ .....	2
PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE OBRAVNAVANEGA PROBLEMA .....	3
METODE .....	3
PREDSTAVITEV POSLOVNEGA SISTEMA MERCATOR D.D. ....	4
<b>1 POMEN IN KOMPLEKSNOŠT PROBLEMA PLANIRANJA VOZIL V TEORIJI</b> .....	<b>7</b>
1.1 PROBLEM PLANIRANJA VOZIL .....	10
1.2 NP-TEŽKI PROBLEMI .....	11
1.3 PREGLED RAZVOJA HEVRISTIK .....	12
1.4 CILJI PLANIRANJA VOZIL IN KONFLIKTI MED NJIMI .....	15
1.5 OMEJITVE PRI REŠEVANJU VRP PROBLEMOV .....	19
1.6 PREGLED NEKATERIH POJMOV .....	20
1.7 PROBLEM PLANIRANJA VOZIL Z OKNOM DOSTAVE - VRPTW .....	25
1.8 HEVRISTIKE ZA VRPTW .....	27
1.9 NOVEJŠE HEVRISTIKE ZA VRPTW .....	36
1.10 ČASOVNO ODVIŠEN PROBLEM PLANIRANJA VOZIL.....	40
1.11 DINAMIČNI PROBLEM PLANIRANJA VOZIL .....	42
<b>2 OBSTOJEČI SISTEM PLANIRANJA VOZIL V PODJETJU MERCATOR D.D.</b> .....	<b>45</b>
2.1 OPIS REŠITVE ROUTE PLANNING SYSTEM .....	45
2.2 OMEJITVE PRI PLANIRANJU VOZIL .....	48
2.2.1 Omejitve na strani dostavnih mest.....	49
2.2.2 Zakonske omejitve.....	57
2.2.3 Omejitve na strani distributerja.....	61
2.3 STRATEGIJE PLANIRANJA .....	70
2.4 METODE IN HEVRISTIKE SISTEMA RPS.....	73
<b>3 IMPLEMENTACIJA OPUSTITVE ČASOVNIH OKEN DOSTAVE</b> .....	<b>81</b>
3.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA .....	81
3.2 PREDPOSTAVKE .....	82
3.3 OMEJITVE .....	82
3.4 OPIS TESTIRANJA .....	83
3.5 REZULTATI TESTIRANJA .....	85
<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>98</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>100</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1A in 1B : Konflikt med celotno razdaljo in številom vseh voženj .....	18
Slika 2A in 2B: Konflikt med prevoženo razdaljo in porabljenim časom.....	19
Slika 3: Poenostavljen model cestnega omrežja .....	21
Slika 4: Plan voženj .....	22
Slika 5: Prikaz alternativne poti.....	24
Slika 6: Grafični prikaz časovne odvisnosti in časa znotraj dneva.....	25
Slika 7A in 7B: Prikaz saving hevristike .....	30
Slika 8A in 8B: Prikaz nearest neighbour hevristike .....	32
Slika 9A in 9B: Prikaz insertion hevristike .....	35
Slika 10: Prikaz grupiranja ali grozdenja pri sweep hevristiki .....	36
Slika 11: Prikaz nastanka poti od mravljišča do vira hrane .....	38
Slika 12: Potovalni čas od točke $i, j$ kot nezvezna funkcija s tremi intervali.....	41
Slika 13: Poslovni proces planiranja transportnih pot .....	46
Slika 14: Arhitektura sistema RPS.....	47
<i>Slika 15: Integracija RPS z ostalimi sistemi .....</i>	<i>47</i>
Slika 16: Proces planiranja vozil s sistemom RPS .....	48
Slika 17: Število strank glede na tip dostavnega mesta.....	51
Slika 18: Grafični prikaz časovnih oken dostav .....	54
Slika 19: Prikaz cestnega omrežja v sistemu RPS .....	58
Slika 20: Grafični prikaz velikosti odpreme cone pri 24 urnem obratovalnem času....	64
Slika 21: Grafični prikaz velikosti odpreme cone pri 16 urnem obratovalnem času....	66
Slika 22: Prikaz tedenskih nihanja odpreme blaga .....	67
Slika 23: Prikaz delovanja resequence metode .....	75
Slika 24: Prikaz delovanja swap metode .....	75

## KAZALO TABEL

<i>Tabela 1: Prikaz delovanja skladišča pri 24 urnem obratovalnem času .....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 2: Prikaz delovanja skladišča pri 16 urnem obratovalnem času .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 3: Tipi vozil in njihova nosilnost .....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 4: Matrica združljivosti.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 5: Prikaz referenčnih dni v primerjavi z maksimalnim dnevom D .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 6: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan A.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabela 7: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu A.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 8: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan A.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 9: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan B.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 10: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu B.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 11: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan B.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabela 12: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan C.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 13: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu C.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 14: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan C.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 15: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan D .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 16: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu D.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 17: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan D .....</i>	<i>96</i>

## KRATICE IN AKRONIMI

VRP	<b>Vehicle Routing Problem</b>	Problem planiranja vozil
VRPTW	<b>Vehicle Routing Problem with Time Window</b>	Problem planiranja vozil z časovnimi okni dostave
NP	<b>Nondeterministic Polynomial-time problems</b>	Nedeterministični problem, rešljiv v polinomskem času
BDP	<b>Bruto gospodarski produkt</b>	Bruto gospodarski produkt neke države
TSP	<b>Traveling Salesman Problem</b>	Problema trgovskega potnika
CVRP	<b>Capacitated Vehicle Routing Problem</b>	Kapacitetni problem planiranja vozil
CVRPTW	<b>Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</b>	Kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave
ACVRPTW	<b>Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</b>	Asimetrični kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave
sACVRPTW	<b>static Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</b>	Statični asimetrični kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave
dACVRPTW	<b>dynamic Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</b>	Dinamični asimetrični kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave
BPP	<b>Bin Packing Problem</b>	Problem polnjenja posode
FIFO	<b>First In First Out</b>	Princip prvo notri prvo ven
ACS	<b>Ant Colony System</b>	Sistem mravljišča
ACO	<b>Ant Colony Optimization</b>	Optimizacija mravljišča
MACS	<b>Multiple Ant Colony System</b>	Sistem večih mravljišč
NN	<b>Nearest Neighbour</b>	Najbližji sosed heuristika
TABU	<b>Tabu search</b>	Tabu iskanje
TDVRP	<b>Time Depending Vehicle Routing Problem</b>	Časovno odvisnega problema planiranja vozil
dVRP	<b>dynamic Vehicle Routing Problem</b>	Dinamični problem planiranja vozil
RPS	<b>Rout Planning System</b>	Programskega orodja za reševanje problema planiranja vozil
SCM	<b>Supply Chain Management</b>	Obvladovanje oskrbnih verig



GIS	<b>Geographic Information Systems</b>	Geografski informacijski sistem
WMS	<b>Warehouse Management System</b>	Sistem za obvladovanje skladišnega poslovanja
PB	<b>Podatkovna Baza</b>	Baza podatkov
JIT	<b>Just in Time</b>	Točno ob pravem času
TE	<b>Transportna Enota</b>	Enota namenjena transportu
RLC	<b>Roll Container</b>	Normalna transportna enota
IRLC	<b>Insulated Roll Container</b>	Izolacijska transportna enota

## UVOD

Uspešno organiziranje transporta zahteva reševanje raznolikih problemov na strateškem, taktičnem in operativnem nivoju (Bodin, Golden, Assad & Ball, 1983, str. 69-211). Pri samem transportu pa je operativni nivo zrcalo celotne organiziranosti organizacije. Če opazujemo transport dobrin in storitev, imamo lahko izbiro skladišča za strateško, izbiro tipov vozil kot taktično in izbiro poti vozil kot operativno odločitev.

Pri izbiri lokacije in tipa skladišča smo v veliki meri odvisni od razpoložljive lokacije, zakonodaje, lokalnih skupnosti in področja pretežne prodaje blaga. Pri izbiri tipov vozil smo odvisni od raznolikosti dostavnih lokacij, ki jim moramo dnevno dostavljati blago. Določitev dnevnih poti vozil je sicer tudi odvisna od veliko omejitev, tako zakonskih, kot tudi omejitev, ki se nanašajo na dostavna mesta ter od omejitev odpreme cone, a kljub temu imamo dovolj maneverskega prostora, da lahko dnevno optimiziramo plan voženj.

V diplomski nalogi bomo obravnavali zgolj taktični nivo izbire poti in reševanje organizacije transporta kjer se izbira poti vozil pojmuje kot kombinatoren problem optimizacija NP-težkega problema.

### 1.1 Opredelitev problema

Dobro izdelan plan voženj lahko znatno pripomore k zniževanju transportnih stroškov. S čim bolj optimalnim planom voženj se zmanjša število prevoženih kilometrov in za to potreben čas. Prav tako pa lahko dober plan voženj pripomore pri zniževanju števila vozil in enakomernejši obremenitvi le-teh.

Za zmanjševanje stroškov, k čemur trenutno stremijo vsa podjetja doma in v tujini, je potrebno zniževati stroške na vseh področjih in na vseh nivojih od izvira samih surovim pa vse do prodaje proizvoda končnim uporabnikom. Torej je potrebno zmanjševati stroške v okviru celotne oskrbne verige katere del je tudi transport.

V skoraj vseh branžah se srečujemo z organizacijo sekundarne distribucije torej dostavami in/ali pobiranjem raznovrstnega blaga na različnih lokacijah. Problem, ki se pojavlja pri tem je, da je potrebno z določenim voznim parkom postreči določeno število dostavnih mest. Za uspešno in optimalno sekundarno distribucijo pa danes niso več dovolj samo sposobni ljudje, ki imajo dober spomin in dobro poznajo dostavna mesta. Potrebno se bo zateči k matematičnim modelom za reševanje takšnih problemov ali pa uporabiti enega izmed programskih orodij za podporo oskrbnim verigam in distribuciji tako primarni kot tudi sekundarni. V različni literaturi in iz prakse v Evropi in Severni Ameriki lahko zasledimo podatek, da se z uvedbo matematičnih metod za reševanje transportnih problemov lahko prihrani od 5 do 24 odstotkov transportnih stroškov, odvisno od stopnje kompleksnosti in stopnje organiziranosti obstoječega transporta (Priloga 1). Pri čemer je poleg prihrankov viden tudi znaten dvig nivoja kakovosti storitve. Nivo kakovosti storitve se lahko meri v izpolnjevanju časovne in količinske točnosti izdobiljivosti naročenega blaga.

Človeški um je zmožen spremljati in nadzorovati med 5 in 8 spremenljivk, medtem ko programsko orodje z lahkoto spremlja od nekaj 10 pa do nekaj 100 med seboj odvisnih ali neodvisnih spremenljivk. Že samo to dejstvo nam pove, da se lahko nivo storitev drastično izboljša z uvedbo takšnega programskega orodja za podporo planiranja distribucije.

## 1.2 Namen in cilj

V diplomski nalogi je prikazan statični problem planiranja heterogenih vozil v podjetju Poslovni sistem Mercator d.d., prikazani so tudi morebitni prihranki na strani transporta, ki bi nastali pri uvedbi relaksacije<sup>1</sup> ali opustitve "mehkih" časovnih oken dostave. Prikazan je tudi razvoj samega problema planiranja vozil<sup>2</sup> (angl. *Vehicle Routing Problem* ali krajše *VRP*), opisanih je nekaj osnovnih heuristik in metaheuristik za reševanje problema planiranja vozil z in brez časovnih oken dostave (angl. *Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *VRPTW*). Prav tako so prikazane novejšje heuristike in smeri nadaljnjega razvoja le teh.

---

<sup>1</sup> Sprostiti časovna okna dostave, ne upoštevati omejitev časovnih oken dostave pri obisku dostavnega mesta.

<sup>2</sup> Pri samem pojmu planiranja vozil gre pravzaprav tudi za planiranje poti vozil ali usmerjanje vozil.

### 1.3 Predpostavke in omejitve obravnavanega problema

Pri dokazovanju naših trditev se bomo omejili na analizo zgolj dela sekundarne distribucije, ki jo izvajajo v opazovanem podjetju, to pomeni zgolj na eno odpremno lokacijo. Na tem vzorčnem primeru bo naša teorija ali potrjena ali ovržena in jo bo nato mogoče implementiralo na celotno distribucijsko mrežo.

Kot omejitve nam bodo služile vse ovire, ki jih pri dnevnem operativnem planiranju vozil v podjetju upoštevajo že sedaj in so natančno opisane v nadaljnjih poglavjih. Kot primer nekaj izmed teh omejitev je cestno omrežje Republike Slovenije, odpiralni časi dostavnih mest in odpreme cone, tipi dostavnih mest, fiksni in gibljivi časi, ki so potrebni za izvedbo storitve,...

Pri opazovanem problemu smo predpostavili, da ima opazovano podjetje dobro urejen prevzem blaga na dostavnih mestih. To pomeni, da ob sami dostavi blaga dostavnim mestom ni potrebno opraviti vhodne kontrole vsebine dostavljenega blaga ampak zgolj kontrole števila prepeljanih transportnih enot in prevzem ter potrditev spremne dokumentacije. Iz te predpostavke sledi, da je čas storitve znotraj delovnega dne nepomemben, pomembno je zgolj dejstvo, da mora biti storitev izvršena med delovnim časom dostavnega mesta.

Naslednja predpostavka je tudi, da mora zaloga blaga na dostavnem mestu zadostovati vsaj še za dan dostave, zato ni potrebno takojšnje popolnjevanje ali dopolnjevanje polic. Seveda so vedno mogoči izjemni primeri pri majhnem številu artiklov pri katerih lahko pride do izpada zalog. Tudi iz te predpostavke sledi, da čas znotraj dneva dostave ni pomemben.

### 1.4 Metode

V teoretičnem delu se bodo uporabljale:

- deskriptivna metoda za predstavitev teoretičnih izhodišč, pojmov in dejstev;
- metoda kompilacije pri povzemanju gradiva drugih avtorjev;
- metoda klasifikacije pri definiranju pojmov;

- metoda komparacije pri primerjanju stališč različnih avtorjev.

V praktičnem delu se bosta uporabljali:

- metoda analize trenutnega sistema;
- metoda sinteze pri obravnavi praktičnih ugotovitev.

## **1.5 Predstavitev Poslovnega sistema Mercator d.d.**

"Skupina Mercator je ena največjih trgovskih verig v regiji jugovzhodne Evrope, vodilna trgovska veriga v Sloveniji in čedalje bolj uveljavljena veriga na trgih Srbije, Hrvaške, Bosne in Hercegovine ter Črne gore. Vizija podjetja ostaja nespremenjena tudi v prihodnje – z željo biti vodilno trgovsko podjetje z izdelki za dnevno rabo v gospodinjstvu v regiji JV Evrope. Družba Poslovni sistem Mercator, d.d., je ena največjih gospodarskih skupin v Sloveniji ter v celotni regiji JV Evrope" (Mercator d.d., 2008, str. 12).

Najpomembnejša in najobsežnejša dejavnost Skupine Mercator je trgovina na drobno in debelo z izdelki vsakdanje rabe v gospodinjstvu.

### **Logistika v Mercator d.d v številkah**

V nadaljevanju bomo na kratko in z nekaj številkami predstavljeno delovanje in organiziranost sektorja logistike v Sloveniji.

Sektor logistike v Sloveniji vsak dan:

- obdela 3.700 naročil, ki imajo 120.000 pozicij (vrstic v naročilu);
- pripravi 350.000 odjemnih enot blaga s težo 2.000.000 kilogramov in volumnom 5.000.000 litrov;
- naloži blago na 10.000 transportnih enot;
- obiše 820 dostavnih mest, za to pa se opravi 550 voženj.

V enem letu:

tovorna in dostavna vozila za distribucijo blaga prevozijo več kot 16 milijonov kilometrov, kar je več kot 400-krat okoli ekvatorja ali malo več kot 21-krat do lune in nazaj;

- se na dostavna mesta dostavi več kot 500.000 ton blaga; če bi želeli dostaviti vse blago naenkrat, bi bila kolona tovornjakov z blagom dolga 530 kilometrov;
- bi lahko z blagom napolnili 650 olimpijskih bazenov;
- bi lahko ponovno zgradili enega od stolpov WTC v New Yorku, če bi blago predstavljalo zidake.

### **Organiziranost in delovanje**

Celotna logistična dejavnost Poslovnega Sistema Mercator d.d. se je v letu 2008 v celoti izvajala pod okriljem in v strukturi enotnega logističnega sektorja. V letu 2008 je delovala na 10 skladiščnih lokacijah v izmeri 115.977 m<sup>2</sup> skladiščnih površin in 316.335 m<sup>2</sup> zemljišč.

Logistika je na območju Slovenije z razpoložljivimi skladiščnimi kapacitetami zagotavljala distribucijo blaga v lastno maloprodajo in zunanjim kupcem za blago market programa, hlajenega in zamrznjenega programa, sadja in zelenjave, tehnike, tekstila, programa Intersport, programa Hura diskontov in programa Agroopreme.

V skladiščih je bilo v letu 2008 v uporabi 421 notranjih transportnih sredstev različnih tipov in nosilnosti.

### **Kadri**

Za opravljanje dejavnosti logistike je bilo v letu 2008 zaposlovali 1.380 redno zaposlenih oseb, poleg teh pa še preko 200 najetih delavcev.

Distribucija blaga se izvaja s 144 lastnimi tovornimi in dostavnimi vozili in preko 200 najetimi vozili.

**Kakovost logističnih storitev**

Nivo količinske izpolnitve naročil (nivo izdobiljivosti) v letu 2008 je znašal 96,1 odstotkov merjeno v vrednosti blaga in 96,4 odstotkov v številu pozicij (ciljna vrednost za oba kazalnika znaša 96,0 odstotkov).

Nivo kvalitete logističnih storitev, ki je merjen kot delež vrednosti prijavljenih reklamacij od skupne vrednosti prodanega blaga, je v letu 2008 znašal 0,88 odstotkov (ciljna vrednost znaša 1,00 odstotkov).

# 1 POMEN IN KOMPLEKSNOŠT PROBLEMA PLANIRANJA VOZIL V TEORIJI

O sekundarni distribuciji in njenem pomenu je bilo napisano v strokovni in znanstveni literaturi že veliko, bolj malo pa je literature, ki bi opisovala reševanje problemov planiranja sekundarne distribucije. Glede na enega izmed megatrendov, to je centraliziranje skladišč, pa bo obdelana tema vedno aktualnejša.

Če logistiko razdelimo na časovno in prostorsko komponento, je distribucija vsekakor prostorska komponenta. Torej premagovanje prostora.

Zniževanje stroškov je v današnjem času postala nuja in ker je eden izmed megatrendov tudi vitka organizacija, bo v prihodnje potrebno tudi logistiko oblikovati kot vitko logistiko.

Ker v Sloveniji uporaba samih metod, kaj šele programskih orodij za distribucijo ni široko razširjena, smo se v tem delu odločili, da predstavimo metode in enega izmed programskih orodij za podporo sekundarne distribucije.

Na optimizacijo distribucije kot takšne se v zadnjem času izvajajo veliki pritiski z vseh strani: vodstev podjetij, okoljevarstvenikov in strank.

Razlogov je več:

- velike možnosti prihrankov;
- omejevanje onesnaževanja okolja;
- rasti cen goriva;
- dvig nivoja kakovosti storitve.

Stroški logistike v bruto domačem proizvodu (krajše BDP) posameznih držav predstavljajo 5-20 odstotkov odvisno od razvitosti države, industrije, logistike ter logistične infrastrukture (leta 2007 je v BDP USA logistika predstavljala 10,1 odstotkov, leta 2008 9,4 odstotkov, na Kitajskem je v letu 2006 predstavljala 18,3 odstotkov BDP, v Baltskih državah je v letu 2004 predstavljala 14,6 odstotkov BDP).



Znotraj teh stroškov pa raziskave kažejo, da transportni stroški znašajo 39 odstotkov, zaloge 27 odstotkov in skladiščenje 23 odstotkov (Borgqvist & Hultkrantz, 2005, str. 3). Prav tako je vedno pomembnejši tudi okoljevarstveni vidik, kajti trenutni trend po CO<sub>2</sub> nevtralnih proizvodih je v vzponu, prav tako je tudi v porastu trend zelene logistike.

Stranke iz dneva v dan postajajo zahtevnejše, v to jih namreč sili velika konkurenca na trgu tako na strani ponudnikov kot tudi porabnikov. Zato so logistična podjetja primorana zviševati nivo kakovosti storitev, kar pa počnejo nemalokrat v lastno škodo. Pri distribuciji ne malo katero podjetje dvigne svoj nivo kakovosti storitev na način, da uporabi večje število vozil in le ta prevozijo večje razdalje.

Naslednji izmed trendov so tudi centralna skladišča in ukinjanje direktnih dostav (Priloga 2). Centralna skladišča sicer znižujejo stroške logistike (zniža se skupno število prevoženih razdalj, število potrebnih transakcij: prevzem blaga, pregledovanje blaga, odpiranje vrat, plačevanje računov,...) hkrati pa povečujejo kompleksnost distribucije in nemalokrat se na račun tega znižuje nivo kakovosti storitve.

Zakaj uporabiti programsko orodje za planiranje in optimizacijo distribucije:

- zaradi samega trenda odprtosti trga in istočasne pridobitve konkurenčne prednosti;
- zaradi ekonomskih dobrot, ki se bodo ustvarile z izboljševanjem logističnega sistema;
- sekundarna distribucija, ki se odvija v realnem času je vedno pogostejša in človek vedno težje sledi količini informacij, ki jih ima na razpolago;
- zaradi znižanja stroškov ob uporabi telekomunikacijskih tehnologij in s tem poenostavljenosti procesiranja podatkov.

Bistvo problema trgovskega pornika (angl. *Traveling Salesman Problem* ali krajše *TSP*) je v tem, da želimo povezati vozlišča grafa tako, da obiščemo vsa vozlišča natanko enkrat in se vrnemo v izhodiščno vozlišče po najkrajši skupni poti (Vrančič, 2008, str. 86).

Gre za zahteven računski problem, saj iskanje točne rešitve terja praktično pregled vseh možnih poti in izbiro najkrajše. To pomeni za primer 4ih vozlišč, da imamo 4! ali 24 možnih rešitev. Za obisk 10ih vozlišč se število možnih rešitev poveča na 10! ali

3.628.800 pri 20ih vozliščih pa je možnih rešitev za  $20!$  ali 2.432.902.008.176.640.000. Za izračun tega bi računalnik, ki lahko opravi  $10^9$  računskih operacij v sekundi, potreboval 77 let. In če gledamo na TSP problem kot poenostavljen VRP problem pomeni, da je VRP problem še težji.

Natančna rešitev problema planiranja vozil zahteva veliko računanja pri čemer potrebujemo veliko časa. Problem planiranja vozil je  $NP^3$ -težek problem (izraz je natančneje pojasnjen v nadaljevanju) to pomeni, da je takšne vrste problem, pri katerem s številom udeležencev čas reševanja eksponencialno ali s fakulteto narašča, zato je nujno potrebno uporabljati aproksimativne in hevristične<sup>4</sup> metode reševanja. Za reševanje tovrstnih problemov se uporabljajo različne hevristične in metahevristične<sup>5</sup> matematične metode, ki nas pripeljejo do zadovoljivih rešitev znotraj sprejemljivega časa.

Najpreprostejši problem planiranja vozil je problem trgovskega potnika. TSP je definiran kot problem pri katerem z enim vozilom obiščemo vse stranke, pri tem pa je naš cilj prepeljati čim krajšo razdaljo in zato imeti čim manjše stroške. Če pa uporabimo več kot eno vozilo, govorimo o problemu planiranja vozil (angl. *Vehicle Routing Problem* ali krajše *VRP*) ali problemu planiranja poti vozil ali problemu usmerjanja vozil. VRP lahko opišemo tudi kot skupek TSP problemov. Pri nadaljnjem opazovanju problemov v praksi pridemo do kapacitetnega problema planiranja vozil (angl. *Capacitated Vehicle Routing Problem* ali krajše *CVRP*). Še posebej pa je v praksi zanimiv problem, problem planiranja vozil s časovnimi okni (angl. *Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *VRPTW*). Osnovni problem VRP se še dodatno omeji s časovno omejitvijo in sicer s časovnim oknom storitve (dostava in/ali pobiranje) znotraj katerega je potrebno opraviti storitev pri stranki. Običajno je znotraj VRPTW problema že upoštevan tudi CVRP problem, zato nam tega ni potrebno posebej navajati, lahko se takšen problem imenuje tudi kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave (angl. *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *CVRPTW*). V praksi razdalje med točkami ali strankami niso vedno enake (npr. enosmerne ulice) torej razdalja med točkama  $A$  in  $B$  ni enaka razdalji med točkama

---

<sup>3</sup> Nondeterministic Polynomial-time problems.

<sup>4</sup> So metode za iskanje zadovoljivih rešitev problemov v omejenem času. Iz Grške besede heuriskein (ευρισκειν, "najti") (Wikipedia The Free Encyclopedia).

<sup>5</sup> So hevristične metode na višji stopnji. Sestavljene so iz Grške predpone "meta" ("zunaj", tukaj, v smislu "višje stopnje") in "hevristika" (od ευρισκειν, heuriskein, "najti") (Wikipedia The Free Encyclopedia).

$B$  in  $A$ , zato smo primorani uporabiti asimetrično matriko razdalj. Torej CVRPTW v praksi postane asimetrični kapacitetni problem planiranja vozil z okni dostave (angl. *Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *ACVRPTW*). Pri čemer imamo lahko homogen ali heterogen vozni park. V večini literature govorijo in rešujejo problem planiranja vozil s homogenim voznim parkom, kar pa na žalost v praksi ni tako. Da pa je problem še bolj zapleten, lahko rešujemo statični ali dinamični problem planiranja vozi, torej statični asimetrični kapacitativni problem planiranja vozil z okni dostave (angl. *static Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *sACVRPTW*) ali dinamični asimetrični kapacitativni problem planiranja vozil z okni dostave (angl. *dynamic Asymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* ali krajše *dACVRPTW*). Lahko pa se uporabljata tudi izraza sVRPTW in dVRPTW, ki zajemata tako omejitve asimetrije kot tudi kapacitete vozil.

## 1.1 Problem planiranja vozil

Problem planiranja vozil je kompleksen kombinatorično optimizacijski problem. Pojmujemo ga lahko tudi kot kombinacijo dveh znanih problemov, to sta TSP in problem polnjenja posode (angl. *Bin Packing Problem* ali krajše *BPP*). Na kratko pa ga lahko razložimo takole: s podano homogeno floto vozil, z določenim številom dostavnih mest z naročili in z eno odpremo cono je potrebno poiskati vožnje ali poti<sup>6</sup> (angl. *Route*) s skupno najmanjšimi stroški poti, pri čemer moramo oskrbeti vsa dostavna mesta. Vse poti, ki so potrebne za to, da oskrbimo vsa dostavna mesta z naročili, se imenujejo plan voženj.

Ker je problem VRP zaradi svojih omejitev NP-težak in zato težko rešljiv problem, je tudi VRPTW NP-težek problem. Ker pa sta oba problema zelo zanimiva za uporabo, obstaja velik interes, da se poiščejo vedno boljše hevristične metode, ki nas bodo pripeljale do vedno boljših približkov k natančnim rešitvam.

---

<sup>6</sup> Pot je ena vožnja točno določenega vozila na kateri mora obiskati točno določeno število dostavnih mest v točno določenem zaporedju in pri njih opraviti storitev.

## 1.2 NP-teški problemi

Za mnoge praktične probleme se je izkazalo, da so NP ali celo NP-teški problemi (angl. *NP-hard problems*). Kaj sploh pomeni, da je nek problem NP-težak? Slikovita razlaga je naslednja: "Problem je NP-težak, če bi kakršenkoli učinkovit (t.j. polinomski) algoritem za ta problem lahko uporabili za učinkovito reševanje stotine drugih problemov, za katere pa doslej še nihče (kljub velikim naporom tisoče znanih matematikov in informatikov) ni uspel najti učinkovitega postopka" (Mohar, 2002, str. 1). Med NP-težke probleme spadata tudi problema trgovskega potnika in planiranja vozil, prav tako pa v to množico spada še nekaj problemov, ki se pojavljajo tudi v logistiki in sicer lociranje kritičnih točk, izdelava urnikov, problem nahrbtnika, problem polnjenja posode, razvrščanje, razporejanje, razdeljevanje, celoštevilsko linearno programiranje, problem Hamiltonovega cikla in drugi.

Znano je, da lahko vsak NP-težak problem rešimo v času, ki je eksponentno odvisen od razsežnosti problema. Torej pravimo, da je problem NP razreda, če obstaja nedeterministični algoritem, ki se ga reši v polinomskem času. V praksi eksaktno reševanje takšnih problemov nima velikega pomena, ker takšno reševanje preseže razpoložljive časovne okvire. Zato je na mestu vprašanje ali je vsaj eden izmed NP-težkih problemov natančno rešljiv v polinomskem času, kajti v tem primeru bi bili rešljivi vsi. Med strokovnjaki se vse bolj utrjuje prepričanje, da temu ni tako in zato se vse bolj posvečajo iskanju algoritmov (hevristik in metahevristik), ki v korist hitrosti žrtvujejo eksaktnost (Robič, Dobravec, Slivnik, Mihelič, Čibej & Vilfan, 2006, str. 18-21). Rešitev problema je približek rešitve in je pravzaprav poljubna dopustna rešitev. Hevristični algoritmi ne zagotavljajo kakovosti dane rešitve kar pomeni, da je dana rešitev lahko poljubno slaba v primerjavi z optimalno.

Poznane hevristike za reševanje NP problemov lahko razvrstimo v naslednje skupine (Robič, 2006, str. 20):

- aproksimacijski algoritmi; sem sodijo algoritmi, ki za kakovost vrnjene rešitve dajejo zagotovilo, ki je izraženo v primerjavi z optimalno rešitvijo;
- verjetnostni algoritmi; gre za algoritme, ki temeljijo na naključnosti. Za analizo algoritma je potrebno poznati verjetnostno porazdelitev vhoda;

- metahevristični algoritmi; gre za splošne algoritmične metode, ki se lahko prilagodijo za uporabo za dani optimizacijski problem.

### 1.3 Pregled razvoja hevristik

Problema planiranja vozil sta pred petdesetimi leti prva omenila Dantzig in Ramser v pomembnem članku "The Truck Dispatching Problem". S pomočjo preučevanja kombinatornega optimizacijskega problema so posodobili dostavo goriva na bencinske črpalke. Tedaj so prvič predlagali matematično interpretacijo problema in algoritemski pristop k reševanju. Pri svojem delu niso upoštevali oken dostave.

Temelje statično-determinističnemu VRPTW je v svojem članku postavil Solomon (1983, str. 42), kjer je poleg enostavnih varčevalnih hevristik ali hevristik prihrankov (angl. *Saving*) in hevristik najbližjega soseda (angl. *Nearest-Neighbor*), prikazal tudi 56 benchmark<sup>7</sup> problemov za VRPTW. Definiral je 56 problemov planiranja vozil na katerih se še danes izvajajo primerjalne analize uspešnosti novih hevristik in metahevristik. Te probleme opisuje tudi večina avtorjev v kasnejših delih in z njihovo pomočjo prikazujejo možne rešitve s svojimi metodami in algoritmi.

V kasnejših letih je v svojih delih kar nekaj avtorjev predstavilo tudi natančne rešitve za VRPTW (Desrochers, Desrosiers & Solomon, 1992, str. 342-354 in Kohl & Madsen, 1997, str. 395-406, Fisher, Jörnsten & Madsen, 1997, str. 488-492 in Cook & Rich, 1999, str. 20-50). Vse predstavljene rešitve pa imajo eno skupno lastnost, in sicer, da so časovno zelo potratne. Iz tega razloga natančne rešitve problemov VRPTW niso primerne za reševanje praktičnih problemov in se jih zato ne poslužujemo.

V svojem kasnejšem delu je Solomon (1987, str. 254-265) predstavil modificirane saving, hevristika dodajanja (angl. *Insertion*), hevristika zbiranje v gruče ali grozdenje (angl. *Sweep*) in nearest-neighbor hevristike za reševanje problemov VRPTW. Njegov primarni cilj je minimalno število voženj, sekundarni pa ali minimalna skupna vsota vseh prevoženih razdalj ali minimalna vsota porabljenega časa.

---

<sup>7</sup> Benchmark: primerjalna analiza ali primerjalno presojanje.

V svojem delu Potvin, Kervahut, Garcia & Rousseau (1996, str. 158-164) predstavijo za rešitev problema VRPTW tabu iskalno metodo (angl. *Tabu Search*), ki temelji na 2-opcijski nearest-neighbor hevristici. Primarni cilj je minimalno število voženj, sekundarni pa minimalna vsota porabljenega časa.

Potvin & Beng (1996, str. 165-172), predstavita genetski algoritem (angl. *Generic Algorithm*) za reševanje VRPTW problema. Rešitev temelji na osnovni insertion-hevristici pri kateri je samo vrstni red vstavljanja dostavnih mest na vožnjo izračunan s pomočjo genetskega algoritma. Kot primarni cilj sta si ista avtorja zastavila minimalno število voženj za sekundarnega pa minimalno vsoto vseh opravljenih razdalj in čakalnih časov.

Shaw (1997, str. 1-8), predstavi svojo različico nearest-neighbor hevristike za VRPTW, pri čemer uporabi pohlepno hevristiko (angl. *Greedy*) z zelo veliko sosesko, ki se kombinira z omejitveno programsko hevristiko (angl. *Constraint-Programming heuristics*). Pri tej metodi se zelo veliko dostavnih mest, ki so bila že dodeljene na poti odstrani z njih in se nato s pomočjo razvejano omejevalne hevristike (angl. *Branch-and-bound*) dodajajo na najboljšo možno pot. Branch-and-bound metoda je po vsaki iteraciji, po predhodno definiranem času zaustavljena, z namenom skrajševanja časa izračunavanja. Če je tako pridobljena rešitev boljša od predhodne in vodi k minimumu zelenih ciljev, se jo uporabi. Shaw (1997, str. 1-8) si je kot primarni cilj postavil minimalno število voženj kot sekundarnega pa minimalno vsoto prevoženih razdalj.

Gambardella, Taillard & Dorigo (1999, str. 167-176) so v svojem delu predstavili hevristiko sistemov večih mravljišč (angl. *Multi Ant Colony System* ali krajše MACS) za rešitev VRPTW problema. Kot primarni cilj so vzeli minimalno število voženj, za sekundarnega pa minimalno skupno vsoto porabljenega časa.

Homberger (2000, str. 30-300) v svojem delu predstavi razdeljeno paralelno metahevristiko za reševanje VRPTW, ki kombinira različne hevristike in metahevristike med seboj. Homberger (2000, str. 30-300) je kombiniral evolucijsko strategijo za minimalno število voženj in Tabu search hevristika za minimalno vsoto vseh prevoženih razdalj. Primarni cilj metode je minimalno število voženj, sekundarni pa minimalna vsota prevoženih razdalj.

Ombuki, Nakamura & Osamu (2002, str. 2-7) predstavijo hibridno metodo (angl. *Hybrid*) za reševanje VRPTW problemov. Metoda kombinira genetski algoritem s Tabu search hevristiko in simulacijsko-razdelilno metodo (angl. *Simulation-Annealing*). Iz množice rešitev z minimalnim številom voženj je izbrana tista, ki ima minimalno skupno vsoto prevoženih razdalj.

Le Bouthillier & Craini (2005, str. 1.685-1.708) kombinirata za rešitev VRPTW različne metahevristične metode za paralelno gradnjo velikega števila poti, temu pravita princip reševanja skladišča (angl. *Solution Warehous Princip*). Iz velike množice možnih rešitev izbereta tiste poti, ki zadovoljijo primarni cilj, ki je minimalni celotni stroški distribucije. Za doseg cilja sta enormno povečala parametre, ki opredeljujejo stroške povezane z distribucijo s tem pa sta dosegla, da je bila minimalna skupna vsota prevoženih razdalj sekundarni cilj.

Ker se v praksi pri planiranju vozil srečujemo tudi z dinamično komponento, so se določeni avtorji pričeli ukvarjati tudi z dinamičnim VRP in VRPTW.

Dinamično deterministični problem planiranja vozil z oknom dostave (dVRPTW) z variabilnimi časi voženj sta kot prva predstavila Ahn in Shin (1991, str. 393-400). Kot primarni cilj sta si avtorja zadala minimalno število voženj, za sekundarnega pa minimalno skupno vsoto porabljenega časa.

Gietz (1994, str. 154-168) v svojem delu predstavi modificirane Solomonove hevristike za reševanje dinamičnega problema VRPTW. Avtor kot prvi predstavil tudi princip FIFO, ki ga je definiral kot prepoved prehitevanja, pri reševanju problemov VRP in VPRTW.

Ichoua, Gendreau & Potvin (2003, str. 379-396) so v svojem delu predstavili Tabu search hevristiko za reševanje dinamičnih VRPTW problemov. V svojem delu pa so tudi spremenili model, ki sta ga postavila Ahn in Shin (1991, str. 393-400) za modeliranje variabilnih časov voženj. Na žalost v svojem modelu niso upoštevali kapacitete vozil.

Donati, Montemanni, Casagrande, Rizzoli & Gambardella (2003, str. 11) na osnovi Ichoua in ostalih (2003, str. 379-396) predstavijo za reševanje dinamičnega VRPTW problema modificirano MACS metodo. Primarni cilj je minimalno število voženj, sekundarni pa minimalna skupna vsota porabljenega časa.

## 1.4 Cilji planiranja vozil in konflikti med njimi

Cilj VRPTW je opraviti storitev vsem strankam, ki so oddale naročila znotraj njihovega dostavnega okna in to s čim manjšimi stroški.

Celotni stroški distribucije so povezani s stroški delovne sile in stroški uporabe vozil. Kako definirati stroške pri planiranju vozil po dejanskih povzročiteljih je težje. Kljub temu, da je to tematiko obravnavalo kar nekaj avtorjev, so dejanski povzročitelji stroškov pri planiranju vozil spregledani. Zato se vsi modeli namesto z minimalnimi stroški ukvarjajo z nadomestnimi cilji:

- minimalno število voženj;
- minimalna vsota prevoženih razdalj;
- minimalni skupni čas vseh voženj;
- minimalna skupna vsota porabljenega časa.

Modeli uporabljajo posamezne izmed nadomestnih ciljev ali več od njih v poljubnih kombinacijah.

Ker so ti nadomestni cilji pomemben dejavnik planiranja vozil, so v nadaljevanju podrobneje predstavljeni kot tudi možni konflikti med njimi.

### **Minimalno število voženj**

Ker so stroški povezani z začetnimi stroški na vozilo, to pomeni, da minimalno število voženj hkrati pripelje tudi do minimalnih celotnih stroškov.

Fiksni stroški na vozilo so odvisni od:

- plače voznika ali fiksnih stroškov dnevnega pavšala za najetje voznika;



- stroškov amortizacije in financiranja transportnih osnovnih sredstev;
- stroškov dnevnega pavšala za najetje transportnega sredstva v primeru, da nimamo lastnih transportnih sredstev;
- stroškov vzdrževanja;
- stroškov zavarovanja;
- stroškov licenc za opravljanje storitve pri tovornih transportnih sredstvih.

Iz navedenega sledi, da lahko minimalno število voženj predstavlja minimalno potrebno število uporabljenih vozil, kar pa predstavlja najmanj zmanjšanje fiksnih stroškov.

### **Minimalna celotna prepeljana razdalja**

Predpostavljamo, da stroški z razdaljo rastejo zaradi:

- porabe goriva;
- obrabe transportnih sredstev;
- morebitnega plačila cestnin, ki s prevoženo razdaljo naraščajo;
- plačila na prevoženo razdaljo pri najetih transportnih sredstvih.

Samo prevožena razdalja pa nam ne zadostuje za izračun celotnih distribucijskih stroškov, kajti tudi časovna komponenta bistveno vpliva na njih.

### **Minimalna vsota potrebnih časov za vožnjo**

Na prvi pogled bi bilo pravilno doseči minimalno vsoto potrebnih časov za vožnjo. Ker predpostavimo, da stroški nastanejo zgolj med vožnjo vozila. S tem predpostavimo tudi, da med čakanjem in opravljanjem storitve ne nastajajo stroški. Ker pa takšna predpostavka ni točna, ker tudi med samim čakanjem in med opravljanja storitve nastajajo stroški. Zato je potrebno upoštevati tudi čas, ki je potreben za opravljanje storitve in čakalni čas.

### **Minimalna skupna vsota porabljenega časa**

Skupnemu času, ki ga potrebujemo za vožnjo, opravljanje storitve in čakalnemu času rečemo skupni porabljeni čas.

Z zniževanjem časov potrebnih za vožnje se hkrati lahko povečujejo čakalni časi na samo vožnjo ali na pričetek opravljanja storitve na dostavnem mestu (prijod k stranki pred pričetkom okna dostave ali obratovalnega časa). Zaradi tega dejstva smo primorani upoštevati skupni porabljeni čas ali načrtovani čas (angl. *Schedule time*). Schedule-time je čas od pričetka nalaganja blaga v odpremni coni do povratka nazaj.

### **Konflikti med posameznimi cilji**

Razdalja med dvema dostavnima mestoma  $i$  in  $j$  ( $d_{ij}$ ) in temu pripadajoči čas vožnje ( $t_{ij}$ ), se pri sVRP poenostavi in enači  $d_{ij} \hat{=} t_{ij}$  (Solomon, 1987, str. 254-265). Ta predpostavka je pravilna samo, če so razmerja med razdaljami in časi voženj za vse povezave med strankami in strankami in odpremno cono enaka. V nadaljevanju bomo povzeli po Boomgaardnu (2007, str. 1-97) zakaj je takšna poenostavitev problematična.

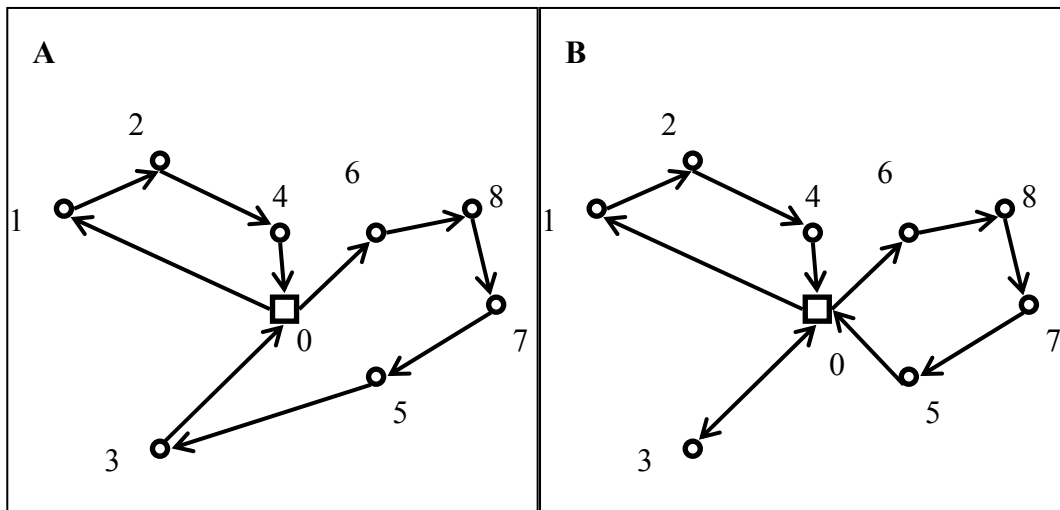
#### *1. Konflikt: Med celotno razdaljo in celotnim časom voženj*

Med minimalno razdaljo ( $\min d_{ij}$ ) in minimalnim časom vožnje ( $\min t_{ij}$ ) lahko pride do konflikta: če razmerje med razdaljo in časom vožnje ni enak za vse daljice. Torej lahko sicer daljša pot pomeni krajši čas vožnje. V realnosti se to velikokrat zgodi, ko je npr. pot po avtocesti hitrejša a daljša, od alternativne poti. Ta konflikt večina izmed nam poznane programske opreme za reševanje VRP problemov ne zna rešiti.

#### *2. Konflikt: Med celotno razdaljo in številom vseh voženj*

V določenih primerih minimalna vsota prevoženih razdalj ne pomeni tudi minimalnega števila voženj. V primeru, ko se vozilo vrne v odpremno cono po novo vožnjo, čeprav bi lahko naložilo vsa dostavna mesta že pri prejšnji vožnji, je vozilo v resnici prihranilo na vsoti celotnih razdalj, se je pa hkrati po nepotrebem povečalo število voženj. Ta konflikt je prikazan na Sliki 1A in 1B. Slika 1A prikazuje minimalno število voženj, Slika 1B pa minimalno število prevoženih razdalj. Na Sliki 1A je skupna prevožena razdalja sicer daljša od razdalje na Sliki 1B, vendar je vozilo opravilo eno vožnjo manj kot na Sliki 1B. Z zmanjšanjem ene poti so se zmanjšali tudi fiksni časi, ki so prisotni pri nalaganju blaga, po nepotrebem se ne zaseda nakladalno mesto in zmanjša se števil dokumentov, kajti pri vsakem nakladanju in pri vsaki vožnji je potrebno izdelati spremne dokumente. Izdelava dokumentacije pa je neposredno povezana z dodatnimi stroški administracije.

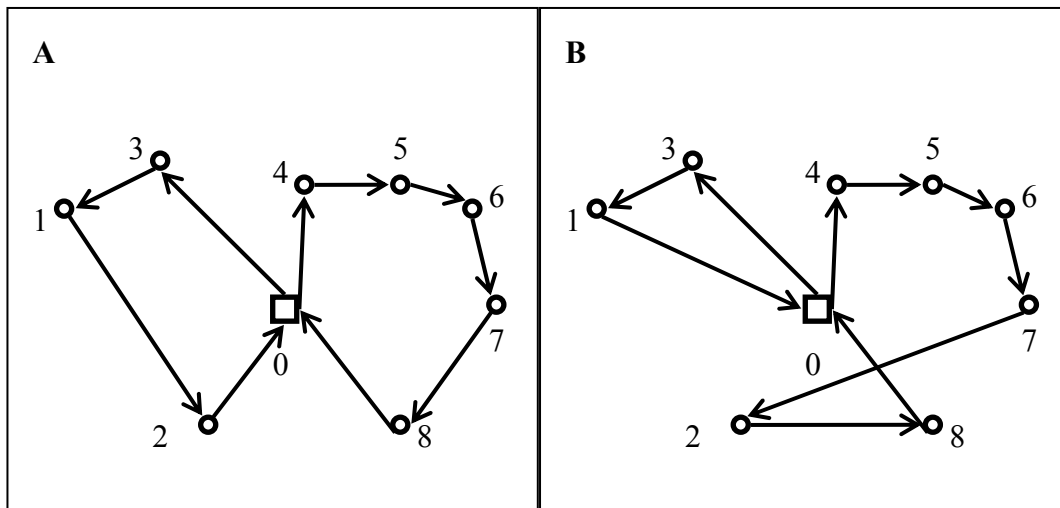
Slika 1A in 1B : Konflikt med celotno razdaljo in številom vseh voženj



### 3. Konflikt: Med celotno prevoženo razdaljo in skupnim porabljenim časom

Pri VRPTW, kjer moramo upoštevati tudi okna dostave, se lahko srečamo s situacijo, da minimalna razdalja ne predstavlja hkrati tudi minimalno potreben čas za prevoz na tej razdalji. S povečevanjem razdalje lahko pridemo do krajšega porabljenega časa ali obratno. Slika 2A prikazuje minimalno razdaljo, Slika 2B pa minimalni porabljeni čas. Vsota razdalj vseh poti na Sliki 2A je dejansko krajša od vsote razdalj na Sliki 2B, ampak je skupni porabljeni čas za poti na Sliki 2A daljši od skupnega časa porabljenega za poti na Sliki 2B. Vozilo bi mogoče zaradi zmanjšanja skupnega porabljenega časa lahko opravilo dodatno vožnjo. Tu se soočimo z eno izmed omejitev programske opreme za reševanje VRPTW: čakalni čas na odpremni coni pred pričetkom poti ni upoštevan kot strošek, čakalni čas pred opravljanjem storitve pa je. Rezultat tega je umetno zniževanje stroškov, ki jih programska oprema kalkulira, poti na način, da vozila po nepotrebnem stojijo na odpremni coni in čakajo na pričetek poti.

Slika 2A in 2B: Konflikt med prevoženo razdaljo in porabljenim časom



## 1.5 Omejitve pri reševanju VRP problemov

Pri reševanju problema planiranja vozil se srečamo z nekaterimi temeljnimi omejitvami, ki jih je potrebno upoštevati (Boomgaarden, 2007, str. 1-97):

- VRP je podan na grafu cestnega omrežja. Razdalje in časi voženj med dostavnimi mesti in med dostavnimi mesti in odpremo cono so časovno odvisni. Med dostavnimi mesti se upošteva vedno najkrajša razdalja na podlagi cestnega omrežja;
- z uporabo dodatnega vozila, z večanjem časov potrebnih za vožnjo, s skupnim večanjem porabljenega časa in z večanjem prevoženih razdalj, se večajo tudi stroški. Iz tega sledi, da iščemo globalni minimum za vse parametre;
- vsako vozilo lahko v določenem času prevozi zgolj eno pot. Pot se mora začeti in končati v odpremi coni. Vsako vozilo lahko znotraj ene poti zapusti odpremo cono samo enkrat in se prav tako lahko v njega vrne samo enkrat. Vozilo, ki nima poti, pomeni da ga ne uporabimo, in zato ne zapustiti odpreme cone;
- na razpolago imamo (v obravnavanem primeru) heterogen vozní park, s celotno kapaciteto  $Q$ . Vsako odpremo mesto  $i \in C$  ima svoje naročilo  $q_i$ . Torej je

$$\sum_{i \in C} q_i * \sum_{j \in C} x_{ij}^z \leq Q, \text{ pri čemer je } x_{ij}^z \text{ pot za posamezno vozilo;}$$

- na vsakem dostavnem mestu z naročilom moramo opraviti storitev;
- pri dostavnem mestu  $y_i$  lahko pričnemo s storitvijo samo znotraj časovnega okna  $[e_i, l_i]$  in/ali odpiralnega časa  $[E_i, L_i]$  ( $e_i \leq y_i \leq l_i \forall i \in C$ ) in ( $E_i \leq y_i \leq L_i \forall i \in C$ );

- vsako dostavno mesto po končani storitvi ( $y_i + s_i$ ) zapustimo, pri čemer je  $s_i$  čas potreben za storitev. Vozilo, ki je dostavno mesto obiskalo, jo bo tudi zapustilo.
- čas potreben za storitev ni odvisen od vrstnega reda dostavnih mest na poti in ure v dnevu (angl. *Time of Day*; čas znotraj dneva ali ura v dnevu);
- s storitvijo se lahko prične ne prej kot pred pričetkom odhoda iz odpreme cone. Vsa vozila morajo po koncu poti priti v odpremo cono, kar pa ne sme biti prej kot se opravijo storitve pri vseh dostavnih mestih na poti. In povratek v odpremo cono mora biti znotraj odpiralnega časa odpreme cone;
- storitev dostavnemu mestu  $s_{i+1}$  se ne more pričeti prej preden ni opravljena storitev pri predhodnem dostavnem mestu  $s_i$  in čas potreben za vožnjo od predhodnega dostavnega mesta  $t_{ij}(\tau_i)$ .

## 1.6 Pregled nekaterih pojmov

Nekaj osnovnih pojmov, ki se pojavljajo pri reševanju problemov planiranja vozil.

### Odprema cona

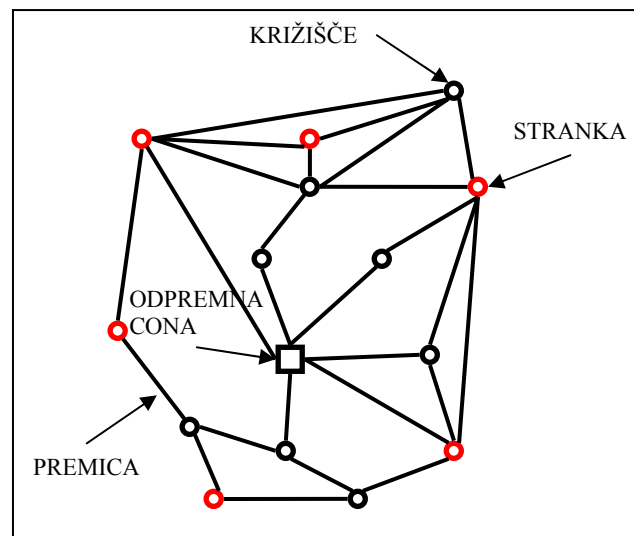
Odprema cona je začetna in končan točka vsake poti. Pot se ne more pričeti nikjer drugje kot v odpremi coni in se prav tako ne sme nikjer drugje končati. Pot se ne more pričeti pred pričetkom obratovalnega časa odpreme cone  $e_0$  in se ne sme končati po koncu obratovalnega časa odpreme cone  $l_0$  (Solomon, 1987, str. 254-265). Poenostavljeno povedano, odprema cona je nakladalno in/ali razkladalno mesto, ki je lahko skladišče ali prekladališče.

### Cestno omrežje

Boomgaarden (2007, str. 1-97) govori o cestnem omrežju kot o urejenem grafu, ki predstavlja cestno omrežje. Lokacije dostavnih mest in odpreme cone so prikazani kot vozlišča  $u \in C_0$ ,  $C_0 = C \cup \{0\}$ . Poleg dostavnih mest in odpreme cone pa so na grafu tudi ostala vozlišča (v nadaljevanju križišča)  $m \in N$ ,  $N = a, \dots, n$ , ki so nujno potrebna

za izgradnjo poti med samimi dostavnimi mest in dostavnimi mesti in odpremno cono (Boomgaarden, 2007, str. 1-97). Premice na grafu predstavljajo prostorsko kot tudi časovno komponento med dvema križišči. Premice torej predstavljajo razdalje ter čas potreben za premostitev te razdalje. Čas se izračuna s pomočjo dolžine in maksimalne možne hitrosti na tej premici. Premice so torej ceste z znano razdaljo in maksimalno hitrostjo na njih. Na Sliki 3 je predstavljen poenostavljen model cestnega omrežja.

Slika 3: Poenostavljen model cestnega omrežja

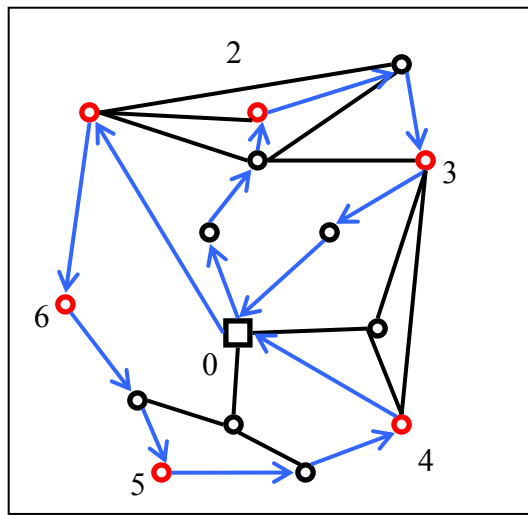


## Pot

Boomgaarden (2007, str. 1-97) je definiral pot kot  $T_z$  za vozilo  $z$  na sledeč način: to je zaporedje usmerjenih daljic  $P(m,n)$  znotraj cestnega omrežja, ki za določeno pot opišejo zaporedje poti. Pri tem pa je potrebno upoštevati tudi dejstvo, da je konec daljice hkrati začetek naslednje. Razen za začetek prve in konec zadnje daljice, ki je vedno v odpremni coni. Vsaka pot ima točno določene vožnje. Del poti so lahko samo križišča  $u \in C_0 \in N$ , pri čemer je množica  $C_0 = 0, \dots, i$ , ki jo sestavljajo dostavna mesta  $z$  naročili, ki jih je potrebno obiskati in odpremna cone. Eno pot lahko opravi samo eno v naprej točno določeno vozilo. Plan voženj predstavlja zadovoljiva rešitev, ki je bila dobljena znotraj sprejemljivega časa za reševanje VRPTW problema. Na Sliki 4 je predstavljen plan voženj  $X$ , sestavljen iz dveh poti  $T_1$  in  $T_2$ .

Vožnja  $x_{ji}^z$  vozila  $z$  je prikaz pozicij točk  $(i, j)$ , ki bosta obiskani ena za drugo z vozilom  $z$ , pri čemur sta lahko  $(i, j)$  odpremna cona ali dostavno mesto (Boomgaarden, 2007, str. 1-97). Kot je prikazano na Sliki 4, vsebuje pot 1 vožnje med križišči  $(0,1), (1,6), (6,5), (5,4), (4,0)$  in pot 2 vožnje med križišči  $(0,2), (2,3), (3,0)$ . Iz tega sledi, da sta poti  $T_1 = \{(0,1), (1,6), (6,5), (5,4), (4,0)\}$  in  $T_2 = \{(0,2), (2,3), (3,0)\}$ .

Slika 4: Plan voženj



## Vozila

Vozila po svojih karakteristikah predstavljajo omejitve pri reševanju problema planiranja vozil. Flota vozil je lahko homogena, če so vsa vozila enaka po vseh svojih karakteristikah, drugače pa govorimo o heterogeni floti vozil. Pri večini flot iz prakse pa je govora o heterogenih flotah vozil. Mehanske lastnosti (dolžina, širina, višina, hitrost) definirajo omejitve pri dostopu vozil. Torej mehanske lastnosti vozil predstavljajo omejitve katerim tipom strank lahko opravljajo storitev. Kapacitativne lastnosti vozil, ki predstavljajo maksimalne nakladalne količine, ki jih določen tip vozila sme naložiti, so prav tako povezane z mehanskimi lastnostmi vozil. Te so izražene v enotah mere, ki jih je potrebno predhodno definirati s tipom blaga, ki ga dostavljamo (npr. litri za tekočine, palete za kartonsko blago, kilogrami,...)

## **Dostavna mesta**

Vsako dostavno mesto ima zahtevo po dani količini blaga (naročilo), ki ga je potrebno dostaviti in/ali pobrati na njeni točno določeni lokaciji. Časovni interval (časovno okno) znotraj katerega je pri dostavnem mestu potrebno opraviti storitev je lahko točno določen. Časovno okno je lahko enojno nedeljeno ali pa deljeno (npr. dostava je dovoljena med 10:00 in 11:00 ter med 16:00 in 17:00 uro). Časovno okno je lahko "trdo", ko vozilo ne sme opraviti storitve izven tega časa, lahko pa pride pred pričetkom okna dostave in na pričetek časovnega okna čaka. V tem primeru optimizacijska funkcija poizkuša najti minimum med prevoženo razdaljo in čakalnim časom pred pričetkom časovnega okna storitve. Po drugi strani pa poznamo tudi "mehka" časovna okna, katerih ni potrebno striktno upoštevati, a se v tem primeru zaračunajo kazni. To pomeni, da so časovna okna dostave del optimizacijske funkcije in so del stroškovne komponente le te.

Stranke imajo lahko poleg oken dostave določene tudi odpiralne čase, ki spadajo med "trda" časovna okna in jih je potrebno striktno upoštevati.

## **Čas storitve**

Sama storitev je lahko tako pobiranje kot tudi dostava ali oboje hkrati na enem dostavnem mestu.

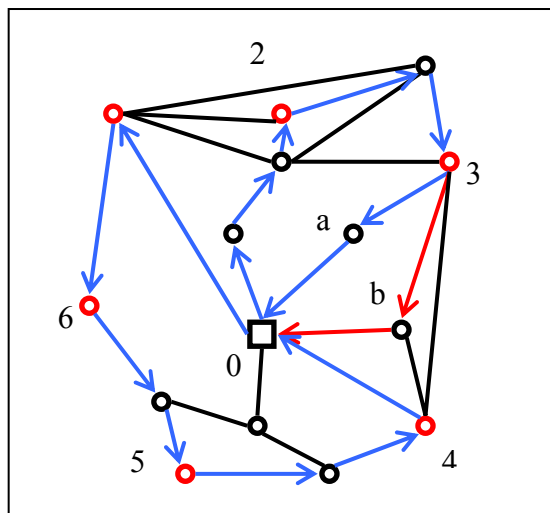
Model planiranja vozil lahko vsebuje tudi predvidevanja glede nakladalnih in razkladalnih časov pri dostavnem mestu in odpremni coni, temu pravimo čas storitve. Ta čas je odvisen od omejitev na strani dostavnega mesta (lahko se poveča variabilni normirani čas potreben za storitev na transportno enoto ali pa se stranki enostavno doda fiksni dodatni čas potreben za storitev), naročene količine blaga (variabilni čas se lahko veže na količino naročenega blaga, npr. 3 minute na transportno enoto) in birokracije, ki je potrebna (fiksni čas se veže npr. na število dokumentov). Vsi ti časi so potrebni za izračun časa, ki je potreben od prihoda k dostavnemu mestu do odhoda.



## Čas vožnje

Poti so (Boomgaarden, 2007, str. 1-97) osnova za določitev časa  $y_i$  pri katerem se bo pričela storitev dostavnega mesta  $i$  in za izračun časa vožnje  $t_{ij}(\tau_{ij})$  od dostavnega mesta  $i$  k dostavnemu mestu  $j$ . Čas  $y_i$  je v odvisnosti od  $\tau_{ij} \equiv$  časa znotraj dneva (angl. *Time of the Day*), prevožene razdalje  $d_{ij}$  in hitrosti  $v_{ij}$  na posameznih daljicah med dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ .

Slika 5: Prikaz alternativne poti



Ker je  $t_{ij}(\tau_{ij})$  odvisen od časa znotraj dneva, lahko pride do tega, da je, kot je prikazano na Sliki 5, bolje izbrati alternativno pot med dostavnim mestom in odpremo (3,0) in sicer pot (3,b),(b,0) kot pot (3,a),(a,0), ker je le ta hitrejša. Ker pa zaradi takšnih alternativnih poti lahko pride do problemov, se je uvedel FIFO princip za VRP.

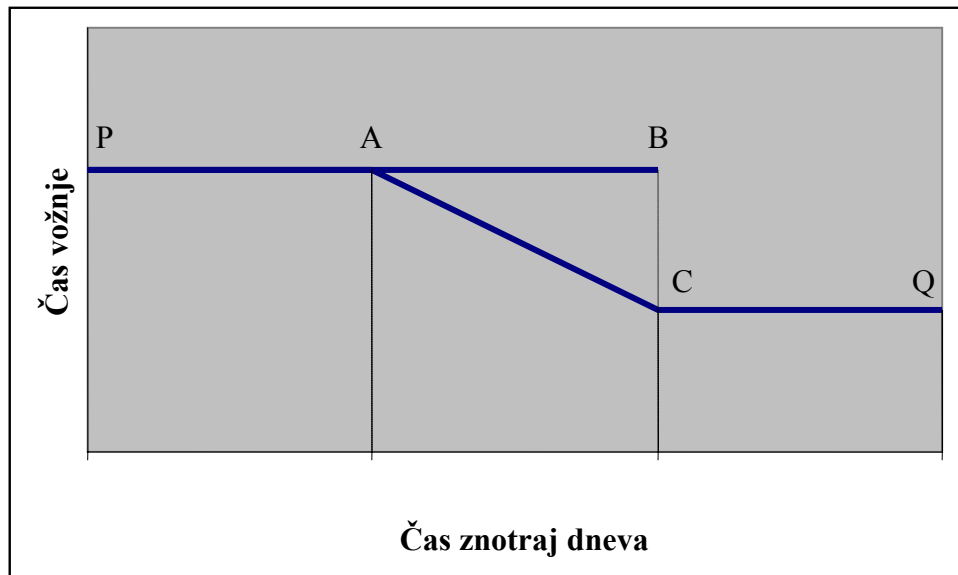
### FIFO princip za VRP in VRPTW

Prihod na križišče  $n$ , ki se nahaja na vožnji od križišča  $m$  v času  $\tau$ , se zapiše kot prihod  $ft_{mn}(\tau_r)$ . FIFO princip pravi, da iz poljubne daljice  $P(m,n)$  cestnega omrežja velja  $\tau_1 < \tau_2 \Rightarrow ft_{mn}(\tau_1) < ft_{mn}(\tau_2)$ . To pomeni, da se vedno zagotovi, da je zgodnejši odhod iz ( $m$ ) tudi zgodnejši prihod v ( $n$ ) (Boomgaarden, 2007, str. 1-97).

FIFO princip (Gietz, 1994, str. 154-168) pomeni, da prehitevanje za vse daljice  $P(m,n)$  znotraj cestnega omrežja ni dovoljeno.

Zato se največkrat uporablja, kot je prikazano na Sliki 6, namesto nezvezne funkcije  $P-B, C-Q$ , rajši zvezna funkcija  $P-A-C-Q$  (Malandraki & Daskin, 1992, str. 185-200).

Slika 6: Grafični prikaz časovne odvisnosti in časa znotraj dneva



## 1.7 Problem planiranja vozil z oknom dostave - VRPTW

Osnovni problem planiranja vozil z oknom dostave (VRPTW) je definiriral Solomon (1983, str. 42), v svojem kasnejšem delu je to samo še dopolnil in modificiral (Solomon, 1987, str. 254-265). V tem delu (Solomon, 1987, str. 254-265) je poleg definicije in pogojev predstavil tudi modificirane heuristike za reševanje VRPTW problemov, katere so postale temelj večine nadaljnjih raziskav na tem področju. Vse nadaljnje heuristike, razen svetlih izjem, so dejansko izpeljane iz njegovih modificiranih heuristik in zato so v nadaljevanju kot temelj reševanja VRPTW problemov predstavljene njegove modificirane heuristike.

Če želimo prikazati problem planiranja vozil z oknom dostave (VRPTW), moramo najprej pogledati osnove problema planiranja vozil (VRP).

Problem planiranja vozil (VRP) je po definiciji (Bodin in ostali, 1983, str. 69-211) minimiziranje stroškov vozil potrebnih za dostavo vsega naročenega blaga.

Za reševanje tega problema pa so si postavili naslednje omejitve (Bodin in ostali, 1983, str. 69-211):

- vozila pričnejo in končajo svoje poti v odpremni coni  $\{0\}$ ;
- na razpolago imamo omejeno število homogenih vozil  $Z$ ;
- na vsakem dostavnem mestu  $C$  z naročilom je potrebno opraviti storitev;
- vsako dostavno mesto je lahko obiskano zgolj enkrat;
- vsa dostavna mesta morajo biti dodeljene vozilom pri tem pa ne smejo preseči maksimalne kapacitete vozil  $Q$ .

Pri problemu planiranja VRPTW pa se kompleksnost poveča še za časovno komponento omejitve okna dostave. Ta omejitev temelji na dejstvu, da se pri dejanskem planiranju srečujemo z zahtevami določenih dostavnih mest po dostavi samo znotraj določenega časovnega okna znotraj delovnega dne. Te omejitve so lahko podane kot ena ali obe izmed omejitev:

- najzgodnejši možen pričetek storitve  $e_i$  za dostavno mesto  $i$ ;
- najkasnejši možen pričetek storitve  $l_0$  za dostavno mesto  $i$ .

Torej pri reševanju VRPTW na končno ceno ne vpliva zgolj vsota vseh prevoženih razdalj in vsota celotnega časa plana  $X$ , ampak vplivajo tudi stroški čakanja pri strankah na pričetek storitve. Stroški čakanja pri dostavnem mestu  $i$  na pričetek storitve nastanejo v primeru, ko vozilo prispe k dostavnemu mestu pred najzgodnejšim možnim pričetkom storitve, se pravi pred časom  $e_i$ .

Celotni sistem VRPTW temelji na resničnih problemih zato enostaven model VRP (Schrage, 1981, str. 229-232, Bodin in ostali, 1983, str. 69-211) in heuristike za reševanje VRP problemov niso bile zadostne in so se morale dodatne omejitve oken dostave upoštevati ročno.

Ker je VRP problem že v osnovi NP-težak problem, je zato tudi VRPTW NP-težak problem. Ker pa je Savelsbergh (1985, str. 285-305) v svojem delu dokazal, da je najti ustrezno rešitev VRPTW ko je število vozil omejeno (zelo majhno število vozil) v osnovi NP-končen problem, se je Solomonu (1983, str. 42) zdelo smiselno in nujno poiskati heuristik tudi za VRPTW probleme.

## 1.8 Hevristike za VRPTW

Hevristični pristop predstavlja izkoriščanje izkušenj, intuicije in lastne ocene med samim reševanjem nekega problema. Za razliko od eksaktnih metod, hevristične metode ne predstavljajo znanja o strukturi ali odnosih znotraj modela problema, ki ga rešujemo. Hevristične metode namreč predstavljajo pravila izbire, ločevanja in zavračanja rešitev, ki služijo za zmanjševanje števila iteracij znotraj reševanja problema.

Algoritmi za gradnjo poti se lahko (Solomon, 1987, str. 254-265) delijo na sekvenčne in paralelne metode. Sekvenčne metode gradijo posamezne poti toliko časa dokler vsa dostavna mesta niso dodeljene na poti ali izdelamo plan voženj do vseh dostavnih mest. Paralelne metode pa gradijo veliko število poti hkrati in vzporedno. Pri čemer je število vzporednih poti predhodno definirano in omejeno ali poljubno. Če vzamemo kot osnovo Savelsbergherja (1985, str. 285-305) in njegove izračune, se pri vzporedni gradnji poti raje ne omejujemo s številom poti.

Omejitve in definicije neznank, ki jih bomo uporabili pri prikazu hevristik za reševanje VRPTW so (Solomon, 1987, str. 254-265):

- homogen vozni park;
- kot  $s_i$  je definiran čas trajanja storitve pri dostavnem mestu  $i$ ;
- $b_i$  najzgodnejši možen pričetek storitve, torej pričetek okna dostave;
- $l_i$  najkasnejši možen pričetek storitve, torej konec okna dostave;
- $b_j = \{e_j, b_i + s_i + t_{ij}\}$  je čakalni čas pri dostavnem mestu  $j$ , če vozilo potuje od dostavnega mesta  $i$  direktno k dostavnemu mestu  $j$  in pride k dostavnemu mestu  $j$  pred časom  $b_i$ ;
- $t_{ij}$  čas vožnje med dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ ;
- $c_{ij} = \zeta_1 d_{ij} + \zeta_2 (b_j - b_i), \zeta_1 \geq 0, \zeta_2 \geq 0$  je strošek direktne vožnje od dostavnega mesta  $i$  k dostavnemu mestu  $j$ ;
- $d_{ij}$  je direktna razdalja med dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ ;
- izbira vozil je naključna in prosta;
- odpremna cona je  $v_0 = (0,0)$ ;

- $e_0$  najzgodnejši možen čas odhoda vozil, pričetek obratovalnega časa odpreme cone;
- $l_0$  najkasnejši možen povatek vozil v depo, konec obratovalnega časa odpreme cone.

Iz zgornjih omejitev lahko razberemo naslednji dejstvi in sicer:

- $b_i, i = 1, \dots, n$  je tisti dejavnik, ki pogojuje stroške;
- čas odhoda vozil iz odpreme cone je ključnega pomena in je tista spremenljivka, ki prav tako direktno vpliva na izračun stroškov (to pomeni, če vozilo čaka na pričetek vožnje raje v depolu kot pri dostavnem mestu, to ne vpliva na sam izračun stroškov; čakalni čas v odpremi coni se obravnava kot da ni strošek v resnici to ni res, kajti tudi v tem času nastajajo stroški).

V nadaljevanju bodo opisane heuristike za VRPTW, zato je potrebno pogledati kako vključiti okno dostave v heuristike. Solomon (1987, str. 254-265) je to storil na sledeč način. Najprej je pogledal potrebne in zadostne pogoje za časovno upravičenost pri vstavljanju dostavnega mesta  $u$  med dostavni mesti  $i_{p-1}$  in  $i_p, p = 1, \dots, m$ , na delno zgrajeno pot  $(i_0, i_1, \dots, i_m), i_0 = i_m = 0$  za katere je pričetek storitve  $b_{i_r}, 0 \leq r \leq m$  znan. Predpostavil je, da vsa vozila zapustijo odpremo cono ob času  $e_0$ , torej ob najzgodnejšem možnem času. Po izgradnji poti je za vsako pot posebej pogledal ali lahko čas odhoda iz odpreme cone premakne na kasnejšega in se je s tem rešil nepotrebnega čakanja pri dostavnem mestu in seveda tudi stroškov, ki so s tem čakanjem povezani. Pomeni, da je nato nov pričetek storitve  $b_{i_p}^{nov}, p = 1, \dots, m$  pri dostavnem mestu  $i_p, p = 1, \dots, m$ , če na pot vstavimo dostavno mesto  $u$ . Prav tako je definiral  $w_i$  čakalni čas pri dostavnem mestu  $i_r, p \leq r \leq m$  in po predpostavki, da velja neenačba tako za razdaljo kot za čas, to vstavljanje dostavnega mesta na poti definira premikanje naprej razporeda pri dostavnem mestu  $i_p : PF_{i_p} = b_{i_p}^{nov} - b_{i_p} \geq 0$ , razen tega pa še  $PF_{i_p} = \max\{0, PF_{i_r} - w_{i_{r+1}}\}, p \leq r \leq m-1$ , če je  $PF_{i_p} > 0$ . Zaradi tega pri dostavnem mestu  $i_r, p \leq r \leq m$  ni mogoče izvesti storitve znotraj njenega okna dostave. Zaradi tega je moral pregledati vsa časovno neizvedljiva dostavna mesta posamično, dokler ni našel dostavnega mesta  $i_r$  znotraj  $r < m$ , za katerega je  $PF_{i_r} = 0$  ali je  $i_r$

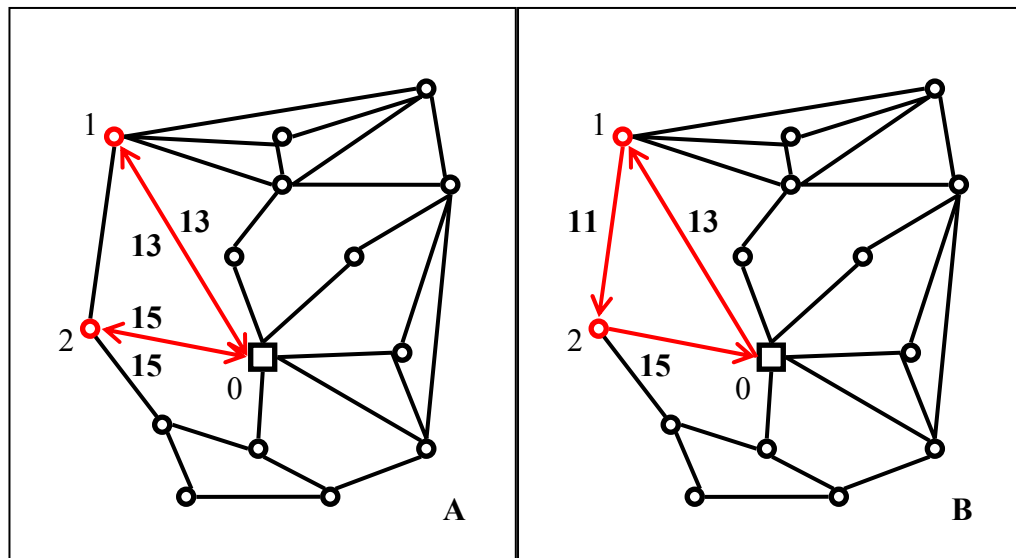
časovno neizvedljiv. V najslabšem primeru je moral pregledati čisto vsa dostavna mesta  $i_r, p \leq r \leq m$ , na tem mestu Solomon (1987, str. 254-265) definira novo spremenljivko Lemma 1.1.

Lemma 1.1 (Solomon, 1987, str. 254-265) je potrebni in zadostni pogoj za časovno izvedljiva dostavna mesta, med algoritmom vstavljena dostavna mesta  $u$  na obstoječo pot  $(i_0, i_1, \dots, i_m), i_0 = i_m = 0$  pri tem je  $b_u \leq l_u$  in  $b_{i_r} + PF_{i_r} \leq l_{i_r}, p \leq r \leq m$ . Iz tega sledi, če predpostavimo neevklidično potovalno razdaljo in čas je lahko  $PF_{i_p} < 0$ , kar pomeni da so vsa dostavna mesta časovno izvedljive (op. pri dostavnih mestih lahko opravimo storitev znotraj dovoljenega okna dostave dostavnega mesta). Prav tako pa s pogojem  $i_m = 0$  preprečimo vozilom povratek v odpremno cono po koncu delovnega časa.

### **Saving hevrstika (modificirana)**

Je paralelna metoda gradnje poti (Solomon, 1987, str. 254-265). Metoda se prične z  $n$  vožnjami do posameznih dostavnih mest  $i \in C$ , pri čemer vsako dostavno mesto postreže svoje vozilo. To pomeni, da so vožnje  $T_i = \{(0, i), (i, 0)\}$ . Nato se izračunajo prihranki za vse dvojice dostavnih mest  $i, j \in C$  in sicer  $sav_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - \mu * d_{ij}, \mu \geq 0$ . Na primer, če vzamemo  $\mu = 1$ , potem predstavlja  $sav_{ij}$  prihranek v razdalji, če obiščemo dostavni mesti  $i$  in  $j$  na eni poti v primerjavi, če ju obiščemo posamično na direktnih poteh.

Slika 7A in 7B: Prikaz saving hevristike



Na Sliki 7A in 7B je prikazana saving hevristika:

- na Sliki 7A je prikazana direktna dostava dostavnim mestom 1 in 2 iz odpreme cone 0. Razdalja, ki jo prevozimo je  $T_1 = d_{01} + d_{10} = 13 + 13 = 26$  in  $T_2 = d_{02} + d_{20} = 15 + 15 = 30$  skupna razdalja obeh poti je  $T = T_1 + T_2 = 26 + 30 = 56$ ;
- na Sliki 7B pa je prikazana pot, ki jo opravimo, če obe dostavni mesti dostavimo na eni poti. Razdalja, ki jo prevozimo je  $T = d_{01} + d_{12} + d_{20} = 13 + 11 + 15 = 39$ .

Prihranek, ki smo ga pri tem ustvarili pa je  $sav_{12} = d_{01} + d_{20} - d_{12} = 13 + 15 - 11 = 17$ .

Vsi možni prihranki, ki bi se lahko ustvarili med posameznimi dostavnimi mesti se shranjujejo v padajočem vrstnem redu v listo z namenom, da sta vedno na prvem mestu dostavna mesta z največjimi prihranki. Ko se odločimo, da bi neki dostavni mesti  $i$  in  $j$ ;  $i, j \in C$  dodelili na isto pot, je potrebno še preveriti kapaciteto vozila ter časovno okno dostave in, če tudi pri teh dveh pogojih ne pride do kršitev, smo dobili dostavni mesti, ki sta na isti poti. Poleg omenjenih dveh parametrov je potrebno pogledati tudi relativno časovno bližino dostavnih mest, to pomeni, če dostavni mesti nista relativno časovno blizu, lahko pride do čakanja pri enem od dostavnih mest na pričetek storitve. Čakanje pri enem od dostavnih mest pa ima za posledico oportunitetne stroške, ki nastanejo pri tem, ker bi vozilo namesto da čaka na pričetek storitve, lahko opravilo storitev pri katerem drugem dostavnem mestu. Zaradi tega problema je Solomon (1987, str. 254-265) predlagal, da se čakalni čas pri združevanju dveh dostavnih mest omeji na

sledeč način:  $w_j^{nov}$  je definiran kot čakalni čas pri dostavnem mestu  $j$  pod pogojem, da se dostavni mesti  $i$  in  $j$ ;  $i, j \in C$  združita na isto pot.  $W$  je predhodno definiral kot parameter za maksimalni dopustni čakalni čas pri dostavnem mestu. Iz tega sledi, če je  $w_j^{nov} > W$  potem se dostavno mesto  $j$  ne uporabi za združevanje na pot s stranko  $i$ ;  $i, j \in C$ .

### Nearest neighbour heuristika

Heuristika najbližjega soseda (angl. Nearest neighbour ali krajše NN heuristika), ki jo je predstavil Solomon (1987, str. 254-265) je tako imenovana sekvenčna metoda gradnje poti. NN heuristika prične gradnjo poti z iskanjem najbližjega (po metriki) dostavnega mesta  $i, i \in C$  od odpreme cone. V vsaki naslednji sekvenčni iteraciji heuristika poišče dostavno mesto  $j, j \in D, D \in C$ , ki je najbližje predhodnemu dostavnemu mestu  $i$ , ki je bilo dodano na pot. To iskanje dostavnega mesta  $j$  se opravi med dostavnimi mesti  $D$ , ki ne bodo kršila omejitev (časovnih oken dostave, časa povratka vozila v depo in omejitve kapacitete vozila), če bi jih dodali na konec poti. Nova pot se prične graditi vsakič, ko iskanje ne najde dostavnega mesta  $j, j \in \emptyset$ , ki ne bo kršilo omejitev ampak samo toliko časa dokler ne izdelamo plana voženj do vseh dostavnih mest  $C = \emptyset$ . Metrika za najbližje dostavno mesto je teko sestavljena iz razdalje kot tudi iz časovne komponente.

NN heuristika deluje po naslednjem principu. Naj bo zadnje dostavno mesto na poti  $i, i \in C$  in dostavno mesto  $j, j \in D, D \in C$  naj bo dostavno mesto, ki bi lahko bilo naslednje. Solomon (1987, str. 254-265) je metrika  $c_{ij}$  za najbližje dostavno mesto definiral kot:

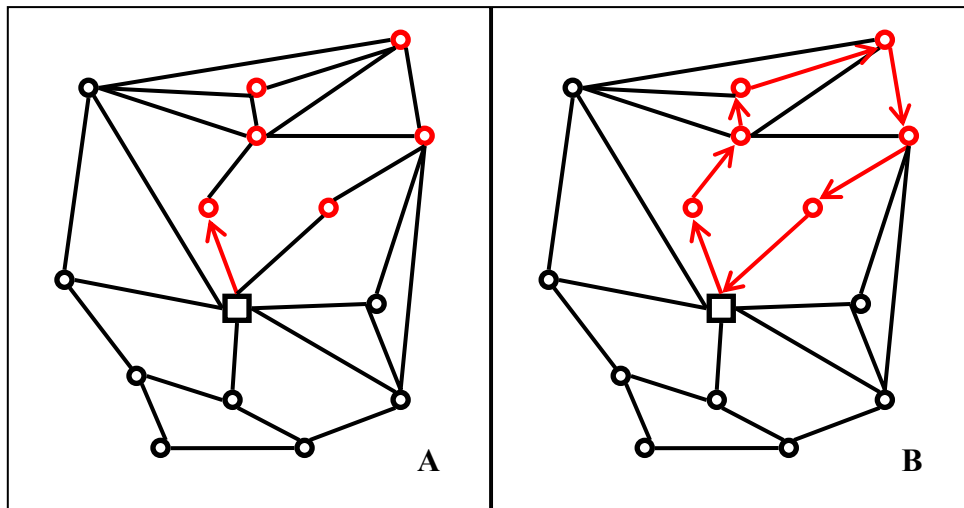
- $T_{ij} = b_j - (b_i + s_i)$ ;
- $v_{ij} = l_j - (b_i + s_i + t_{ij})$ ;
- $c_{ij} = \delta_1 d_{ij} + \delta_2 T_{ij} + \delta_3 v_{ij}$ ;
- $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1, \delta_1 \geq 0, \delta_2 \geq 0, \delta_3 \geq 0$  je definiran s težnostno zadovoljivostjo.



Spremenljivke pa so (Solomon 1987, str. 254-265):

- $d_{ij}$  je razdalja med dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ ;
- $T_{ij}$  je časovni razmik med končanjem storitve pri dostavnem mestu  $i$  in pričetkom storitve pri dostavnem mestu  $j$ ;
- $v_{ij}$  je nujnost dostave pri dostavnem mestu  $j$  in predstavlja čas, ki nam še ostane do konca časovnega okna dostavnega mesta;
- $s_i$  je čas storitve pri dostavnem mestu  $i$ ;
- $t_{ij}$  je čas vožnje med dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ ;
- časovno okno dostave je definirano kot:
  - $e_j$  je najzgodnejši čas ko nam dostavno mesto  $j$  dovoli pričetek storitve;
  - $l_j$  je zadnji čas ko nam dostavno mesto  $j$  še dovoli storitev;
- $b_j$  je čakalni čas pri dostavnem mestu  $j$  pred pričetkom storitve:  $b_j = \max \{e_j, b_i + s_i + t_{ij}\}$ .

Slika 8A in 8B: Prikaz nearest neighbour hevristike



Na Sliki 8A so prikazana dostavna mesta, ki si jih je hevristika izbrala kot dostavna mesta, ki bi jih bilo mogoče vstaviti na novo nastajajočo pot. Na Sliki 8B pa je prikazan vrstni red storitev pri dostavnih mestih in ceste po katerih je potrebno peljati na novi poti.

## Insertion heuristika

Tudi to metodo je predlagal v svojem delu Solomon (1987, str. 254-265). Za primer, ki ga je obdelal v svojem delu se je insertion heuristika izkazala kot heuristika z najboljšimi rezultati. Ta metoda vstavljanja ali dodajanja nerazporejenih dostavnih mest z naročilom (angl. *Unrouted*; dostavna mesta, ki še niso dodeljene na nobeno pot) je pogojena tako z razdaljo kot tudi časovnim kriterijem. Heuristika gradi poti na sekvenčnem načinu s pomočjo enega od kriterijev.

Po pričetku izgradnje nove poti Solomon (1987, str. 254-265) insertion heuristika uporabi enega od dveh kriterijev  $c_1(i, u, j)$  in  $c_2(i, u, j)$  pri vsakem vstavljanju novega dostavnega mesta  $u$  na delno pot med dvema že obstoječima dostavnima mestoma  $i$  in  $j$ . Naj bo  $(i_0, i_1, i_2, \dots, i_m)$  trenutna pot z  $i_0 = i_m = 0$ . Za vsako nerazporejeno dostavno mesto najprej izračuna najprimernejše mesto vstavljanja na novo nastajajočo pot s pomočjo  $c_1(i(u), u, j(j)) = \min [c_1(i_{p-1}, u, i_p)]$ ,  $p = 1, \dots, m$ . Iz tega je razvidno, da bi vstavljanje dostavnega mesta  $u$  med dostavni mesti  $i_{p-1}$  in  $i_p$  morebiti lahko prekršila vse čase pričetkov storitev pri dostavnih mestih  $(i_p, \dots, i_m)$ . Zato je Solomon (1987, str. 254-265) moral za vsa dostavna mesta, ki so že na poti, preveriti ali z vstavljanjem novega dostavnega mesta  $u$  morebiti ne kršijo omejitev časov dostave. Nato se izmed vseh dostavnih mest, ki ustrezajo pogojem vstavljanja izbere najboljše na način:

$$c_2(i(u^*), u^*, j(u^*)) = \text{OPTIMUM} [c_2(i(u), u, j(u))], u \equiv \text{nerazporejeno dostavno mesto in storitev pri njem je mogoča.}$$

Nato je dostavno mesto  $u^*$  vstavljeno na pot med dostavni mesti  $i(u^*)$  in  $j(u^*)$ . Ko metoda ne najde nobenega primernegega dostavnega mesta za vstavljanje prične z gradnjo nove poti, razen v primeru, ko je plan poti za vsa dostavna mesta že izdelan.

Po definiranju osnovne heuristike je Solomon (1987, str. 254-265) predlagal tri specifične pristope, ki temeljijo na osnovni insertion heuristikii:

- $c_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij}, \mu \geq 0$
- $c_{12}(i, u, j) = b_{ju} - b_j$

Pri čemer je:

- $b_{ju}$  je nov čas, ko se bo pričela storitev pri dostavnem mestu  $j$  s predpostavko, da smo dostavno mesto  $u$  vstavili na pot;

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j), \alpha_1 + \alpha_2 = 1; \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0$$

$$c_2(i, u, j) = \lambda d_{0u} - c_1(i, u, j), \lambda \geq 0$$

Takšna insertion heuristika poizkuša maksimalno povečati koristi, ki so vodene z dejstvom, da bi storitev pri dostavnem mestu rajši opravili z obstoječo potjo kot z novo, direktno.

Nato si je kot primer vzel za  $\mu = \alpha_1 = \lambda = 1$  in  $\alpha_2 = 0$ , potem je  $c_2(i, u, j)$  prihranek na razdalji, če opravi storitev pri dostavnem mestu  $u$  na isti poti z dostavnima mestoma  $i$  in  $j$  v primerjavi z direktno potjo k dostavnemu mestu  $u$ .

Najboljše mesto za vstavitvev dostavnega mesta je tisto, ki je minimum obtežene kombinacije delne razdalje in delnega časa. Iz tega sledi, da je to tisto mesto, ki je minimum dodatne razdalje in dodatnega časa za obisk dostavnega mesta.

- drugi tip insertion heuristike, ki jo je predlagal, želi izbrati dostavno mesto katerega vstavitveni stroški so minimum celotne razdalje in celotnega časa poti.

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j), \alpha_1 + \alpha_2 = 1; \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0$$

$$c_2(i, u, j) = \beta_1 R_d(u) + \beta_2 R_t(u), \beta_1 + \beta_2 = 1, \beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0$$

Pri čemer sta:

- $R_d(u)$  je celotna razdalja poti, če se na pot vstavi dostavno mesto  $u$ ;
- $R_t(u)$  je celotni čas poti, če se na pot vstavi dostavno mesto  $u$ ;

- pri tem tipu pa se kot kriterij za vstavljanje uporabi nujnost storitve pri dostavnem mestu.

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j), \alpha_1 + \alpha_2 = 1; \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0$$

$$c_2(i, u, j) = \lambda d_{0u} - c_1(i, u, j), \lambda \geq 0$$

$$c_{13}(i, u, j) = l_u - b_u$$

$$c_1(i, u, j) = \alpha_1 c_{11}(i, u, j) + \alpha_2 c_{12}(i, u, j) + \alpha_3 c_{13}(i, u, j); \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1, \alpha_1 \geq 0, \alpha_2 \geq 0, \alpha_3 \geq 0$$

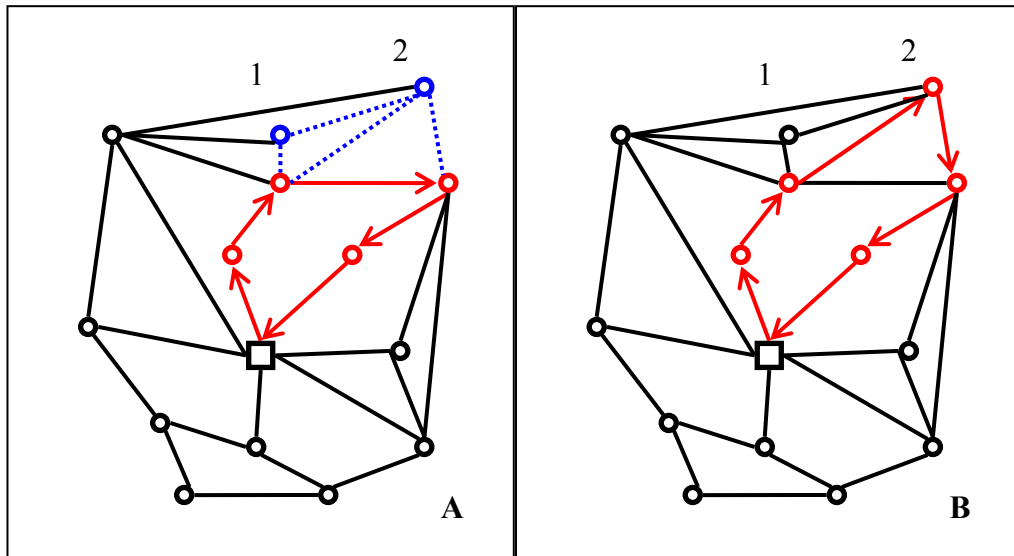
$$c_2(i, u, j) = c_1(i, u, j)$$

Pri čemur sta:

- $b_u$  je čakalni čas pri dostavnem mestu  $u$ ;

- $l_u$  je zadnji še možen čas storitve pri dostavnem mestu  $u$ .

Slika 9A in 9B: Prikaz insertion hevrstike

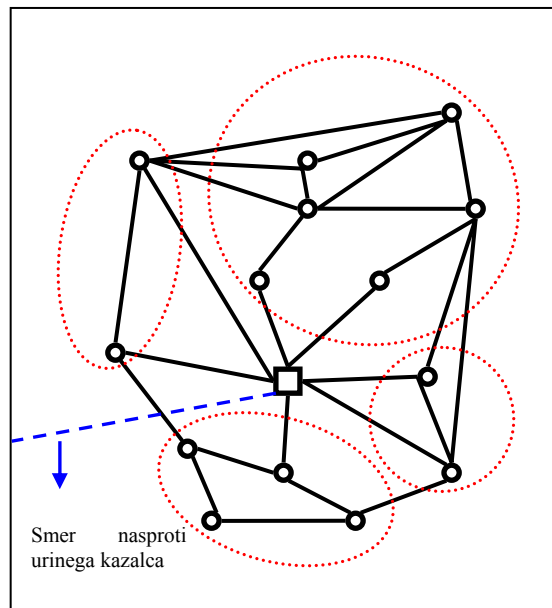


Na Sliki 9A je prikazano kako se insertion hevrstika odloča med dvema dostavnima mestoma 1 in 2 katerega bi vstavilo na pot. Na Sliki 9B pa je razvidno, da se je hevrstika odločila za dostavno mesto 2, ker le to izkazalo za primernejše od dostavnega mesta 1.

### Sweep hevrstika

V svojem delu je Solomon (1987, str. 254-265) dopolnil Gillettovo in Millerjevo (1974, str. 340–349) sweep hevrstiko.

Slika 10: Prikaz grupiranja ali grozdenja pri sweep hevristici



Po izločitvi že planiranih dostavnih mest (dostavna mesta z izdelanim planom poti) iz nadaljnje obdelave, se ponovi proces planiranja v grućah ali grozdih (angl. cluster). Za ohranitev geografske povezanosti bi morda lahko upoštevali drugaćen kriterij izbire za naslednjo grućo je (Solomon, 1987, str. 254-265) uporabil enostavno pravilo, ki prereže obravnavani sektor in doloći kot izhodišće za novo grućo tisto nerazporejeno dostavno mesto z naroćilom, pri katerem je kot linije med izhodišćem in tem dostavnim mestom ter linije, ki razpolavlja sektor, najmanjše. Osnova razdeljevanja nerazporejenih dostavnih mest v sektorju na dva razdelka je, da so dostavna mesta v polsektorju, ki je orientiran v smeri urinega kazalca relativno bolj oddaljene od nove gruće. Z dodajanjem teh dostavnih mest v kasnejši fazi je (Solomon, 1987, str. 254-265) upal, da bo izdelal boljše plan oskrbe. Nato se proces ponavlja vse dokler ni izdelan plan poti za vsa dostavna mesta.

Enostavneje povedano, dostavna mesta se grupirajo ali zgrozdijo po enem izmed izbranih kriterijev (npr. razdalja ali kapaciteta vozila) kot je prikazano na Sliki 10, nato pa se znotraj gruće ali grozda izdelata plan poti z eno izmed znanih hevristik.

## 1.9 Novejše hevristike za VRPTW

Ker so se običajne hevrstike izkazale za ne dovolj dobre in zaradi vedno bolj sodobnih in zmogljivejših računalnikov, so se v kasnejših letih razvile novejšhe hevrstike in metahevrstike.

### **Multiple ant colony system (MACS)**

MACS bazira na sistemu mravljišča (angl. *Ant Colony System* ali krajše ACS) (Dorigo, Maniezzo & Colorini, 1996, str. 29-41 in Gambardella & Dorigo, 1997a, str. 53-66 in 1997b, str. 73-81) in bolj splošnem optimiziranju mravljišča (angl. *Ant Colony Optimization* ali krajše ACO) in je nova metahevrstika, katere pristop je bil navdihnjen s preučevanjem resničnih kolonij mravelj. Osnovna ACO ideja (Gambardella, Taillard & Agazzi, 1999, str. 63-76 in Dorigo, Di Caro & Gambardella, 1999, str. 137-172) je, da je veliko število agentov v stanju najti dobro rešitev za težek kombinatorni problem z nizko stopnjo komunikacije.

Mravlje sodelujejo pri iskanju hrane z deponiranjem kemičnih snovi (feromonov<sup>8</sup>) na tleh. Načelo nastanka poti od mravljišča do vira hrane, kar je bila osnova za MACS metahevrstiko, je prikazan na Sliki 11.

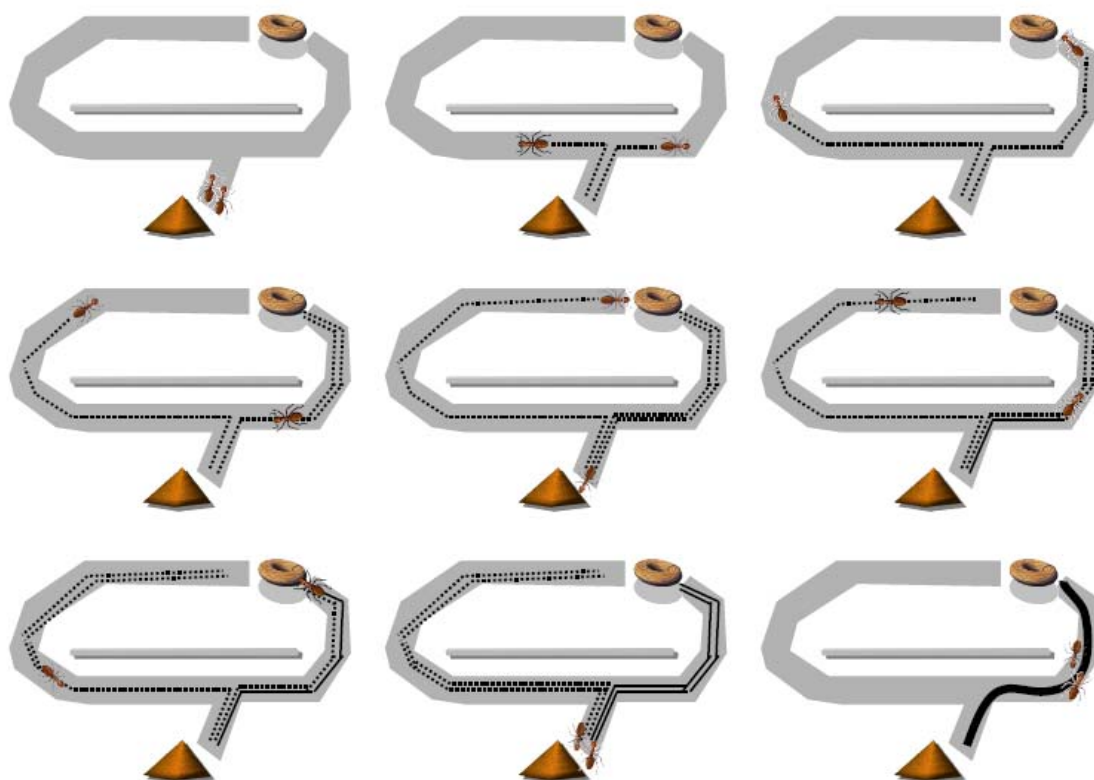
Umetna kolonija simulira to vedenje in sodeluje z uporabo skupnega spomina, ki ustreza feromonski sledi na tleh pri pravih mravljah. Ta umetni feromon je najpomembnejša komponenta pri ACO in se uporablja za gradnjo novih rešitev.

Osnovna ideja ACO je v uporabi pozitivne povratne informacije za okrepitev tistih delov, ki prispevajo k dobri rešitvi, medtem ko se zavržejo tisti, ki bi prispevali k slabim rešitvam in sicer z možnostjo za začasno shranjevanje teh podatkov, tako da bodo le ti lokalno dostopni vsem agentom.

---

<sup>8</sup> Feromon (od grške φέρω phero "nosi" + "ορμόνη" "hormon") je kemični signal, ki sproži naravni nagon v drugem članu iste vrste. Feromoni so učinkoviti v izredno nizkih koncentracijah in vplivajo prek organov za vonj in okus. Obstajajo alarmni feromoni, slednilni feromoni, feromoni spolnosti, in številni drugi, ki vplivajo na vedenje in fiziologijo (Wikipedia The Free Encyclopedia).

Slika 11: Prikaz nastanka poti od mravljišča do vira hrane



Vir: Boomgaarden, 2007, str. 74

Pri problemu planiranja vozil se ta metahevrstika lahko uporablja na način, da veliko število agentov preizkuša veliko količino možnih kombinacij poti. Z izmenjevanjem informacij o dobljenih rešitvah se lahko uporabijo tiste rešitve, ki prispevajo k dobri rešitvi. To metahevrstiko lahko razširimo do te stopnje, da bi se kratkotrajno shranjevanje možnih rešitev razširilo na spremljanje le teh skozi daljše obdobje.

### Tabu search hevrstika

Tabu iskalna (angl. *Tabu search*) hevrstika (Duncan, 1995, str. 1-13) shranjuje podatke o najboljših najdenih rešitvah. Pri preučevanju okolice rešitve tabu hevrstika oceni vse premike v listi kandidatov. Število preučeni kandidatov je eden izmed parametrov iskanja rešitve. Najboljši premik kandidata je sprejet razen, če je bil isti ali obratni premik storjen nedavno. V tem primeru je ta premik "tabu". Kljub temu, da je tak premik "tabu", se ga lahko sprejme, če le ta pripelje do najboljše znane rešitve do tega trenutka. Tabu hevrstika predstavi diverzifikacijo, ko na voljo ni več premikov, ki bi prinesli izboljšanje rešitve. Hevrstika v takšni situaciji skuša pogosto uporabljene

premike preprečiti, premike z velikim vplivom pa spodbujati. Premiki z velikim vplivom so tisti, ki so sposobni prikazati velike strukturne razlike pri končni rešitvi.

Ta metahevrstika se je pri reševanju problemov planiranja vozil pričela uporabljati z večjo dostopnostjo zmogljivih računalnikov. Kajti potrebno je preizkusiti zelo veliko količino možnih rešitev in si rezultate kratkotrajno shraniti v padajočo tabelo. V padajoči tabeli so najboljše rešitve vedno na vrhu in se jih uporabi kot najboljše rešitve.

### **Generični algoritem**

Generični algoritem (Duncan, 1995, str. 1-13) temelji na analogiji z biološko evolucijo. Populacija kromosomov<sup>9</sup> (t.j. vlakna predstavljajo možne rešitve) je vzdrževana. Novi kromosomi pa se ustvarjajo s kombinacijo članov populacije, ki nato nadomestijo že obstoječe kromosome. Verjetnost, da bo kromosom vključen v ta proces je odvisna od njegove sposobnosti. To predstavlja evolucijsko komponento algoritma. Generični algoritem izvršuje določen tip sosedskega iskanja, ki ga uporabljajo operaterji kromosomov za izdelavo novih.

Nekaj izmed operaterjev za zamenjavo kromosomov so:

- zamenjava (angl. crossover);
- mutacija (angl. mutation);
- inkrementalna proti generacijska zamenjava; vprašanje, ki se postavlja je ali bodo novi kromosomi zamenjali stare na enkrat ali postopoma vsakega posebej;
- elitizem; najboljši kromosom vedno postane del nove generacije;
- razvrščanje; različni načini povezovanja sposobnosti z evolucijsko funkcijo.

Pri problemu planiranja vozil se ta metahevrstika uporablja z namenom, da se slabše rešitve za določen problem planiranja vozil zamenjajo z boljšim. Sama metahevrstika za reševanje problema uporablja eno izmed hevrstik, ki so že bile opisane v prejšnjih poglavjih. Posebnost je zgolj v tem, da shranimo dobre rešitve, rešitve ki prispevajo v boljši končni rešitvi in zavržemo ali izločimo slabše rešitve. Prednost te metahevrstike je v tem, da se rešitve ne shranjujejo zgolj kratkotrajno ampak se shranjujejo za daljše

---

<sup>9</sup> Kromosomi so dolge verige DNK. To so "skladiščne enote", ki nosijo gene. Tako urejena DNK nam omogoča lažje prenašanje genov na naslednjo generacijo (Wikipedia The Free Encyclopedia).



časovno obdobje. Sam način zamenjave slabših za boljše rešitve pa je odvisen od posameznega avtorja metahevrstike.

## 1.10 Časovno odvisen problem planiranja vozil

Definicija (Malandraki & Daskin, 1992, str. 185-200) časovno odvisnega problema planiranja vozil ali krajše TDVRP (angl. *Time Depending Vehicle Routing Problem*) je sledeča.

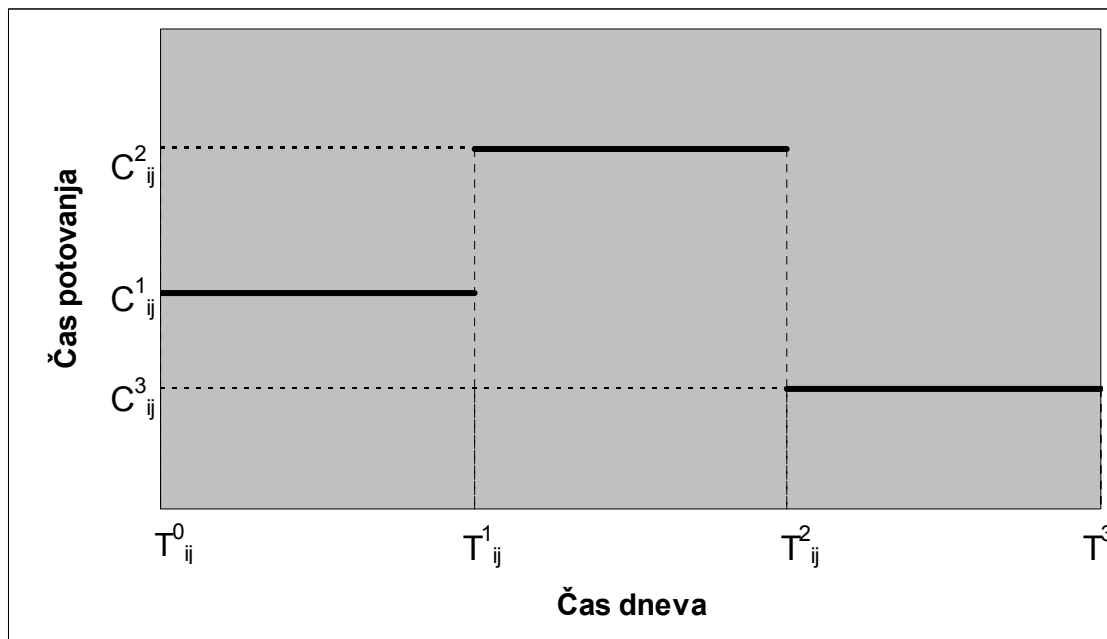
Fiksna flota vozil servisira fiksna dostavna mesta z naročili iz centralne odpreme cone. Dostavna mesta so dodeljene vozilom na takšen način, da je skupna vsota potrebnih časov za vse poti minimalna. Čas vožnje, med dvema dostavnima mestoma ali dostavnim mestom in odpremo cono, je odvisen od razdalje med točkama in ure v dnevu. Prisotni sta lahko, ni pa nujno, tudi omejitvi okno dostave in maksimalni čas trajanja poti za eno vozilo (delovni čas voznika). TDVRP problem je osnovni VRP problem (Christofides, 1979, str. 131-149; 1985, str. 148-163 in Bodin, Golden, Assad & Ball, 1981, str. 81) dopolnjen z upoštevanjem mestnih zastojev v prometu<sup>10</sup> (angl. *rush hour* lahko tudi *traffic jam* ali *traffic block*). Če se pri izdelavi plana voženj ne upošteva dejstev, da so hitrosti in s tem potovalni časi v odvisnosti od ure v dnevu, je lahko končni plan neoptimalen. Tak plan lahko vsebuje poti in število vozil na njih, ki je drugačno od plana voženj, ki bi upošteval dejstvo o odvisnosti med potovalnim časom in časom dneva. Prav tako lahko takšen plan povzroči kršitve časovnih oken dostave in delovnih časov voznikov.

Prav tako kot TSP, VRP in VRPTW tudi TDVRP pripada skupini NP-težkih problemov.

Malandraki & Daskin (1992, str. 185-200) sta v svojem delu zelo podrobno opisala vse omejitve in pogoje prav tako pa sta predstavila in opisala tudi nekaj hevrstik za reševanje TDVRP problemov. Zaradi problemov z nezveznostjo funkcije potovalnega časa v odvisnosti od ure v dnevu, prikazane na Sliki 12, se uporablja FIFO princip.

---

<sup>10</sup> Ure največjega prometa na ulicah z zastoji. V mestnih središčih in mestnih vpadnicah se v odvisnosti od ure, dneva, tedna in letnega časa pojavljajo občasni ali stalni zastoji. Hitrost vožnje je v tem času nižja od omejitev na cesti in zato se dejanski čas potovanja spremeni v primerjavi s splanim časom.

Slika 12: Potovalni čas od točke  $i, j$  kot nezvezna funkcija s tremi intervali.

Kok (2006, str. 2-16) je dopolnil tezo, ki sta jo postavila Malandraki & Dakin (1992, str. 185-200) s tem, da je odprl vprašanje dodatnih omejitev, ki jih nista upoštevala.

Ta vprašanja dodatnih omejitev so (Kok, 2006, str. 2-16):

- več poti za isto vozilo;
- heterogen vozni park;
- več oskrbnih odpremnih con;
- hkratna dostava in/ali pobiranje;
- pobiranje in nato dostava (blago se najprej pobere v dostavnem mestu  $i$  in se nato na isti poti dostavi v dostavno mesto  $j$ , v kombinaciji z normalnimi dostavami iz odpremne cone);
- delovni čas voznikov (upoštevanje vseh zakonskih omejitev glede obveznih postankov);
- Ne-FIFO proti FIFO (vprašanje dopustnosti prehitevanja vozil);
- Online proti offline (sprotno posodabljanje kart glede na cestne razmere in zapore na njih).

## 1.11 Dinamični problem planiranja vozil

Vsako od spremenljivk si lahko zamislimo kot dinamično. Za problem planiranja vozil pa je zanimivih le nekaj spremenljivk. Kot primer si lahko pogledamo lokacijo dostavnega mesta. Tudi ta spremenljivka je lahko dinamična, a nas pri planiranju vozil ne zanima kot dinamična ampak statična spremenljivka. Potovalni čas pa je v resničnem svetu še kako dinamična spremenljivka in nas zato zanima kot takšna.

Definicija statičnega problema planiranja vozil (VRP) (Psaraftis, 1988, str. 223-318) je sledeča. VRP je statičen, če se vhodni podatki ne spreminjajo niti med reševanjem problema niti med izvajanjem rešitve problema. Problem se pojmuje za dinamičen, če so vhodni podatki določevalcu znani in/ali dopolnjeni med reševanjem problema in/ali med samim izvajanjem rešitve problema. Lahko tudi definiramo 11 glavnih razlik med dinamičnim in statičnim VRP (Psaraftis, 1988, str. 223-318):

- časovna komponenta je bistvenega pomena. Pri statičnem VRP časovna komponenta nima nujno bistvenega vpliva. Pri dinamičnem VRP ali dVRP (angl. *dynamic Vehicle Routing Problem*; dinamični problem planiranja vozil) pa ima časovna komponenta ključni pomen. Minimalno kar mora nadzornik poznati, so pozicije vseh vozil v katerikoli točki v času;
- prihodnje informacije so lahko nenatančne ali neznane. Pri statičnem problemu se smatrajo vse informacije kot poznane in iste kakovosti. Pri realnem reševanju problema planiranja vozil prihodnost skoraj nikoli ni z gotovostjo poznana;
- kratkoročni dogodki so bolj pomembni. Pri statičnem VRP imajo zaradi enake kakovosti informacij in pomanjkanja posodobitev le teh vsi dogodki enako težo, pri dinamičnem VRP pa bi bilo nesmiselno dolgoročno vezati vozila na nek pogoj. Nadzornik se mora zato osredotočiti na kratkoročne dogodke pri reševanju dinamičnega VRP problema;
- mehanizmi posodabljanja informacij so nujni. Skoraj vsi inputi za dinamično usmerjanje problema so predmet sprememb v teku dneva delovanja. Zato je bistveno, da je posodabljanje informacij vključeno v metode reševanja problemov. Seveda, posodobitve informacij niso pomembne pri reševanju statičnih problemov;
- odločitve za presekvenčiranje in prerazporejanje so lahko upravičene. Pri dinamičnem planiranju lahko nove informacije pomenijo, da predhodna rešitev

problema ni več optimalna. To lahko prisili nadzornika, da prerazporedi vozila glede na novo pridobljene informacije;

- potrebni so hitrejši časi računanja. Pri statičnem reševanju si lahko nadzornik privoščiti več ur čakanja na kakovostno v nekaterih primerih celo optimalno rešitev. Pri dinamičnem problemu pa je potrebno dobiti rešitev čim prej (po možnosti v nekaj minutah ali sekundah). Takšen odzivni čas, potreben za pridobitev rešitve, privede do uporabe lokalnih heuristik za reševanje problema kot sta insertion in k-interchange;
- mehanizmi neomejenega odloga so nujni. Neomejen odlog pomeni možnost, da storitev odložimo za nedoločen čas, zaradi neugodnih geografskih značilnosti glede na druga naročila. To težavo bi lahko na primer omilili z uporabo časovnih oken dostave ali z uporabo nelinearne kazenske funkcije za čezmerno čakanje;
- ciljne funkcije so lahko različne. Tradicionalni statični cilji, kot sta minimuma skupne vsote prevoženih razdalj in skupne vsote porabljenega časa, sta lahko nesmiselna pri dinamičnem problemu, saj je proces lahko neomejen. Če podatki o prihodnjih naročilih niso na voljo, je morda smiselno, da optimiziramo samo znana naročila. Nekateri sistemi uporabljajo tudi nelinearno optimiziranje, z namenom preprečevanja neželenih pojavov, kot je zgoraj naveden neomejen odlog;
- časovne omejitve so lahko različne. Časovne omejitve, kot je zadnji možen čas pobiranja, so lahko "mehkejše" pri dinamičnih problemih kot pri statičnih;
- nizka prilagodljivost velikosti in raznolikosti flote. Pri statičnih problemih časovna razlika med izvedbo algoritma in izvedbe dejanskega plana običajno omogoča prilagoditev voznega parka. Pri dinamičnih problemih pa odpremnik nima vselej možnosti nadomestnega vozila. Posledično lahko to za nekatere stranke pomeni nižji nivo storitve;
- čakanje lahko postane pomembno. Če število naročil preseže določen prag, bo sistem postal preobremenjen in algoritmi bodo pričeli proizvajati brezpredmetne rezultate;
- čeprav sta VRP in teorija čakalnih vrst zelo dobro raziskani disciplini, so bila prizadevanja za združevanje le teh pomanjkljiva;

Splanirane poti so dejansko plan predvidenih voženj, ki se ga je potrebno držati. Lahko pa pride do odstopanj zaradi zunanjih dejavnikov, ki pri planiranju niso bili poznani in

zato tudi neupoštevani. Plan voženj je torej neke vrste strategija ali načrt, ki se ga je dobro držati zaradi zmanjševanja stroškov (Bianchi, 2000, str. 59-62).

## 2 OBSTOJEČI SISTEM PLANIRANJA VOZIL V PODJETJU MERCATOR D.D.

V prejšnjem poglavju so opisane heuristike za reševanje problemov planiranja vozil, v tem poglavju pa bo prikazan praktičen primer delovanja programskega orodja za reševanje problema planiranja vozil SSA<sup>®</sup> Route Planning (krajše RPS).

Opisana bosta integracija in arhitektura samega programskega orodja ter omejitve ali parametri, ki jih je potrebno upoštevati in nastaviti pred in med samo uporabo orodja za reševanje problema vozil RPS.

### 2.1 Opis rešitve Route Planning System

Orodje za reševanje problema planiranja vozil RPS sodi v sklop rešitev obvladovanja oskrbnih verig (angl. *Supply Chain Management* ali krajše *SCM*) in je le eno izmed orodij za podporo oskrbnim verigam. Glavni namen rešitve je kreiranje optimalnega plana vozil z upoštevanjem vseh podanih omejitev.

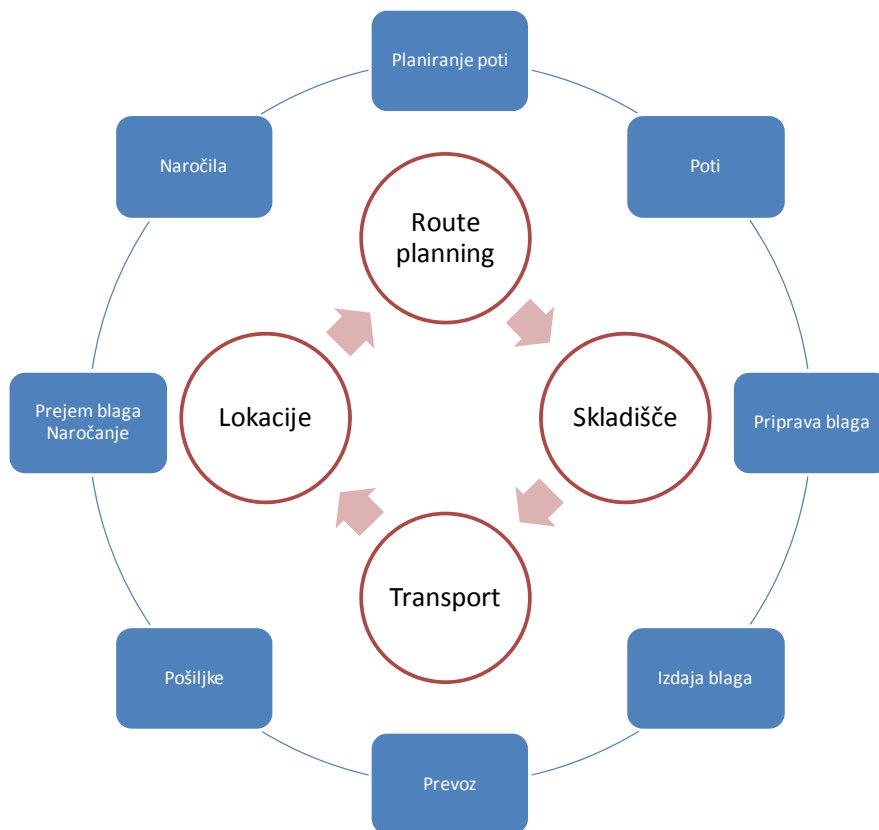
Glavne aktivnosti, ki so zagotovljene za doseganje cilja, so bile nastavitve pravilne arhitekture orodja RPS, integracija orodja z informacijskim sistemom Mercator, integracija z geografskim informacijskim sistemom (angl. *Geographic Information Systems* ali krajše GIS), bazo podatkov in nastavitve omejitev ali parametrov.

Na Sliki 13 je prikazana umestitev sistema RPS v sam proces dela v podjetju Mercator. Na Sliki 14 je prikazana arhitektura sistema RPS v Mercatorju. Sestavljata jo dva glavna dela: dnevno planiranje poti (angl. *Dispatch*) in strateško planiranje transportnih poti (angl. *Design*).

Modul za dnevno planiranje poti je namenjen dnevnomu operativnemu planiranju vozil, ki se izvaja z vgrajenimi metodami in heuristikami. Modul za strateško planiranje transportnih poti pa omogoča planiranje poti znotraj planskega cikla na podlagi statističnih in planskih podatkov. Na podlagi zgodovinskih podatkov z upoštevanjem

standardnih odklonov je mogoče pripraviti nabor planskih podatkov. Z njihovo pomočjo se nato lahko izvaja strateško planiranje prihodnjih transportnih poti.

Slika 13: Poslovni proces planiranja transportnih pot

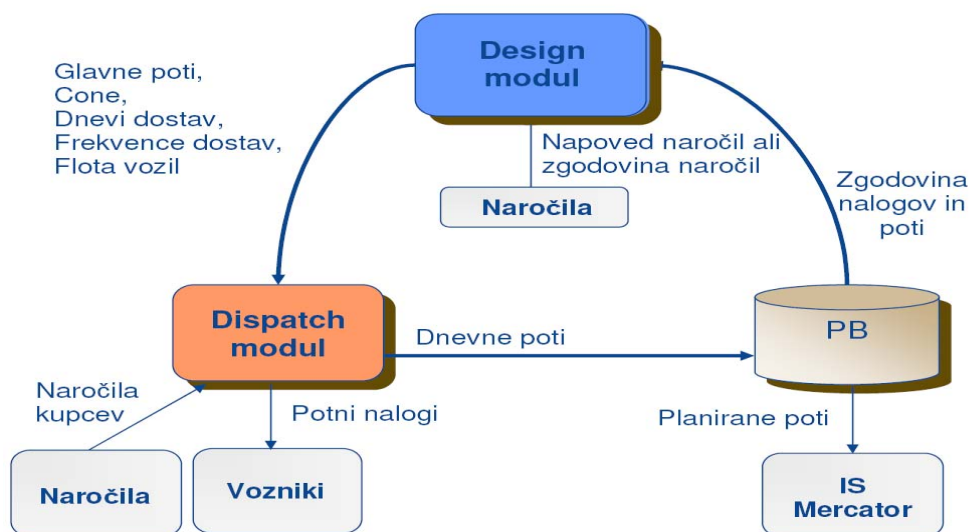


Sama integracija med sistemom za planiranje vozil (RPS), skladiščnim sistemom (WMS Mercator), podatkovno bazo (v tem primeru Oracle) ter geografskim informacijskim sistemom (GIS) je prikazana na Sliki 15.

Arhitektura procesa reševanja problema razporejanja vozil s programskim orodjem RPS je prikazana na Sliki 16.

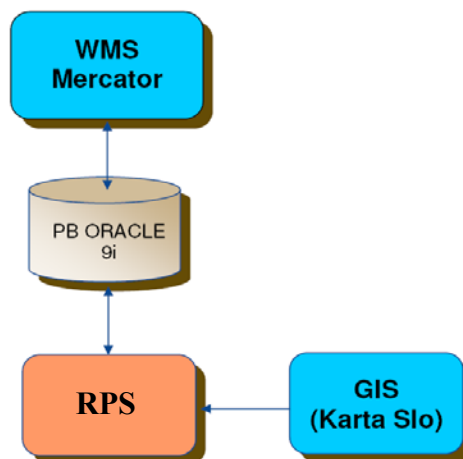
Pri večini sistemov za reševanje problemov planiranja vozil in pri večini uporabnikov pa se lahko srečamo z omejitvami, ki jih je potrebno upoštevati pri reševanju problema. Omejitve so bile že omenjene in definirane v prejšnjih podpoglavjih, vendar so bile to splošne omejitve, ki pa bodo v nadaljevanju natančneje opisane in analizirane ter povezane z realnimi problemi, s katerimi se srečujemo pri reševanju problema planiranja vozil.

Slika 14: Arhitektura sistema RPS



Vir: Roblek, P., Uporabniška dokumentacija INFOR Route Planning V 2.0 ,2007, str. 5

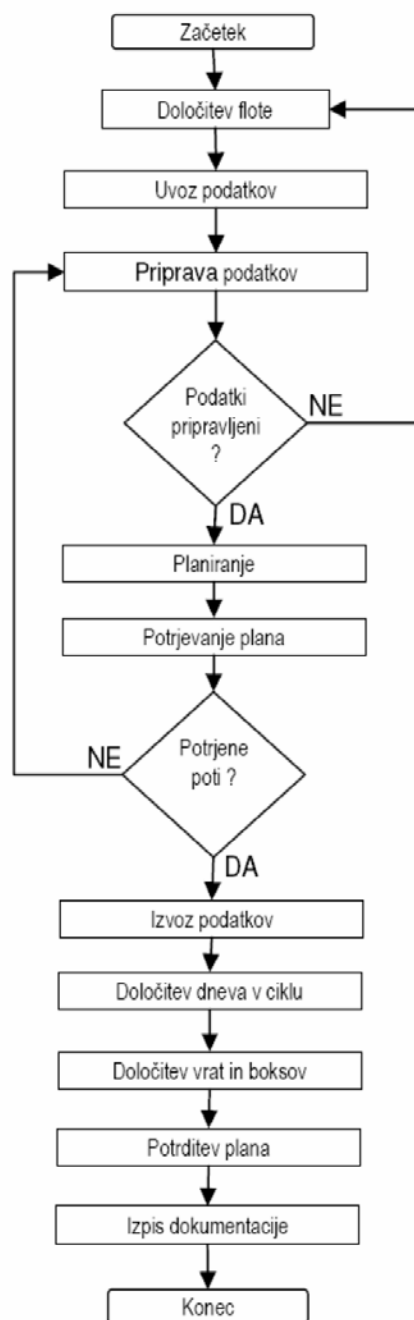
Slika 15: Integracija RPS z ostalimi sistemi



Vir: Roblek, P., Uporabniška dokumentacija INFOR Route Planning V 2.0 ,2007, str. 7



Slika 16: Proces planiranja vozil s sistemom RPS



Vir: Roblek, P., Uporabniška dokumentacija INFOR Route Planning V 2.0 ,2007, str. 14

## 2.2 Omejitve pri planiranju vozil

V nadaljevanju bodo podrobneje opisane omejitve, s katerimi se srečujejo in jih uspešno rešujejo v obravnavanem podjetju, vendar se moramo zavedati, da se s podobnimi omejitvami srečuje celotna sekundarna distribucijska branža.

Poglejmo dva primera, ki se pojavljata pri distribuciji blaga:

- okno dostave ali časovno omejena dostava. Časovno omejena dostava je vedno bolj aktualna predvsem v avtomobilski industriji, kjer ima vsak dobavitelj točno določeno uro v dnevu kdaj lahko oziroma mora pripeljati blago. Tudi v ostalih panogah ni nič drugače, kajti stranke oziroma naročniki storitve zaradi racionalizacije delovne sile želijo vedeti kdaj bodo imele povečan obseg dela zaradi prevzema in/ali izdaje blaga;
- podobno je s frekvenco dostav. Vedno več kupcev želi naročiti blago po metodi dostave točno ob pravem času (angl. Just in Time ali krajše JIT), saj ne želijo imeti lastnih skladišč. To za distributerja pomeni večje število dostav z manjšo količino blaga in seveda posledično tudi večje stroške. Zato je smotrno določiti minimalno potrebno frekvenco dostav glede na naročene količine blaga, tip dostavnega mesta, velikosti skladišča...

### 2.2.1 Omejitve na strani dostavnih mest

Vsako dostavno mesto ima pri opravljanju storitve neke omejitve, ki jih je potrebno upoštevati pri planiranju vozil. Te omejitve je potrebno upoštevati in jih spoštovati zaradi samega nivoja kakovosti storitve. Običajno je le nivo kakovosti storitve tisto, kar razlikuje dobre od najboljših.

#### Tip dostavnega mesta

Vsa dostavna mesta se razlikujejo med seboj, ker niso standardiziranega in enotnega tipa. Nekatera dostavna mesta so sicer lahko standardizirana (izpolnjujejo določene enotne kriterije) in so namenjena dostavi z največjimi dostavnimi vozili (prikoličarji), druga dostavna mesta pa so nestandardizirana in je zato dostava mogoča samo s kombiniranimi vozili.

Standardizirano pomeni, da so zgrajena po merah in normah primernih za dostavna vozila. Višina dostavne ploščadi je standardizirana (ali pa ima stranka pomično ploščad), prav tako je standardizirano tudi obračališče in površina pred dostavno

ploščadjo. Pozornost je potrebno nameniti tudi sami dostavni cesti, kajti svetle<sup>11</sup> višine morajo omogočati dovoz tovornim vozilom do višine maksimalno 4,0 m po pravilniku o dimenzijah, masah in opremi vozil (Pravilnik o dimenzijah, masah in opremi vozil, 1996, str. 2.011).

Trgovska podjetja po svetu in pri nas so svoje trgovine standardizirala in gradijo le nekaj različnih tipov trgovin (od 2 do 4) in s tem tudi le nekaj različnih tipov dostavnih mest. S tem si zmanjšajo kompleksnost raznolikosti dostavnih mest (od 2 do 3), kar pomeni zmanjšanje števila tipov vozil in hkrati tudi zmanjšanje kompleksnosti problema planiranja vozil.

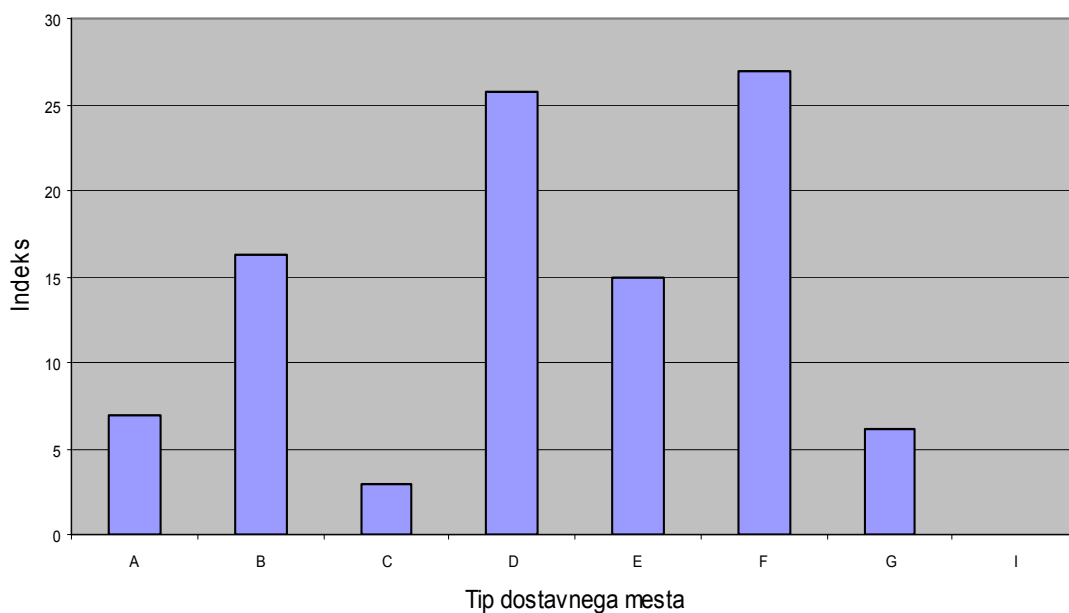
Obravnavano podjetje upravlja z zelo velikim številom različnih objektov, v katerih se izvaja prodaja na drobno. Razloge za raznolikost prodajnih mest je moč najti v zgodovini razvoja podjetja, saj je svojo mrežo prodajaln širilo predvsem skozi procese združevanja in akvizicije drugih trgovskih podjetij, s tem pa je prevzelo v upravljanje objekte različnih kakovosti. Ti objekti so različnih dimenzij in posledično so tudi tipi dostavnih mest različni zato obstaja velik problem raznolikosti oz. nestandardiziranosti dostavnih mest. V veliko primerih so dostavna mesta z zelo specifičnimi zahtevami, ki potrebujejo posebno obravnavo. Če bi želeli spremeniti dostavno mesto, bi morali temeljito poseči v okolje, kar pa ni vedno mogoče.

---

<sup>11</sup> Višina od cestišča do najnižje ovire.

Slika 17: Število strank glede na tip dostavnega mesta

Število strank za gledano podjetje in opazovano odpremno cono v letu 2009  
glede na tip dostavnega mesta



Nekatere mestne občine, kot je na primer Mestna občina Ljubljana, so s svojimi odloki prav tako vplivala na tip dostavnega mesta. Na mestnih vpadnicah med avtocestnim obročem in ožjim mestnim središčem ter cestah, ki oklepajo ožje mestno središče, je v času prometne konice prepovedan promet tovornih vozil katerih največja dovoljena masa presega 7,5 tone, ter delovnih strojev, delovnih vozil in traktorjev, na območju ožjega mestnega središča pa je prepovedan promet tovornih vozil, katerih največja dovoljena masa presega 3,5 tone (Odlok o cestno prometni ureditvi, 2007, str. 17.986). Tako so postavili zgornjo omejitev nosilnosti vozila in s tem tudi tip dostavnega mesta.

V Sliki 17 je prikazan indeks števila dostavnih mest, ki jih je gledano podjetje oskrbovalo v letu 2009 iz opazovane odpremne cone po tipih dostavnih mest.

### Obratovalni čas

Vsako dostavno mesto ima svoj obratovalni čas, ki ga je potrebno spoštovati in ga obravnavati kot "trdo" časovno okno. Zaradi kakovosti nivoja storitve se je potrebno držati principa vzdržna logistike (angl. sustainable logistics), to pomeni, da se blago dostavlja samo takrat, ko stranke obratujejo in ne tudi ponoči, kar bi bilo mogoče smotno.

Ker se dostava ne izvaja, le lastnim dostavnim mestom, ampak tudi zunanjim kupcem, (grosisti, manjši ali večji trgovci, kmetijske zadruge, šole, vrtci, vojašnice,...) je trenutno v uporabi čez 30 različnih obratovalnih časov. Vse te različne dostavne čase je potrebno upoštevati pri reševanju problema planiranja vozil.

Če se izvaja storitev na dostavnem mestu (npr. zunanjega kupca) izven njegovega obratovalnega časa, se dostavnemu mestu naročeno blago ni dostavilo v predvidenem času.

Za ilustracijo navajamo nekaj različnih obratovalnih časov:

- od ponedeljka do petka od 06:00 do 19:00, ob sobotah od 06:00 do 15:00, nedelje zaprto;
- od ponedeljka do sobote od 09:00 do 21:00, nedelje od 09:00 do 17:00;
- od ponedeljka do petke od 08:00 do 12:00 in od 14:00 do 17:00, sobote od 08:00 do 12:00, nedelja zaprto;
- od ponedeljka do petka od 07:00 do 09:00;
- od ponedeljka do petka od 07:00 do 15:00.

### **Frekvenca dostave**

Frekvenca dostave je odvisna od količine naročenega blaga, obračanja zalog, velikosti skladiščnega prostora ali velikosti hladilnih kapacitet in tipa dostavnega mesta. Za sam izračun potrebnih frekvenc dostave se uporabljata dve celoštevilski optimizacijski metodi:

- prva temelji na dinamiki nabavne vrednosti prodanega blaga (velja za lastno maloprodajno mrežo);
- druga pa temelji na dinamiki volumna naročenega blaga (velja za zunanje kupce, pri katerih je podatke o dinamiki prodaje nemogoče pridobiti).

Količina naročenega blaga je v linearni povezavi s številom oskrbnih dni v tednu. Večja kot je količina naročenega blaga, večje je število oskrbnih dni. Količina blaga pa je v direktni odvisnosti od obračanja zalog na dostavnih mestih. Večje kot je obračanje zalog, večja je prodaja in zato tudi večja količina naročenega blaga. V trgovski branži

velja pri ABC<sup>12</sup> analizi produktov Paretovo načelo 80/20. Zato je potrebno biti pozoren predvsem na C artikle, ki imajo zelo majhno obračanje zalog, zasedejo pa relativno veliko prodajnega prostora. To je predvsem pomembno pri zamrznjenem asortimentu, kajti če se zamrzovalne skrinje po končani sezoni delno ne izpraznijo, potem ni prostora za naslednje sezonsko blago. Pri distribuciji določenega asortimana je zelo opazno sezonsko nihanje, zato se uporabljajo med letom različne frekvence dostav za različne asortimane.

Velikost skladiščnega prostora pri strankah je prav tako zelo pomemben faktor pri določanju števila oskrbnih dni. Trend je zelo očiten in se nagiba proti zmanjševanju skladiščnih prostorov zaradi vse višjih tekočih stroškov in stroškov investicij na  $m^2$  objekta. Takšen trend nas lahko privede do podobne situacije v kateri se zanšel švicarski trgovec Migros, ki mora svoja dostavna mesta oskrbovati tudi večkrat dnevno. Kajti njihova dostavna mesta nimajo lastnih skladiščnih kapacitet in zato morajo blago nemudoma postaviti na police. Tudi v Sloveniji se lahko zgodi kaj podobnega, predvsem v gosto naseljenih področjih, kjer je cena  $m^2$  stavbne površine visoka in ne opravičuje stroškov nakupa.

Velikost dostavnega mesta je v obratno linearni povezavi s frekvenco dostav. Večje kot je dostavnega mesta, manjša je lahko frekvenca dostav. Kajti nesmiselno je omejevati stranke, ki imajo majhna dostavna mesta s številom dostav, nato pa jim je potrebno v enem dnevu dostaviti naročeno blago z več vozil, ker na eno ni moč spraviti vse naročene količine blaga.

Ker je kompleksnost določanja in izračunavanja potrebnih in zadostnih frekvenc dostave kompleksen problem in potrebuje poleg matematičnih tudi pogajalske veščine, ga v Mercator d.d. uvrščajo v taktični nivo planiranja vozil.

---

<sup>12</sup> ABC analiza: A artikli: 20 % artiklov ustvarijo 80 % prometa, B artikli: 30 % artiklov ustvari 15 % prometa, C artikli: 50 % artiklov ustvari 5 % prometa.

## Urniki dostave

Kot je bilo napisano v poglavju 1.2, je reševanje problema urnikov prav tako kot problem planiranja vozil NP-težek problem. Zato se s samimi urniki dostav ukvarjamo ločeno od samega operativnega planiranja vozil.

Zaradi kompleksnosti in težavnosti problema tudi urnike dostav kot frekvence dostav v Mercator d.d. uvrščajo v taktični nivo problema planiranja vozil.

## Okno dostave

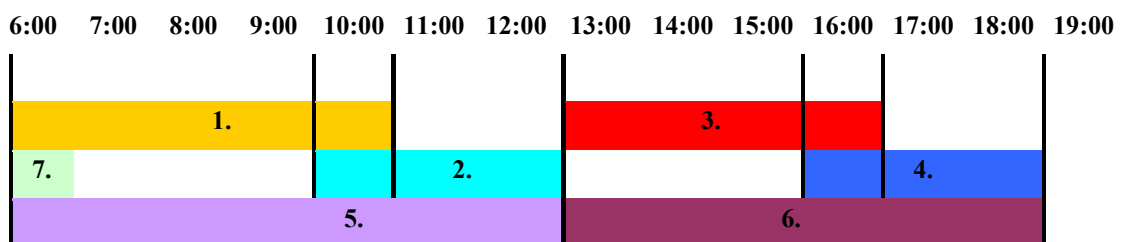
Okno dostave je ura ali del dneva, v katerem je potrebno blago dostaviti dostavnemu mestu.

Trenutno je v uporabi sedem časovnih oken dostave, ki so fiksna in jih ni mogoče poljubno premikati znotraj dneva. Časovna okna dostave so bila določena izkustveno in so se v praksi izkazala kot dobra odločitev.

Časovna okna dostave so sledeča:

- 1. med 06:00 in 10:00;
- 2. med 09:00 in 13:00;
- 3. med 13:00 in 17:00;
- 4. med 16:00 in 19:00;
- 5. med 06:00 in 13:00;
- 6. med 13:00 in 19:00;
- 7. med 06:00 in 06:30.

Slika 18: Grafični prikaz časovnih oken dostav



Iz tega je razvidno, da so 1., 2., 5. in 7. dopoldanska časovna okna in 3., 4. in 6. popoldanska. Med 1. in 2. ter 3. in 4. je urejeno prekrivanje, zaradi večje kombinatorike med posameznimi časovnimi okni. Med 2. in 3. ter 5. in 6. pa tega prekrivanja ni zaradi praktičnih razlogov. Prvi razlog je zamenjave delovne sile pri dostavnih mestih, ki je med 12:30 in 13:30 in so zato v tem času dostavna mesta bolj obremenjene z drugim delom. Drugi razlog neprekrivanja nekaterih časovnih oken je zamenjava voznikov na vozilih, ki so v obratovanju čez cel dan. Večina vozil je zasedenih z dvojno posadko voznikov. To pomeni, da se na enem vozilu izmenjata dva voznika, zato je vozilo izkoriščeno v dveh izmenah. S tem je dosežen optimalnejši izkoristek voznega parka.

Zakaj so časovna okna tako pomembna? Ker se dostavna mesta lahko pripravijo za čas, ko pričakujejo dostavo. To pomeni, da lažje planirajo delovno silo, ki je potrebna za prevzem blaga in polnjenje polic. Dostavna mesta imajo namreč v večini primerov zelo natančno odmerjeno število zaposlenih in za dneve, ko imajo dostavo, lahko planirajo dodatno delovno silo, ki jim pomaga pri prevzemanju blaga in zlaganju blaga na police (fleksibilna delovna sila).

## **GEO Lokacija**

Geo lokacija<sup>13</sup> dostavnega mesta ali natančna lokacija dostavnega mesta. Pri planiranju poti na ta dejavnik planerji ne morejo vplivati, saj so to lahko mestna jedra, ki so zelo težko dostopna za velika vozila ali zelo odročne vasi, ki imajo slabo cestno povezavo.

Pri planiranju s pomočjo programskih orodij je zelo pomembno, da vsako dostavno mesto opremimo z natančno geografsko širino in dolžino tako, da lahko sistem dostavno mesto pravilno umesti v prostor, ki ga prikaže tudi na karti. Pri ročnem planiranju ta podatek ni nujno potreben, kajti zadošča že približek lokacije, da vemo kam, znotraj vožnje, bomo umestili posamezno stranko.

---

<sup>13</sup> Geo lokacija: geografska širina in dolžin, zapisana v Svetovnem koordinatnem sistemu WGS84 (World Geodetic System, datiran leta 1984 in zadnjič popravljen leta 2004) (Wikipedia The Free Encyclopedia).



## **Spremljevalec**

Pri določenih dostavnih mestih je potrebno pri planiranju poti predvideti tudi spremljevalca. Spremljevalec vozniku pomaga pri dostavi blaga, ker so okoliščine na dostavnem mestu takšne, da bi voznik sam zelo težko ali celo nemogoče opravil storitev. Npr. dostavno mesto je locirano v nadstropju ali ima premajhen dostop za transportno enoto ali dostavno vozilo, premajhna vrata ali pa ima skladišče v kleti in je brez dvigala.

Dejstvo, da dostavno mesto potrebuje spremljevalca, je pri planiranju poti potrebno upoštevati. Takšna dostavna mesta se dostavijo z vozili, ki imajo spremljevalca pa čeprav to ni vedno optimalno z vidika prevoženih razdalj. Torej, v tem primeru optimiziramo razpoložljive kapacitete in ne prevožene razdalje, zaradi dejstva, da je število dostavnih vozil s spremljevalcem omejeno.

## **Jutranja dostava**

Med dostavnimi mesti so tudi takšna, ki zahtevajo zelo zgodnjo dostavo zaradi različnih vzrokov. Najpogostejši vzrok so mestna središča in mestni odloki, ki prepovedujejo dopoldansko ali popoldansko dostavo. Takšen primer je mesto Ljubljana, ki je sprejelo odlok: "Dostavni čas na območjih za pešce je vse dni v tednu med 6.00 in 9.30 uro. Pristojni organ lahko izjemoma zaradi posebej utemeljenih razlogov izda dovoljenje tudi za dostavo izven dostavnega časa." (Odlok o cestnoprometni ureditvi, 2007, str. 17.986). Podobni odloki so še v nekaj slovenskih mestih, ki so prav tako sprejela podobne odloke in z njimi omejila čas od kdaj do kdaj se sme izvajati dostava.

Poleg tega, da se sme dostava izvajati zgolj v jutranjih urah, pa morajo imeti dostavna vozila tudi dovolilnico: "Pristojni organ določi odstavnna mesta na občinskih cestah, ki so namenjena za opravljanje dostave blaga z dostavnimi vozili in opravljanje servisnih ter drugih storitvenih dejavnosti z vozili. Uporaba odstavnih mest je dovoljena le z veljavno dovolilnico. Nosilcu se za isto časovno obdobje lahko izda le ena dovolilnica iste vrste." (Odlok o cestnoprometni ureditvi, 2007, str. 17.986). Iz zadnjega citata je razvidno tudi dejstvo, da lahko podjetje dobi zgolj eno dovolilnico za eno vozilo, torej lahko dostavo v mestno središče opravlja zgolj točno določeno vozilo.

Vsa zgoraj navedena dejstva je potrebno pri planiranju distribucije zelo natančno upoštevati, če se želimo izogniti neprijetnostim, kot so plačila kazni.

Jutranje dostave zahtevajo tudi nekatera dostavna mesta kot so osnovne šole ali delavske kuhinje. Te potrebujejo jutranjo dostavo, saj potrebujejo blago za pripravo jutranjih obrokov, malic in kosil.

### **2.2.2 Zakonske omejitve**

Zaradi zakonodaje in omejitev v njej je potrebno biti zelo pozoren na omejitve pri reševanju problema planiranja vozil s časovnimi okni. Kajti v nasprotnem primeru pride do kršitev zakonskih omejitev in to pomeni kazensko odgovornost v primeru nezgod ali nesreč.

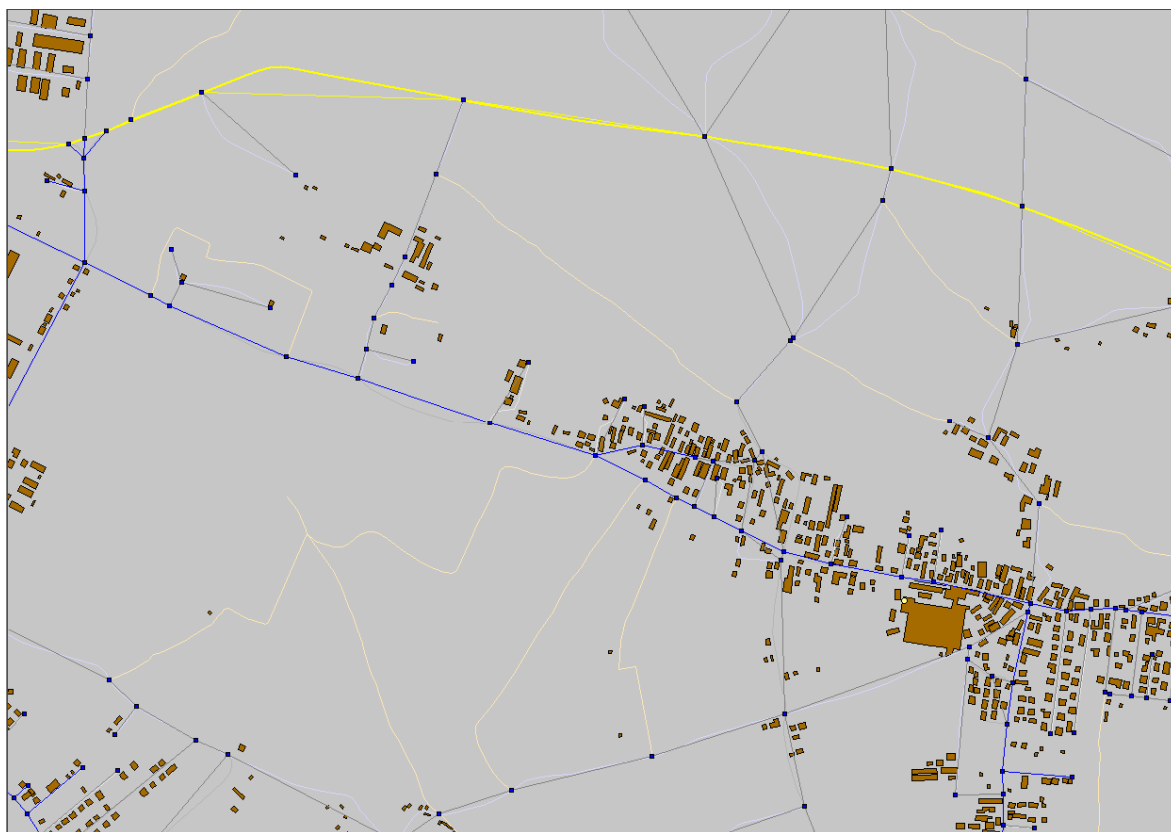
#### **Cestne povezave**

Cestne povezave predstavljajo predstavljajo omejitve. Pri optimizaciji se upošteva celotno cestno omrežje razen gozdnih poti in poti ki imajo omejitve ali prepovedi vožnje za tovorna vozila nad 3,5 tone nosilnosti.

Ceste na kartah cestnega omrežja so kategorizirane od 1 do 7, to pomeni: 1 so avtoceste in 7 so mestne ulice in poti. Cestno omrežje v sistemu RPS je sestavljeno iz križišč in povezav med njimi, ki predstavljajo dejanske ceste, kot to prikazuje Slika 19.

Pri planiranju dnevnih poti se upošteva najkrajša razdalja. Pri optimizaciji upoštevajo hitrostne omejitve na cestah kot tudi na vozilih. Znotraj sistema RPS so vnešeni vsi parametri o cestnem omrežju in hitrostih na posameznih odsekih cestnega omrežja.

Slika 19: Prikaz cestnega omrežja v sistemu RPS



### Cestni zastoji v prometu

V mestnih središčih na določenih cestnih odsekih skoraj dnevno prihaja do zastojev, ki so odvisni od časa znotraj dneva, dneva v tednu, meseca in sezone. Zato se sproti, glede na sezono, vnašajo parametri za cestne prometne zastoje na najbolj obremenjenih cestah.

Na določene daljice  $P(m, n)$  se dodajo parametri  $rh_{mn}$  na hitrosti  $v_{mn}$  v odvisnosti od časa znotraj delovnega dne  $\tau_{ij}$ . To enostavno pomeni da se  $t_{mn}(\tau_{mn})$  v odvisnosti od  $\tau_{mn}$  spreminja, čas vožnje se zaradi sprememb na cesti lahko podaljša ali skrajša. S tem parametrom  $rh_{mn}$  na posamezni daljici  $(m, n)$  se simulira cestni zastoj.

Postavljanje parametrov na posamezne daljice pa ne pomeni tudi, da se bo iskalo alternativne poti najkrajši poti. To pomeni zgolj, da se cestno omrežje uporablja samo v zelo omejeni obliki in kot sredstvo vizualizacije plana poti. V sistemu se pred pričetkom planiranja na podlagi cestnega omrežja izračunajo najkrajše razdalje med dostavnimi

mesti in dostavnimi mesti in odpremno cono in temu pripadajoči časi voženj. Ker pa se pred pričetkom planiranja ne ve, katera dostavna mesta in kdaj bodo na kateri vožnji, se tudi parametre na daljicah ne more uporabiti. Iz tega razloga se pri planiranju poti parameter  $rh_{mn}$  zanemari. Po končanem planiranju posameznih poti pa se na podlagi najkrajših razdalj doda parameter, če je to potrebno, na posamezne daljice  $P(m,n)$  znotraj poti  $T_z$  in nato se ponovno preračunajo potrebni časi  $t_{ij}(\tau_{ij})$  in se temu primerno popravijo poti. Torej alternativne poti zaradi cestnih zastojev se ne iščejo. Zato najkrajše poti ni nujno, da so najhitrejše.

### Omejitve hitrosti

Vsak tip ceste ima svojo omejitev hitrosti, ki je predpisana z zakonom o varnosti cestnega prometa (ZVCP-1, Ur.l. RS, št. 83/2004, v nadaljevanju ZVCP-1) in sicer v 32. členu le tega:

- največja dovoljena hitrost vozila je omejena:
  - 50 km/h – na cestah v naselju;
  - 30 km/h – v območju omejene hitrosti;
  - 10 km/h – v območju umirjenega prometa in v območju za pešce;
- na posameznih cestah v naselju ali njihovih delih je največja dovoljena hitrost za vozila lahko največ 70 km/h, če varnost prometa in predpisani prometno-tehnični elementi to omogočajo in je to določeno s predpisanim prometnim znakom;
- na cesti zunaj naselij je največja dovoljena hitrost za vozila omejena:
  - 130 km/h – na avtocestah;
  - 100 km/h – na cestah, rezerviranih za motorna vozila;
  - 90 km/h – na vseh ostalih cestah.

V 34. členu pa so zapisane omejitve vozil:

- Ne glede na določbe prvega odstavka prejšnjega člena lahko vozijo na avtocestah in na cestah, rezerviranih za motorna vozila, ki imajo fizično ločeni smerni vozišči z najmanj po dvema prometnima pasovoma, največ:
  - 80 km/h: – motorna vozila s priklopnimi vozili in zgibni avtobusi;
  - 90 km/h: – tovorna vozila brez priklopnih vozil, katerih največja dovoljena masa presega 3.500 kg, če imajo to vpisano v prometnem dovoljenju.

Pri planiranju vozil je pomembno, da se upošteva tako omejitve hitrosti na cestah kot tudi samih vozilih. Hitrosti cest se nahajajo v GIS podatkih cestnega omrežja. V tej bazi so opisane vse ceste s pripadajočimi maksimalnimi hitrostmi. Trenutno je parametriziranih 7 različnih tipov cest glede na njihovo omejitev hitrosti. Hitrosti vozil so v sistemu RPS zapisane kot konstante, ki se jih upošteva pri planiranju poti.

### **Odmori med delovnim časom**

Zakonske določbe, ki so predpisovale dnevne in tedenske počitke, so bile zapisane v Zakonu o varnosti cestnega prometa (Ur.l. RS, št. 56/2008-UPB5, 57/2008-ZLDUVCP, 73/2008 Odl.US: U-I-295/05-38, 58/2009, v nadaljevanju ZVCP-1), v katerem so člani, ki so predpisovali počitke 74., 75., 76., 77. prenehali veljati, ker je pričela veljati z 11.04.2007 uredba Evropskega parlamenta in sveta (ES št. 561/2006 z dne 15.03.2006, v nadaljevanju Uredba (ES)).

Nova uredba predpisuje v:

6. členu:

- dnevni čas vožnje ne presega devet ur. Vendar pa se v enem tednu dnevni čas vožnje lahko največ dvakrat podaljša do največ 10 ur;
- tedenski čas vožnje ne presega 56 ur in ne povzroči prekoračitve najdaljšega tedenskega delovnega časa, določenega v Direktivi (2002/15/ES);
- skupni čas vožnje katerihkoli dveh zaporednih tednov ne presega 90 ur.

7. členu:

Po štirih urah in pol vožnje ima voznik najmanj 45-minutni neprekinjeni odmor, razen če ne začne s časom počitka. Ta odmor se lahko nadomesti z vsaj 15-minutnimi odmori, ki mu sledi najmanj 30-minutni odmor razdeljen v obdobju na takšen način, da je to v skladu z določbami iz prvega odstavka.

8. členu:

V vsakem obdobju 24 ur po koncu predhodnega dnevnega časa počitka ali tedenskega časa počitka, voznik izkoristi nov dnevni čas počitka. Če del dnevnega časa počitka, ki

je vključen v 24-urno obdobje, traja vsaj 9 ur, vendar manj kot 11 ur, se dnevni čas počitka šteje za skrajšani dnevni čas počitka.

Vse zgoraj omenjene omejitve se morajo upoštevati pri dnevnem planiranju distribucije.

### **Delovni čas voznikov**

Uredba (ES), v 6. členu določa delovni čas zunanjih voznikov.

Po Mercatorjevi kolektivni pogodbi pa je določen delovni čas voznikov in to je 40 urni tedenski delovnik, ki pa ne sme kršiti Uredbe (ES).

### **2.2.3 Omejitve na strani distributerja**

Tudi distributer ali prevoznik ima nekatere omejitve, ki se jim ne more izogniti. slednje samo še povečujejo kompleksnost samega reševanja problema planiranja vozil.

### **Obratovalni čas odpremne cone**

V odpremni coni se izvaja priprava in odprema naročenega blaga dostavnim mestom. Prav tako kot dostavna mesta, ima tudi odpremna cona svoj obratovalni čas. Ker se distribucija ne mora izvajati ponoči, je nesmiselno, da bi bila skladišča ponoči odprta in bi obratovala.

Obratovalni čas odpremne cone delno sovpada s časom distribucije, lahko pa pride do zamika med pripravo blaga in odpremo za nekaj ur, kar pa ne vpliva na obratovalni čas. Nesmiselno bi bilo, da bi odpremna cona delala v treh izmenah, odprema pa bi se izvajala zgolj v dveh. V tem primeru bi potrebovali izredno velik odpremni prostor za skladiščenje pripravljenega blaga. Prihajalo bi do velike kumulacije pripravljenih transportnih enot.

Tabela 1 prikazuje simulacijo skladišča pri 24 urnem obratovalnem času. V simulaciji je predpostavljeno, da je priprava blaga relativno enakomerno linearno razporejena skozi celoten obratovalni čas (izjeme so malice in zamenjave izmen).

Simulacija odpreme je narejena na podlagi dejanskih odprem blaga v eni izmed odpremnih con v podjetju Mercator d.d.. Priprava blaga za naslednji dan se po tej simulaciji prične ob 18:00. Odprema se izvaja zgolj med obratovalnim časom dostavnih mest, kajti v ostalem času ne morejo izvajati storitve. Največji del odpreme se izvaja med 6:00 in 7:00, drugi vrh je nekje v času, ko se največje število vozil vrne s prve poti. V popoldanske času je manj odprem, kajti večina stranki si želi imeti dostavo v jutranjem ali vsaj dopoldanskem času. Zaradi neenakomernosti priprave blaga in odpreme se pričnejo kumulirati transportne enote na odpremnem prostoru. Iz Slike 20 je razvidno, da se v času med 05:00 in 06:00 nabere 53,8 odstotkov vseh dnevno pripravljenih transportnih enot z blagom za dostavna mesta. Ker se mora odpremni prostor dimenzionirati na vršne zmogljivosti odpremne cone, to pomeni, da mora biti znašati minimalno 53,8 odstotkov vršnih kapacitet odpremne cone. To pa je zelo veliko glede na to, da je povprečna zmogljivost odpremne cone v trgovski branži, kjer so velika sezonska nihanja, dosti nižja kar je razvidno iz Slike 22.

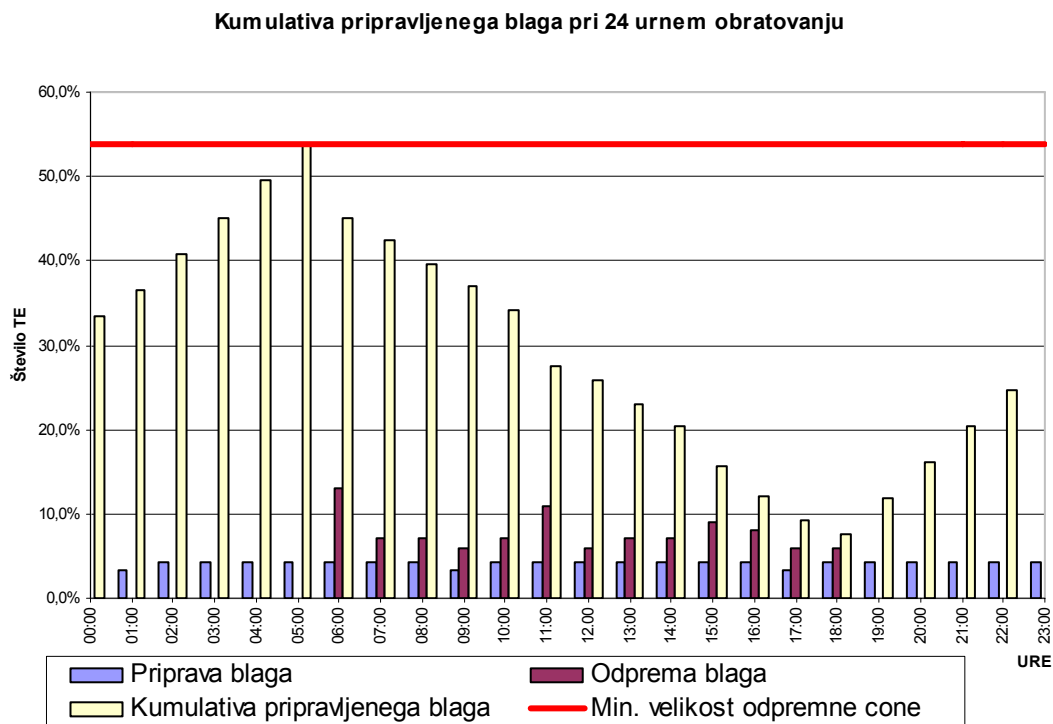
*Tabela 1: Prikaz delovanja skladišča pri 24 urnem obratovalnem času*

Kumulativa pripravljenega blaga pri 24 urnem obratovanju izražena v odstotkih dnevno pripravljenih in odpeljanih TE					
Ure	Priprava	Kumulativa priprave	Odprema	Kumulativa odpreme	Kumulativa pripravljenega blaga
00:00 - 01:00	4,3%	33,3%	0%	0%	33,3%
01:00 - 02:00	3,2%	36,6%	0%	0%	36,6%
02:00 - 03:00	4,3%	40,9%	0%	0%	40,9%
03:00 - 04:00	4,3%	45,2%	0%	0%	45,2%
04:00 - 05:00	4,3%	49,5%	0%	0%	49,5%
05:00 - 06:00	4,3%	53,8%	0%	0%	53,8%
06:00 - 07:00	4,3%	58,1%	13%	13%	45,1%
07:00 - 08:00	4,3%	62,4%	7%	20%	42,4%
08:00 - 09:00	4,3%	66,7%	7%	27%	39,7%
09:00 - 10:00	3,2%	69,9%	6%	33%	36,9%

10:00 - 11:00	4,3%	74,2%	7%	40%	34,2%
11:00 - 12:00	4,3%	78,5%	11%	51%	27,5%
12:00 - 13:00	4,3%	82,8%	6%	57%	25,8%
13:00 - 14:00	4,3%	87,1%	7%	64%	23,1%
14:00 - 15:00	4,3%	91,4%	7%	71%	20,4%
15:00 - 16:00	4,3%	95,7%	9%	80%	15,7%
16:00 - 17:00	4,3%	100,0%	8%	88%	12,0%
17:00 - 18:00	3,2%	3,2%	6%	94%	9,2%
18:00 - 19:00	4,3%	7,5%	6%	100%	7,5%
19:00 - 20:00	4,3%	11,8%	0%	0%	11,8%
20:00 - 21:00	4,3%	16,1%	0%	0%	16,1%
21:00 - 22:00	4,3%	20,4%	0%	0%	20,4%
22:00 - 23:00	4,3%	24,7%	0%	0%	24,7%
23:00 - 00:00	4,3%	29,0%	0%	0%	29,0%



Slika 20: Grafični prikaz velikosti odpreme cone pri 24 urnem obratovalnem času



V drugi simulaciji je prikazan 16 urni obratovalni čas odpreme cone. Tudi v tej simulaciji so se upoštevale vse omejitve in pogoji kot v prvi simulaciji. Zaradi neenakomernosti priprave blaga in odpreme se pričnejo kumulirati transportne enote na odpremnem prostoru. Zaradi krajšega delovnega časa je potrebno sicer imeti več delovne sile, kajti v krajšem času je potrebno pripraviti enako količino blaga. Zato pa je kumulacija pripravljenih transportnih enot znatno nižja kot pri 24 urnem obratovalnem času. In sicer kumulacija pri 16 urnem obratovalnem času znaša 30,8 odstotkov transportnih enot, kar je razvidno tudi iz Tabele 2 in Slike 21.

Razlika kumuliranih transportnih enot med 16 in 24 urnim obratovalnim časom je 23,0 odstotkov, a je razlika v potrebnem odpremnem prostoru zaradi sezonskih nihanj, ki so razvidna iz Slike 22, še večja. Torej, če upoštevamo še sezonska nihanja odpreme blaga, pomeni, da mora biti velikost odpremnega prostora pri 24 urnem obratovalnem času kar za 42,8 odstotkov večje kot pri 16 urnem obratovalnem času odpreme cone. Do tega rezultata smo prišli:

$$OC_{\min} = \frac{(TE_{\max 24} - TE_{\max 16})}{TE_{\max 24}} * 100$$

$OC_{\min}$  minimalno potreben odpremni prostor

$TE_{\max 16}$  maksimalno število kumuliranih transportnih enot pri 16 urnem delovnem času

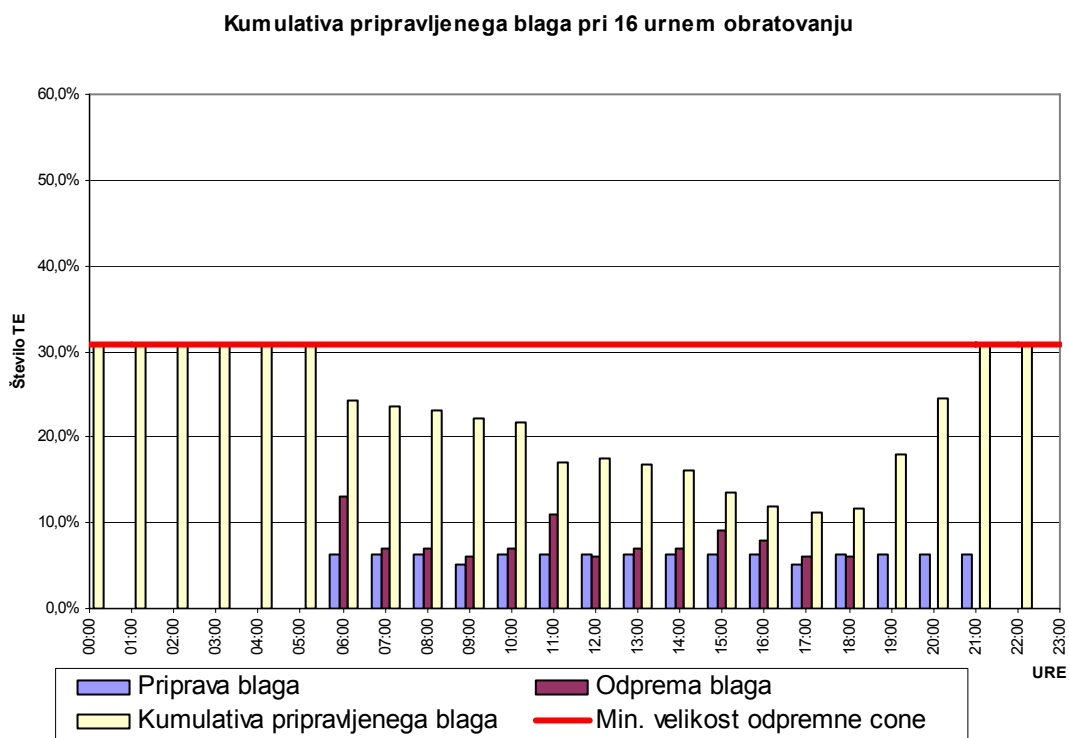
$TE_{\max 24}$  maksimalno število kumuliranih transportnih enot pri 24 urnem delovnem času

Tabela 2: Prikaz delovanja skladišča pri 16 urnem obratovalnem času

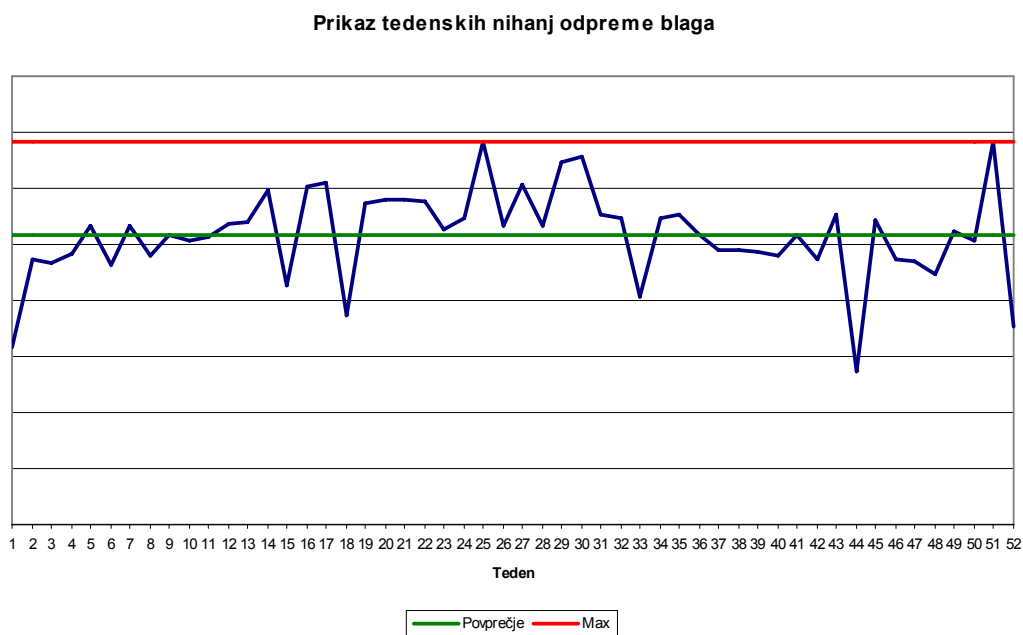
Kumulativa pripravljene blaga pri 16 urnem obratovanju izražena v odstotkih dnevno pripravljenih in odpeljanih TE					
Ure	Priprava	Kumulativa priprave	Odprema	Kumulativa odpreme	Kumulativa pripravljene blaga
00:00 - 01:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
01:00 - 02:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
02:00 - 03:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
03:00 - 04:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
04:00 - 05:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
05:00 - 06:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
06:00 - 07:00	6,4%	37,2%	13%	13%	24,2%
07:00 - 08:00	6,4%	43,6%	7%	20%	23,6%
08:00 - 09:00	6,4%	50,0%	7%	27%	23,0%
09:00 - 10:00	5,2%	55,2%	6%	33%	22,2%
10:00 - 11:00	6,4%	61,6%	7%	40%	21,6%
11:00 - 12:00	6,4%	68,0%	11%	51%	17,0%
12:00 - 13:00	6,4%	74,4%	6%	57%	17,4%
13:00 - 14:00	6,4%	80,8%	7%	64%	16,8%
14:00 - 15:00	6,4%	87,2%	7%	71%	16,2%
15:00 - 16:00	6,4%	93,6%	9%	80%	13,6%
16:00 - 17:00	6,4%	100,0%	8%	88%	12,0%
17:00 - 18:00	5,2%	5,2%	6%	94%	11,2%

18:00 - 19:00	6,4%	11,6%	6%	100%	11,6%
19:00 - 20:00	6,4%	18,0%	0%	0%	18,0%
20:00 - 21:00	6,4%	24,4%	0%	0%	24,4%
21:00 - 22:00	6,4%	30,8%	0%	0%	30,8%
22:00 - 23:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%
23:00 - 00:00	0,0%	30,8%	0%	0%	30,8%

Slika 21: Grafični prikaz velikosti odpreme cone pri 16 urnem obratovalnem času



Slika 22: Prikaz tedenskih nihanja odpreme blaga



### Tip vozil

Floto lastnih in najetih vozil predstavljajo vozila od kombijev pa vse do prikoličarja. V Tabeli 3 je prikazana raznolikost vozil po različnih tipih in njihovih nosilnostih. Iz Tabele 3 je razvidno, da se trenutno uporablja za distribucijo 9 lastnih tipov vozil, ki so označeni s črko D in 7 najetih tipov vozil, ki so označena z črko N. Številka pred črko, ki označuje lastnika, pomeni nosilnost posameznega tipa vozil izražena v transportnih enotah. Takšne oznake so se vpeljale zaradi hitrejšega ločevanja med različnimi tipi vozil med samim procesom planiranja vozil.

Tipi vozil pa so z dostavnimi mesti povezani kot prikazuje Tabela 4.

*Tabela 3: Tipi vozil in njihova nosilnost*

Tip vozila	Nosilnost RLC	Nosilnost v kilogramih
6N	6	1.300
6D	6	1.300
8N	8	1.400
10D	10	3.000

12D	12	3.000
15D	15	2.850
21D	21	6.500
21N	21	6.500
24D	24	7.500
24N	24	7.500
27D	27	7.500
27N	27	7.500
30D	30	9.500
30N	30	9.500
54D	54	24.000
54N	54	24.000

### Transporte enote

Na odpremnih conah kjer se uporablja RPS se za transport uporabljata dva tipa transportnih enot. Normalna transportna enota (namenjena prevozu blaga na normalni ambientalni temperaturi) ali krajše RLC (angl. *Roll Container*) in izolacijska transportna enota (namenjena prevozu ohlajenega ali zamrznjenega blaga) ali krajše IRLC (angl. *Insulated Roll Container*), ki sta prikazani v prilogi 3 in 4.

Pri samem planiranju vozil sistem RPS podpira in tudi razporeja tri kapacitetne omejitve in zato uporabljajo kot prvo transportne enote, kot drugo težo in kot tretje volumen blaga. Zaradi specifične trgovske branže, se v večini primerov dosegajo maksimalne omejitve vozil s transportnimi enotami, se pravi, da so vozila relativno manj zasedena po teži in volumnu in veliko bolj s transportnimi enotami. Iz tega razloga je bila sprejeta odločitev, da je prva prioriteta pri planiranju transportna enota in šele na to teža in volumen.

Zaradi dejstva, da je uveden sistem transportnih enot, se pri reševanju planiranja vozil s časovnimi okni srečamo in rešujemo celoštevilski optimizacijski problem, kar še dodatno oteži reševanje problema planiranja vozil.

### Matrica združljivosti tipov dostavnih mest in tipov vozil

Tabela 4 predstavlja tipe dostavnih mest od A, ki je "najmanjši" in ga lahko oskrbujejo zgolj z najmanjšimi dostavnimi vozili (nosilnost 6 ali 8 transportnih enot) pa vse do G, ki je "največji" tip dostavnega mesta, ki ga lahko oskrbujemo. I tip dostavnega mesta pa je posebnost in sicer so to dostavna mesta, ki imajo določen dostavni režim, kot so mestna središče, za oskrbo katerih potrebujemo posebne dovolilnice.

Iz matrice združljivosti je razvidno, da lahko najmanjša vozila (nosilnost 6 in 8 transportnih enot) dostavljajo blago k vsem dostavnim mestom od A do G, največja pa izključno samo k dostavnim mestom, ki so primerna za njih.

Samo ta podatek pa ne pove dovolj, kajti potrebno je pogledati tudi nosilnosti določenih vozil in iz česar razberemo, da bi, na primer, za oskrbo dostavnega mesta tipa G, ki bi naročilo 100 transportnih enot blaga morali z vozilom nosilnosti 6 transportnih enot izvesti kar 17 voženj ali z vozilom nosilnosti 54 transportnih enot samo 2 vožnji. Če to povežemo še s številom potrebnih prevoženih kilometrov za takšno oskrbo je jasno, da je ekonomičnost na strani večjih dostavnih vozil. Iz tega sledi, da v floti prevladujejo vozila z nosilnostjo 24, 27 in 30 transportnih enot, ker je tudi število dostavnih mest temu primerno.

Tabela 4: Matrica združljivosti

		TIP DOSTAVNEGA MESTA							
		A	B	C	D	E	F	G	I
TIP VOZILA	6D	X	X	X	X	X	X	X	X
	6N	X	X	X	X	X	X	X	
	8N	X	X	X	X	X	X	X	
	10D		X	X	X	X	X	X	X

	12D		X	X	X	X	X	X	X
	15D		X	X	X	X	X	X	X
	21D			X	X	X	X	X	
	21N			X	X	X	X	X	
	24D				X	X	X	X	
	24N				X	X	X	X	
	27D					X	X	X	
	27N					X	X	X	
	30D						X	X	
	30N						X	X	
	54D							X	
	54N							X	

### 2.3 Strategije planiranja

RPS ponuja tri osnovne strategije za reševanje problema planiranja vozil. Strategija se izbere glede na način kako dobimo v sistem podatke in glede na način dela, ki ga ima podjetje ali distributer. Za samo strategijo se je potrebno odločiti pred pričetkom implementacije sistema RPS v podjetje, ker jo je naknadno težko ali skoraj nemogoče spremeniti. Cilj izbire strategije je izdelava datoteke naročil, ki se bo uporabljala pri reševanju problema planiranja vozil.

V distribuciji lahko govorimo o treh osnovnih strategijah optimizacije vozil. Izbira strategije je pogojena z branžo v kateri se storitveno podjetje nahaja in načinom dela. Podjetje Mercator d.d. se je odločilo za strategijo optimizacijo prevoženih kilometrov zaradi narave njihovega poslovanja.

## **1. strategija: Optimizacija prevoženih kilometrov**

Optimizacija prevoženih kilometrov ali optimiziranje na podlagi določenih urnikov dostav je optimizacija pri katerem dostavna mesta že imajo določen dan in uro kdaj bodo imela dostavo. Torej urnik dostav je že določen in se ga pri obdelavi naroči in planiranju vozil ne spreminja.

To je optimizacija prevoženih kilometrov, ker morajo vse stranke dobiti naročeno blago ne glede na količino naročenega blaga, točno na določen dan v tednu in uro znotraj dneva, čeprav to ni optimalno z vidika virov. Potrebno je zgraditi takšne poti, da bo vse blago dostavljeno z upoštevanjem vseh omejitev in z najmanj možnimi prevoženimi kilometri in z najmanjšim možnim številom za to potrebnih vozil pri čemer je težnja po uporabi lastnega voznega parka.

Pri takšni strategiji je potrebno nenehno usklajevanje urnikov dostav glede na letni čas in morebitne spremembe pri dostavnih mestih. Dostavnim mestom se lahko zaradi določenih razlogov spremeni količina naročenega blaga ali pa se spremeni tip dostavnega mesta (npr. preureditev dostavnega mesta), lahko se spremeni zakonodaja (npr. prepoved vožnje tovornih vozil čez vikend).

Usklajevanje je potrebno tudi zaradi virov, da znotraj tedna dosežemo čim bolj enakomerno obremenitev tako vozil, voznikov kot tudi odpremnih cen.

Strategija optimizacija prevoženih kilometrov ja namenjena podjetjem, ki upravljajo distribucijo na prostem trgu in za podjetja z lastno distribucijo, ki svoje produkte ponujajo na prostem trgu. Namenjena je torej optimizaciji prevozov v špediterske namene in trgovskim verigam.

## **2. strategija: Optimizacija virov**

Optimizacija virov ali optimiziranje na podlagi določene frekvence dostav. Pri takšnem optimiziranju imajo dostavna mesta določeno frekvenco tedenskih dostav, nimajo pa točno določenih dni v tednu. Takšni strategiji lahko rečemo tudi optimizacija virov.



V naprej imamo točno določeno število in tipe vozil in glede na razpoložljiva sredstva opravimo optimizacijo skozi celoten teden. S številom in tipom vozil, ki jih imamo na razpolago pa lahko optimiziramo tudi vire na odpremni coni.

Upoštevamo lahko statistične podatke ali dejanska naročila in na podlagi tega določimo kdaj se bo peljalo kateremu dostavnemu mestu in koliko. To za dostavna mesta pomeni, da ne morejo v naprej planirati točno kdaj bodo dobila naročeno blago in koliko ga bodo dobila. Dostavna mesta imajo na razpolago določen tip vozila, ki jih oskrbuje in nič več. Zato se morajo sama odločiti koliko, kaj in kdaj bodo naročila. V primeru optimizacija virov je potrebno dostavnim mestom omogočiti polnjenje vozil z naročenim blagom. Torej, da pri samem naročanju vidijo zasedenost dostavnega vozila in se lahko sami odločijo kaj bodo naročili in v kakšni količini.

Ker je s takšno strategijo zelo težko priti do odločitve kaj se bo posameznem dostavnem mestu dostavilo in kaj ne, je takšna strategija primerna za dostavo znotraj lastne mreže dostavnih mest.

Namenjeno je podjetjem, ki opravljajo distribucijo za trgovske verige, ki svojih produktov ne prodajajo zunanjim kupcem. To so podjetja, ki imajo zaprt krog dostavnih mest in so v večini primerov njihove lastne prodajalne, ali za storitvena podjetja, ki se ukvarjajo z zbirniškimi in linijskimi prevozi blaga, ki imajo na razpolago točno določeno število vozil na neki liniji in, ko so kapacitete le teh zasedene, se presežki peljejo naslednji dan.

### **3. strategija: Optimizacija področja dostav**

Optimizacija področja dostave je strategija izdelave teritorialnih poti. To strategijo lahko uporabimo, ko ima neko področje relativno konstantno število naročil, količino blaga in količino dostavnih mest, za katerega je potrebno opraviti storitev.

S to strategijo se izvaja optimizacija določeno področje, ki ga lahko pokriva eno vozilo znotraj delovnega časa. Dnevno se optimizira njegovo področje tako, da se opravijo storitve pri vseh dostavnih mestih z naročilom z najmanjšim možnim številom prevoženih kilometrov.

Tipično področje za uporabo takšne strategije je dostava in pobiranje paketov ali pisem. Kajti v naprej ne moremo predvideti niti tedenske frekvence niti urnikov storitev pri dostavnih mestih. Dostavna mesta se namreč za storitev odločajo, ko jo potrebujejo in ne smemo jih omejevati z omejitvami. Torej, ko voznik opravlja storitve, mu lahko dodajamo vmesna pobiranja ali pa se pobiranja planirajo po končani dostavi.

To je tudi tipičen način planiranja transporta z mejnimi stroški, ker imamo fiksne stroške na vozilo ne glede na zasedenost le tega.

## 2.4 Metode in hevristike sistema RPS

Sistem RPS ima predhodno definirane nekatere najbolj razširjene metode in algoritmov za reševanje problemov planiranja vozil z oknom dostave. V nadaljevanju bo opisano delovanje teh metod in algoritmov, ki jih Mercator d.d. uporablja pri dnevnem operativnem reševanju problema razporejanja vozil. Metode in algoritmi so v osnovi grajene na hevristikah, ki so bile predstavljene v teoretičnem delu naloge se pa v malenkostih razlikujejo. Žal se v samo strukturo (programsko kodo) posameznih metod in algoritmov, enostavno ne da pogledati, zato natančnih podatkov o samem delovanju posameznih metod in algoritmov ni mogoče podati. Vse metode in algoritmi so podani zgolj v opisni obliki v uporabniški dokumentaciji, ki je priložena programskemu orodju (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200).

### **Grow routes-construct new routes only**

Metoda izgradja poti-gradji zgolj nove poti (angl. Grow routes-construct new routes only), zgradi nove poti z izbrano hevristiko (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Poti se ne dopolnjujejo ali dograjujejo. Nerazporejena dostavna mesta se ne dodajajo na poti, ki že imajo splanirane poti.

### **Grow routes- add to routes first, then construct new routes**

Metoda izgradnja poti-najprej dodajaj na obstoječe poti, nato gradi nove poti (angl. Grow routes-add to routs first, then construct new routes) je vsebinsko nadgradnja prejšnje, ki dopolnjuje novo zgrajeno pot do maksimalnih kapacitet z upoštevanjem omejitev, ki so podane (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Ko na obstoječo pot ni več mogoče dodajati naročil zaradi upoštevanja omejitev, pričnemo z izgradnjo nove poti.

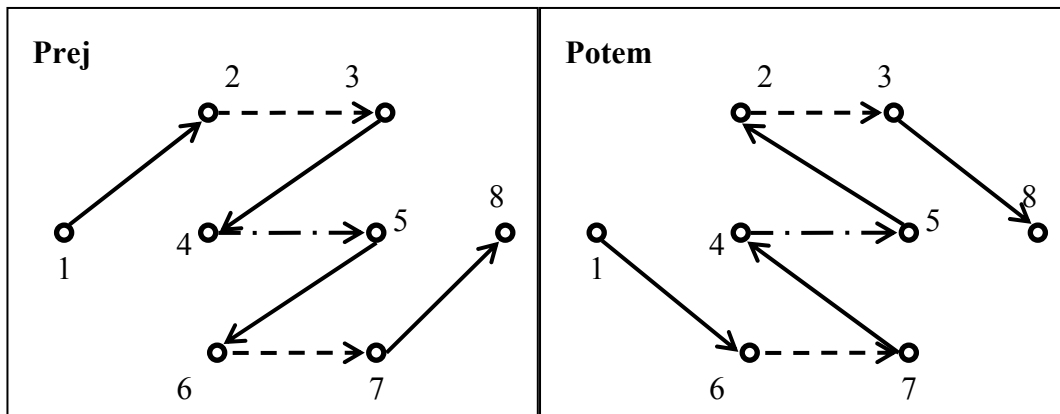
### **Resequence stops on route**

Metoda ponovno pregledj zaporedje postankov na poti (angl. Resequence stops on route) ali izboljšanje postankov na poti (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). S to metodo na zgrajeni poti lahko izboljšamo postanke kot je ro prikazano na Sliki 23. Pot se ponovno pregleda in se jo poizkusi popraviti in izboljšati z upoštevanje vseh omejitev.

Izboljšati se poizkuša število prevoženih kilometrov za dostavo vseh naročil na vozilu s tem, da se pri tem ne krši nobene izmed omejitev. V tem primeru so najpomembnejše časovne omejitve in sicer odpiralni čas skladišča, odpiralni čas stranke, delovni čas voznika in okno dostave. V okviru teh omejitev je zgolj dostavno okno omejitev, ki bi se jo dalo spremeniti za to, da bi bila pot optimalnejša.

Cena poti je v direktni korelaciji s prevoženo razdaljo, ker se cena oblikuje glede na prevoženo razdaljo, začetne stroške poti in ceno čakalne ure.

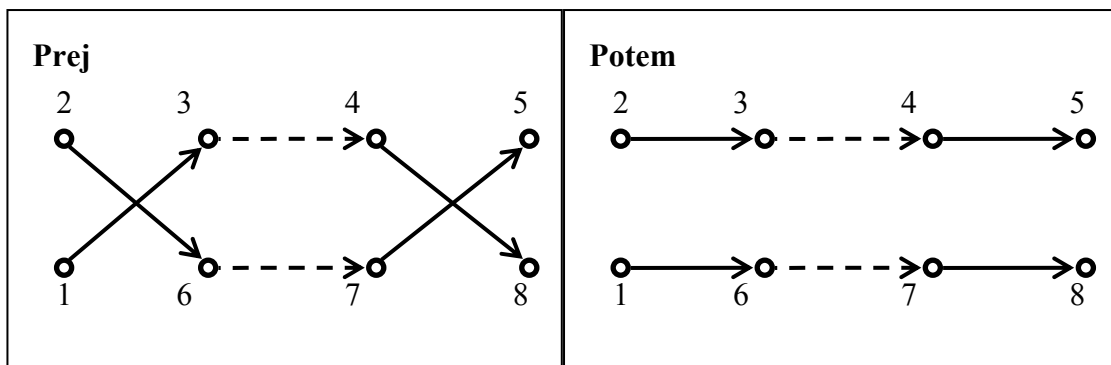
Slika 23: Prikaz delovanja resequence metode



### Swap orders between routes

Metoda zamenjave naročila med potmi (angl. Swap orders between routes) ali zamenjava naročil med že zgrajenimi potmi (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Metoda Swap orders between route pregleda vse do tedaj zgrajene poti in nato poizkuša zamenjati naročila med potmi z namenom izboljšanja celotnega plana poti., kot je to prikazano na Sliki 24.

Slika 24: Prikaz delovanja swap metode



### Schedule routes

Metoda razpored poti (angl. Schedule routes) ali ponoven preračun že zgrajenih poti, to metodo izberemo za ponoven preračun časov, ki so potrebni za posamezno pot (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Če spremenimo hitrost na posameznem odseku, moramo izvesti to metodo s katero dobimo nove pravilne čase. Prav tako je to metodo potrebno uporabiti v primerih ko ročno posegamo v izdelavo palna poti, kajti v tem

primeru se podrejo časi in jih je potrebno skorigirati. Normalno je ta metoda del hevristik in se jo zato redkeje uporablja.

### **Weighted constraint algoritem**

Uporablja se za dopolnjevanje obstoječih poti. Predhodno naj bi se uporabil drug algoritem (z omejitvami kotov) zato, da dobimo večji del naročil že po poteh. Nato se uporabi utežen omejitveni algoritem (angl. Weigted constraint algorithm), da dodamo na obstoječe poti ostanke naročil, ki še niso na poteh (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). To so ponavadi naročila, ki jih je težje splanirati na obstoječe poti.

Algoritem gradi poti sočasno in sicer najprej razvrsti vsa naročila, ki niso na poteh po predhodno definiranih prioritetah, nato pregleda najvišje postavljeno nerazvrščeno naročilo in izmeri razdaljo od dostavnega mesta do vseh obstoječih poti. Hkrati izmeri tudi razdaljo izdelave nove poti do dostavnega mesta. Izbere opcijo z najkrajšo razdaljo. Nato ponovi tak postopek za naslednje najvišje postavljeno nerazporejeno naročilo. Weigted constraint algoritem ni omejen z geografijo. Omejen je samo s predhodno definiranimi parametri. Ti parametri so: volumen vozila, časovno okno, združljivost, ...

### **Pie algoritem**

Tortni algoritem (angl. Pie algorithm) se lahko uporablja v katerikoli situaciji: čista dostava in pobiranje, mešana dostava in pobiranje ali pri raztresenem problemu (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200).

Za optimalno rešitev je potrebno postaviti razumno maksimalen kot okoli okostja poti. Skozi prakso se pokaže kateri kot je najprimernejši za reševanje posameznega primer. Algoritem gradi poti sočasno. Najprej razvrsti naročila po predhodno definiranih parametrih, nato pogleda najvišje postavljeno naročilo in poskuša dodati to naročilo na najboljšo možno pot pod pogojem najmanjšega kota. Če naročila ne more umestiti na obstoječo pot, naredi novo. Postopek se ponovi z naslednjim najvišje postavljenim naročilom.

## **Boundary algoritem**

Uporabljamo ga kadar podvomimo v maksimalen kot, ki smo ga določili s Pie algoritmom, ker deluje podobno kot Pie algoritem.

Mejni algoritem (angl. Boundary algorithm) dovoljuje, da se določi nabor kotov in število ponovitev, ki jih upošteva znotraj nabora (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Boundary algoritem reši problem z uporabo najmanjšega kota v danem naboru. Rešitev obdrži, zgodovino pa počisti. Nato se ponovno loti reševanja problemov, tokrat z malo večjim kotom znotraj nabora. Ta postopek ponavlja dokler ni rešil problema z največjim kotom znotraj nabora. Boundary algoritem ugotovi kateri kot mu je nudil najboljšo rešitev. Nato s tem kotom reši ves problem.

## **Nearest neighbour algoritem**

Algoritem se uporablja za dodajanje naročil na najbližjo pot. Algoritem najbližjega sosedu (angl. Nearest neighbour algorithm) gradi poti s poizkušanjem dodajanja naročil sosednjim oz. najbližjim dostavnim mestom na isti poti (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Lahko se določijo meje oz. robovi znotraj katerih se dostavna mesta dodajajo poti. Dostavna mesta, ki so najbližja dostavnim mestom na že obstoječi poti, se bodo skušala dodati prva. Pot se bo polnila oz. gradila dokler ne bo dosegla skrajnih robov oz. meje.

Nearest neighbour algoritem sestavlja poti sekvenčno oz. zaporedno. Naročila so razvrščena po pogojih prioritete, ki so lahko teža, razdalja ali poljubno. Algoritem trosi dostavna mesta ali znotraj predhodno definiranega trosnega radia lokacij ali če pot ne dosega predhodno določene kapacitete bo od predhodno definiranega kota dodan poti, najmanjši kot. Če ni več dostavnih mest znotraj področja, bo algoritem pogledal malo večji kot znotraj predhodno definiranega kota in bo poskusil dodati dostavna mesta znotraj tega (razširjenega) področja. Če pot doseže maksimalno kapaciteto ali če ni več dostavnih mest znotraj maksimalnega predhodno definiranega kota, je pot končana. Algoritem začne z gradnjo poti z naslednjim najvišje razvrščenim dostavnim mestom.

## **Nearest pass algoritem**

Algoritem najbližjega prehoda (angl. Nearest pass algorithm) uporablja stroškovni prirastek kot metodo za ugotavljanje h kateri poti naj bi se dodalo katero dostavno mesto (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200).

Nearest pass algoritem deluje v dveh fazah (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200):

1. faza: Če pot obstaja, nearest pass algorithm razvrsti vsa nerazporejena dostavna mesta po prioriteth pogojih in jih skuša dodati že obstoječim potem po prioriteth najnižjih stroškov.
2. faza: Po poskušanju dodajanja nerazporejenih naročil na obstoječe poti, nearest pass algorithm postane zaporedni graditelj novih poti. Naredi pot z najvišjo prioriteth in ji nato doda dostavna mesta, ki pot stroškovno najmanj obremenijo.

Ko se zapolnijo kapacitete ali obstajajo druge omejitve ali zadržki, bo nearest pass algoritem zgradil novo pot, z dostavnim mestom ki ima najvišji rang med nerazporejenimi.

## **Cluster algoritem**

Algoritem grozdenja (angl. Cluster algorithm) primeren za pričetek gradnje novih poti (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Je primeren za dostavna mesta, ki so dovolj skupaj, da tvorijo skupino ali grozd. Hkrati potrebujemo dodatni algoritem za dopolnjevanje poti. Cluster algoritem gradi poti sekvenčno. Za sejanje rajši uporabi metodo grupiranja, kot metodo razporejanja. Metodo grupiranja uporabi za naročila, ki gredo v isto smer ali naročila, ki so dovolj skupaj, da dajo povod za novo pot. Cluster algoritem dodaja dostavna mesta potem, ki so nerazporejena znotraj predhodno definiranega radia.

## **Saving algoritem**

Varčevalni algoritem (angl. Saving algorithm) dodaja na poti kot prva dostavna mesta pri katerih se največ prihrani (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Uporablja faktor prihrankov, da ugotovi katera dostavna mesta naj se dodajo na pot.

Algoritem gradi poti sekvenčno. Dostavno mesto, ki je najvišje razporejeno bo začelo pot. Saving algoritem bo nato gradil pot z dodajanjem nerazporejenih dostavnih mest, ki bodo dosegla največje prihranke. Faktor prihrankov se izračunava s primerjavo stroškov izdelave posamezne nove poti za naročilo in stroškov, ki nastanejo z dodajanjem naročila na pot v izdelavi.

## **Add to existing routes algoritem**

Algoritem dodajanja na obstoječe poti (angl. Add to existing routes algorithm) se uporablja za dodajanje nerazporejenih dostavnih mest na obstoječe poti, ki bodo dosegle največje prihranke (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Pred tem algoritmom moramo uporabiti drugi algoritem, ki naredi nove poti. Nato se uporabi add to existing routes algoritem z uporabo oportunističnega faktorja.

Algoritem izračuna stroške izdelave nove posamezne poti za vsako od nerazporejenih dostavnih mest, nato izračuna stroške vstavitve vsakega od nerazporejenih dostavnih mest na vse že obstoječe poti. Razlika med stroški vstavljanja na obstoječo pot in izdelavo nove poti so prihranki. Za vsako nerazporejeno dostavno mesto nato algoritem vzame dve poti, ki imata največje prihranke. Oportunitetni faktor je izračunan s primerjavo privarčevanega med tema potema. Dostavno mesto z največjim oportunističnim faktorjem je dodano poti z največjim prihrankom.

## **Tree algoritem**

Drevesni algoritem (angl. Tree algorithm) se uporablja pri minimiziranju potovanja na prvi ali zadnji stranici poti (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Tree algoritem uporablja razdaljo kot osnovo za izračun in ugotovitev, katero naročilo naj bi se dalo na pot.



Tree algoritem gradi sekvenčno, dostavno mesto z najvišjim pragom prioritete odreja pot. Algoritem gradi pot z dodajanjem nerazporejenih dostavnih mest pri katerih je skupna vsota razdalje med kandidatovim dostavnim mestom in začetnim dostavnim mestom in med odpremno cono in kandidatovim dostavnim mestom najmanjša.

### **Profitable backhauler algoritem**

Algoritem dobičkonosnege povratne poti(angl. Profitable backhauler algorithm) uporabimo pri povratnih vožnjah, ki bi nam lahko ustvarjale dobiček (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200). Najprej uporabimo druge algoritme, da razporedimo poti, nato poženemo profitable backhauler algoritem. Dodal bo samo pobiranja, pri dostavnih mestih, ki so dobičkonosna.

Profitable backhauler algoritem dodaja samo že obstoječim potem. Izbira dostavna mesta, ki so označena, z vrednostjo dobička, zato morajo imeti takšna dostavna mesta dohodkovno vrednost. To je dejanska vrednost, ki jo dobimo, če opravimo storitev pobiranja pri dostavnem mestu sami namesto zunanjega izvajalca. Algoritem bo dodal pobiranje na obstoječo pot samo v primeru, če bo dobiček večji od stroškov.

### **Sourcing router algoritem**

Algoritem začetka poti (angl. Sourcing router algorithm) uporabimo kadar nimamo predhodno določene začetne odpremne cone za posamezno dostavno mesto in želimo, da algoritem izbere začetno odpremno cono na podlagi stroškov (SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup>, 2004, str. 10-200).

Algoritem gradi poti sočasno in za ugotovitev najboljše kombinacije pot-začetek, algoritem ustvari stroške izdelave naročila za dostavno mesto v vseh kombinacijah odpremna cona-razpoložljive poti. Če ima naročilo za dostavno mesto  $k$  skladišč in  $r$  poti (vključuje pot, ki jo lahko naredi naročilo), algoritem izbere najboljšo kombinacijo odpremna cona-pot iz  $kr$  proizvedenih objektov. Na podlagi tega izbora bo ali obstoječa pot zrasla ali pa se bo ustvarila nova.

## 3 IMPLEMENTACIJA OPUSTITVE ČASOVNIH OKEN DOSTAVE

### 3.1 Predstavitev problema

Kot se je v dosedanjem delu izkazalo je časovno okno dostave velika ovira pri optimizaciji dostave blaga.

Časovno okno resda veliko prinese na samem nivoju kakovosti storitve, hkrati pa povzroči veliko nepotrebnih stroškov, ki bi se jih dalo prihraniti.

V nadaljevanju bomo poizkušali prikazati velikost teh prihrankov.

Okno dostave je ura ali del dneva, v katerem je potrebno opraviti storitev za dostavno mesto z naročilom. V podjetju Mercator d.d. se trenutno uporablja 7 "mehkih" časovnih oken dostave, ki so fiksna in jih ni mogoče poljubno premikati znotraj dneva.

Nekaj izmed časovnih oken dostave se med seboj prekriva, nekaj pa ne zaradi praktičnih razlogov. Prvi razlog je zamenjava delovne sile pri dostavnih mestih, ki je med 12:30 in 13:30 in so zato v tem času dostavna mesta bolj obremenjene z drugim delom. Drugi razlog neprekrivanja nekaterih časovnih oken je zamenjava voznikov na vozilih, ki so v obratovanju čez cel dan. Večina vozil je zasedenih z dvojno posadko voznikov. To pomeni, da se na enem vozilu izmenjata dva voznika, zato je vozilo izkoriščeno v dveh izmenah. S tem je dosežen optimalnejši izkoristek voznega parka.

Nemalokrat so časovna okna dostave ovira pri ooptimizaciji distribucije. Spremenljivka, ki se iz dneva v dan spreminja, je količina naročenega blaga, ki ga je potrebno dostaviti, zato le ta v veliki meri vpliva na optimizacijo prevoženih razdalj glede na razpoložljive vire. Ker je pri planiranju vozil potrebno upoštevati fiksna časovna okna dostave, ki niso odvisna od sezone ali količine naročenega blaga, le ta onemogočajo boljšo optimizacijo prevoženih razdalj.

Iz Slike 22 so lepo razvidna tedenska nihanja znotraj enega leta. Ta nihanja so poglaviti razlog zakaj bi bila opustitev časovnih oken dostave potrebna. Kar pomeni opustitev ali neupoštevanje "mehkih" časovnih oken dostave.

Zaradi časovnih oken dostave se povečuje število prevoženih kilometrov in s tem posledično povečujejo transportni stroški. Iz te predpostavke sledi, da bi se morale prevožene razdalje pri opustitvi časovnih oken dostave zmanjšati.

### 3.2 Predpostavke

Če upoštevamo predpostavke, da je na odpremni coni zagotovljena izhodna kontrola s tehtanjem, s čimer se zagotavlja visoka pravilnost dostavljenega blaga na dostavna mesta. Zato na dostavnem mestu ni potrebna količinska vhodna kontrola vsebine dostavljenega blaga ampak zgolj količinska kontrola pripeljanih transportnih enot in prevzem spremne dokumentacije. Iz te predpostavke sledi, da je dostavni čas znotraj delovnega dne nepomemben.

V primeru Mercatorjevih prodajnih mest, ki imajo urejeno avtomatsko naročanje blaga, mora zaloga zadostovati vsaj še za naslednji dan po dostavi, zato ni potrebno takojšnje popolnjevanje ali dopolnjevanje polic. Tudi iz te predpostavke sledi, da čas znotraj dneva dostave ni pomemben.

Potrebno je tudi upoštevati dejstvo, da se distribucija svežih izdelkov, kot so mleko in mlečni izdelki, meso, kruh sadje in zelenjava, izvaja ločeno. Za tovrstne izdelke je čas dostave znotraj dneva še kako pomemben.

### 3.3 Omejitve

Za dokazovanje hipoteze v diplomski nalogi je obdelana le ena od Mercatorjevih odpremnih con, ki je po količini odpremljenega blaga največja. Na tem vzorčnem primeru bom poizkušal potrditi ali ovreči hipotezo.

Do kakšne mere uvesti opustitev časovnih oken dostave je seveda strateško vprašanje, ki bi ga bilo potrebno rešiti s konsenzom.

V simulaciji prihrankov bom prikazal 2 možni opustitvi časovnih oken dostave:

- primer 1: opustitev se v popolnosti uvede samo pri Mercatorjevih lastnih maloprodajnih trgovinah. V tem primeru se Mercatorjevim lastnim dostavnim

mestom blago lahko dostavi kadar koli med odpiralnim časom. Kot časovna omejitev služi zgolj strankin odpiralni čas, ki je "trdo" časovno okno;

- primer 2: opustitev se v popolnosti uvede pri vseh dostavnih mestih. V tem primeru se vsem dostavnim mestom blago lahko dostavi zgolj med njihovim odpiralnim časom.

Za dokazovanje hipoteze so bili kot primer vzeti štiri referenčni dnevi, na katerih so se opravila testiranja planiranja vozil.

Dnevi so bili izbrani na podlagi prepeljanih količin blaga in sicer (kot je razvidno iz Tabele 5):

- dan A z minimalno količino naročenega blaga;
- dan B s povprečno količino naročenega blaga;
- dan C z relativno visoko količino naročenega blaga;
- dan D z maksimalno količino naročenega blaga.

V Tabeli 5 je za primerjavo navedeno število strank, število naročil, število transportnih enot in teža, kajti ti štiri dejavniki v največji meri vplivajo na velikost plana planiranih vozil. Števila v Tabeli 5 predstavljajo indekse v obsegu glede na dan D.

*Tabela 5: Prikaz referenčnih dni v primerjavi z maksimalnim dnevom D*

	Dan A	Dan B	Dan C	Dan D
Število strank	54,07	89,53	98,26	100
Število naročil	70,83	81,73	86,86	100
Število transportnih enot	44,78	76,14	90,65	100
Teža	36,01	69,83	92,15	100

### 3.4 Opis testiranja

Pri vseh štirih dneh je uporabljena enaka metoda planiranja vozil in sicer kombinacija različnih heuristik in metod opisanih v poglavjih 5.4.2 in 5.4.1. Proces planiranja vozil je zelo specifičen za podjetje Mercator d.d. in kot tak plod dolgotrajnega dela in

raziskovanja in je poslovna skrivnost. Zaradi tega natančna analiza in struktura samega reševanja problema planiranja vozil ni opisana.

Vsi štirje dnevi so se planirali v treh načinih in sicer:

- primer 0: bo služil kot referenčni izračun načrtovanih poti. Časovna okna dostave se v celoti spoštujejo in ne kršijo pri izdelavi plana poti;
- primer 1: opustitev časovnih oken dostave se v popolnosti uvede samo pri Mercatorjevih lastnih dostavnih mestih. V tem primeru se Mercatorjevim lastnim dostavnim mestom lahko dostavi kadar koli med odpiralnim časom. Kot časovna omejitev služi zgolj odpiralni čas dostavnega mesta;
- primer 2: opustitev časovnih oken dostave se v popolnosti uvede pri vseh dostavnih mestih. V tem primeru se vsem dostavnim mestom lahko dostavi kadarkoli med odpiralnim časom.

Med testiranjem se je upošteval dejanski vozni park, ki je bil na razpolago na opazovani dan, in se med testiranjem različnih primerov ni spreminjal. Prav tako so med testiranjem spoštovane vse ostale omejitve za problem reševanja planiranja vozil, kot so tip dostavnega mesta, odpiralni čas, razdalje, hitrosti na cestnih odsekih...

Kot parametre, ki so se primerjali med seboj, služijo:

- število vseh poti;
- vsota vseh prevoženih razdalj;
- vsota vseh potrebnih časov;
- število vseh postankov;
- število prepeljanih transportnih enot;
- vsota prepeljane teže;
- izkoriščenost vozil gledano na transportne enote;
- izkoriščenost vozil gledano na težo blaga;
- povprečno potrebno prevoženo razdaljo za dostavo ene transportne enote;
- povprečno potrebno prevoženo razdalo za dostavo enega kg blaga.

V analizi bomo opazovane parametre primerjali tudi za lastni in najeti vozni park. Obremenjenost lastnega voznega parka je namreč zelo pomemben dejavnik pri

planiranju vozil. Razumljivo je, da je cilj kar najvišja možna izkoriščenost lastnega voznega parka.

Analiza bo vsebovala tudi obdelavo število dostavnih mest in njihovih naročil, ki se jim bo opustilo časovno okno dostave.

Prav tako bo v analizi narejena primerjava točnosti dostav. To pomeni, koliko se da približati dogovorjenemu časovnemu oknu dostave, kljub opustitvi časovnih oken dostave. Iz te analize bo razviden odstotek kršitev časovnih oken dostave.

### 3.5 Rezultati testiranja

Rezultate testiranja bomo predstavili za vsak dan posebej in sicer v treh tabelah.

V tabeli "Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave" za posamezen dan so izražena odstopanja med izhodiščem (Primer 0) in ostalima dvema Primeroma 1 in 2. Vsi rezultati bodo predstavljeni v odstotkih.

V tabeli "Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave" pri posameznem dnevu prikazuje odstotek strank, naročil, transportnih enot in teže za vsakega izmed testiranj (Primer 0, 1 in 2), ki smo jim v posameznem primeru opustili časovna okna dostave.

V tabeli "Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi" za posamezen dan predstavlja odstotek naročil, pri katerih se je v posameznem primeru kršilo časovno okno dostave:

- -1 pomeni, da bi se storitev končala eno časovno okno prezgodaj;
- 0 pomeni, da bi se storitev končala pravočasno;
- +1 pomeni, da bi se storitev končala eno časovno okno prepozno;
- +2 pomeni, da bi se storitev končala dve časovni okni prepozno.

Na primer: Če ima stranka normalno dostavo med 06:00 in 13:00 (5. časovno okno dostave), po opustitvi pa ji je bilo blago dostavljeno po 17:00 uri (4. časovno okno) to pomeni, da smo kršili +1 časovno okno dostave.

#### DAN A

Najprej pogledjmo izhodišče za Primer 0 za dan A, Dan A0:

- ker je to minimalni dan, naj bi lastna vozila opravila zadovoljivih 75 odstotkov vseh prevoženih razdalj;
- glede na manjše količine blaga je posledično tudi izkoriščenost vozil nekoliko manjša.

Dan A1:

- iz Tabele 7 je razvidno, da je bila v primeru 1 pri planiranju predvidena opustitev časovnih oken dostave za 61,39 odstotkov dostavnih mest;
- ker so bila to zgolj naročila Mercatorjevih lastnih dostavnih mest, so prihranki v prevoženih razdaljah (Tabela 6) le 1,78 odstotkov;
- lastni vozni park je v nasprotju s pričakovanji tudi prevozil nekaj manj razdalje in sicer 0,47 odstotkov;
- zmanjšala se je tudi vsota vseh potrebnih časov za 0,87 odstotkov.
- iz Tabele 8 je razvidno, da je bilo v 27,06 odstotkih kršeno časovno okno dostave.

Dan A2:

- Pri planiranju je bila predvidena opustitev vseh časovnih oken dostave (Tabela 7);
- prihranki na skupni vsoti vseh prevoženih razdalj so kar 4,61 odstotkov;
- lastni vozni park sicer prevozi nekaj manj razdalj (2,49 odstotkov), zato pa je nekoliko bolj časovno obremenjen (2,52 odstotkov);
- lastni vozni park je dostavil za 6,34 odstotkov več transportnih enot in za 5,31 odstotkov večjo težo;
- izkoriščenost vozil, gledano tako po transportnih enotah (4,58 odstotkov) kot tudi po teži (4,45 odstotkov), se je povečala;
- število potrebnih prevoženih km za dostavo ene transportne enote (6,78 odstotkov) in enega kilograma (3,62 odstotkov) so se zmanjšali;
- v 34,90 odstotkih so se kršila časovna okna dostave (Tabela 8).

Dobljeni rezultati so v okviru pričakovanega, kajti v primeru manjših količin naročenega blaga pride opustitev časovnih oken dostave najbolj do izraza. Pri relativno majhni količini naročenega blaga je tudi število "one stop delivery" dostav (dostav blaga s tovornim vozilom samo na eno dostavno mesto, pri čemer je količina dostavljenega blaga enaka celotni kapaciteti vozila) ustrezno nižje. Ob takih dnevih, ko je celotna količina blaga za distribucijo relativno majhna, tudi tista dostavna mesta, ki navadno

naročajo večje količine in so primerna za »one stop delivery«, naročajo manjše količine blaga. Posledično je več razdrobljenih voženj z večimi dostavnimi mesti na vozilu. Iz tega razloga pride do omejitev zaradi upoštevanja časovnih oken dostave. Zato je prihranek 4,61 odstotkov zelo dober in v okviru pričakovanih 5,00 odstotkov. Boljšega rezultata v že tako urejenem sistemu in ob vseh znanih omejitvah niti ne gre pričakovati. Izboljšanje dobljenega rezultata bi lahko šlo le v smeri boljše izkoriščenosti lastnega voznega parka, vendar bi za to morali ustrezno spremeniti tipe vozil, da bi se strukturno bolje prilagajali tipom obiskanih dostavnih mest.

Tabela 6: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan A

	Dan A0			Dan A1			Dan A2		
	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj
Vozila									
Število poti	81,82	18,18	100,00	-0,65	-1,95	-2,60	2,60	-3,90	-1,30
Vsota prevoženi razdalj	75,31	24,69	100,00	-0,47	-1,30	-1,78	-2,49	-2,11	-4,61
Vsota vseh potrebnih časov	76,33	23,67	100,00	0,96	-1,83	-0,87	2,52	-4,57	-2,05
Št. vseh postankov	77,55	22,45	100,00	-0,41	1,22	0,82	4,90	-4,49	0,41
Št. Transportnih enot	76,24	23,76	100,00	3,83	-3,83	0,00	6,34	-6,34	0,00
Teža	80,95	19,05	100,00	3,79	-3,79	0,00	5,31	-5,31	0,00
Povprečje KGUtil	76,76	60,01	73,72	4,64	-2,95	3,72	3,41	4,83	4,45



Povprečje RLCUtil	77,08	82,93	78,15	5,33	-1,07	4,15	5,21	2,77	4,58
Povprečje KM/TE	92,71	132,82	100,00	-6,10	44,95	1,80	-13,28	41,91	-6,78
Povprečje KM/KG	87,12	157,94	100,00	-4,50	52,04	3,85	-9,07	46,77	-3,62

Tabela 7: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu A

Odstotkov	Št. strank	Naročil	RLC	KG
Dan A0	0,00	0,00	0,00	0,00
Dan A1	61,39	67,84	84,95	84,96
Dan A2	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 8: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan A

Odstotkov	-2	-1	0	1	2	3
Dan A0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Dan A1	0,39	13,73	72,94	12,16	0,78	0,00
Dan A2	0,39	17,65	65,10	15,69	1,18	0,00

## DAN B

Dan B0:

- ker je to povprečen dan, je izkoriščenost lastnega voznega parka izredno visoka in sicer lastna vozila prevozijo kar 93,65 odstotkov vseh potrebnih razdalj;
- lastna vozila prevozijo kar 97,38 odstotkov vseh transportnih enot, kar je izjemen rezultat.

Iz tega je razvidno kako lahko na izdelavo plana poti vpliva vozni park, ki je na opazovani dan bil na razpolago.

Naslednja ugotovitev je, ker je blaga potrebnega za dostavo več, so zato posamezna vozila in poti bolj izkoriščena. Posledično je zato več prevoženih razdalj opravljenih z lastnim voznim parkom.

Dan B1:

- iz Tabele 10 je razvidno, da je bilo v primeru 1 pri planiranju predvidena opustitev časovnih oken dostave za 61,72 odstotkov dostavnih mest;
- a ker so bila to zgolj naročila lastnih dostavnih mest, so prihranki v prevoženih razdaljah (Tabela 9) le 0,40 odstotkov;
- lastni vozni park je prevozil nekaj več razdalje in sicer 3,48 odstotkov;
- zmanjšala se je tudi vsota vseh potrebnih časov za 0,07 odstotkov, lastni vozni park pa je potreboval za 2,78 odstotkov več časa;
- izkoriščenost vozil po transportnih enotah se je povečala za 3,34 odstotkov;
- iz Tabele 11 pa je razvidno, da je prišlo do kršitve časovnega okna dostave v 28,96 odstotkih.

Dan B2:

- Pri planiranju je bila predvidena opustitev vseh časovnih oken dostave (Tabela 10);
- prihranki na skupni vsoti vseh prevoženih razdalj so 3,07 odstotkov;
- lastni vozni park sicer prevozi nekaj več razdalj (1,40 odstotkov), a manj kot pri testiranju B1 in sicer za dobra 2,08 odstotkov manj;
- lastni vozni park je dostavil za 2,36 odstotkov več transportnih enot in za 2,82 odstotkov večjo težo;
- izkoriščenost vozil gledano, tako po transportnih enotah (6,69 odstotkov) kot tudi po teži (6,80 odstotkov), se je povečala in je dosegel kar 85,20 odstotkov izkoristek vozil gledano po transportnih enotah, kar je zavidljiv podatek;
- število potrebnih prevoženih km za dostavo ene transportne enote (10,52 odstotkov) in enega kilograma (16,02 odstotkov) so se zmanjšali;
- v 35,29 odstotkih pa so se kršila časovna okna dostave (Tabela 11).

Tabela 9: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan B

Vozila	Dan B0			Dan B1			Dan B2		
	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj
Število poti	95,70	4,30	100,00	-3,23	-2,15	-5,38	-4,30	-3,23	-7,53
Vsota prevoženih razdalj	93,65	6,35	100,00	3,48	-3,88	-0,40	1,40	-4,47	-3,07
Vsota vseh potrebnih časov	95,41	4,59	100,00	2,78	-2,85	-0,07	1,67	-3,37	-1,70
Št. vseh postankov	96,80	3,20	100,00	0,91	-1,37	-0,46	1,83	-2,28	-0,46
Št. Transportnih enot	97,38	2,62	100,00	2,17	-2,17	0,00	2,36	-2,36	0,00
Teža	96,90	3,10	100,00	2,57	-2,57	0,00	2,82	-2,82	0,00
Povprečje KGUtil	68,20	66,43	68,13	1,95	8,83	2,16	6,63	14,30	6,80
Povprečje RLCUtil	80,39	67,92	79,85	3,37	-12,00	3,34	6,29	-1,56	6,69
Povprečje KM/TE	84,14	452,82	100,00	9,27	-41,44	0,64	-0,44	127,26	-10,52
Povprečje KM/KG	83,21	473,53	100,00	5,14	-153,7	-6,39	-3,83	1,02	-16,02

Tabela 10: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu B

Odstotkov	Št. strank	Naročil	RLC	KG
Dan B0	0,00	0,00	0,00	0,00
Dan B1	61,72	63,80	81,94	82,47
Dan B2	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 11: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan B

Odstotkov	-2	-1	0	1	2	3
Dan B0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Dan B1	0,45	14,93	71,04	13,12	0,45	0,00
Dan B2	0,00	18,55	64,71	16,29	0,45	0,00

Rezultati so pokazali, da kljub temu, da so bili že rezultati B0 izredno dobri kar se tiče prepeljanih razdalj lastnih vozil, se dajo le ti še popraviti z opustitvijo časovnih oken dostave.

Končni rezultat prihrankov prevoženih razdalj je bil 3,07 odstotkov, kar je sicer manj od pričakovanega a kljub temuzadovoljivo.

## DAN C

Dan C0:

- ker je to dan z relativno visoko količino naročenega blaga, je izkoriščenost lastnega voznega parka relativno nizek in sicer lastna vozila prevozijo zgolj 53,12 odstotkov vseh potrebnih razdalj.

Kadar je na voljo omejeno število lastnih vozil, z njimi ne moremo zadovoljivo pokrivati potreb za distribucijo v primeru vršnih kapacitet odpreme cone. Odločitev vsakega posameznega podjetja je, ali bo vso distribucijo opravljalo z lastnim, najetim ali mešanim voznim parkom. Če se odločimo za mešani vozni park, se je potrebno odločiti v kolikšnem odstotku bo zastopan lastni in kolikšnem najeti vozni park. V praksi se podjetja odločajo, da z lastnim voznim parkom pokrivajo potrebe za distribucijo na nivoju povprečne obremenitve odpreme cone.

## Dan C1:

- iz Tabele 13 je razvidno, da je bilo v primeru 1 pri planiranju predvidena opustitev časovnih oken dostave za 47,66 odstotkov dostavnih mest;
- kljub temu, da se je opravila opustitev časovnih oken dostave zgolj na naročilih lastnih dostavnih mest, so prihranki v prevoženih razdaljah (Tabela 12) 2,13 odstotkov;
- zmanjšala se je tudi vsota vseh potrebnih časov za 1,31 odstotkov, lastni vozni park pa je potreboval za 0,72 odstotkov več časa;
- izkoriščenost vozil po transportnih enotah se je povečala za 3,68 odstotkov;
- iz Tabele 14 pa je razvidno, da se je v 26,94 odstotkih kršilo časovno okno dostave.

Iz rezultatov Dan C1 je razvidno, da pri dnevih z veliko količino naročenega blaga že zgolj relaksacija časovnih oken dostave za naročila Mercatorjevim lastnim dostavnim mestom prinesejo zadovoljive prihranke in sicer v tem primeru 2,13 odstotkov vseh prevoženih razdalj.

## Dan C2:

- Pri planiranju je bila predvidena opustitev vseh časovnih oken dostave (Tabela 13);
- prihranki na skupni vsoti vseh prevoženih razdalj so 3,78 odstotkov;
- lastni vozni park sicer prevozi večjo razdaljo in sicer za 3,03 odstotkov;
- lastni vozni park je tudi časovno bolj obremenjen in sicer za 3,60 odstotkov, skupni potrebni čas pa je nižji za 2,36 odstotkov;
- povečala se je tudi izkoriščenost voznega parka in sicer za 1,48 odstotkov gledano glede na transportne enote in za 2,11 odstotkov gledano na težo;
- lastni vozni park je dostavil za 2,36 odstotkov več transportnih enot in za 2,82 odstotkov večjo težo;
- v 34,69 odstotkih pa so se kršila časovna okna dostave (Tabela 14).

Glede na dejstvo, da je opazovani dan tudi dan z relativno visoko količino naročenega blaga, ki ga je potrebno dostaviti, so rezultati nad pričakovanji. Pričakovan rezultat je bil, da bodo prihranki na skupni vsoti prevoženih razdal od 2,00 do 2,50 odstotkov. Število "one stop delivery" je ob takšnih dneh relativno visoko, zato tako visokih prihrankov ni bilo moč pričakovati.

Tabela 12: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan C

	Dan C0			Dan C1			Dan C1		
	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj
Vozila									
Število poti	65,09	34,91	100,00	0,59	-3,55	-2,96	5,33	-7,69	-2,37
Vsota prevoženih razdalj	53,12	46,88	100,00	0,13	-2,26	-2,13	3,03	-6,81	-3,78
Vsota vseh potrebnih časov	57,31	42,69	100,00	0,72	-2,03	-1,31	3,60	-5,96	-2,36
Št. vseh postankov	69,89	30,11	100,00	1,12	-0,74	0,37	5,20	-5,20	0,00
Št. Transportnih enot	56,49	43,51	100,00	2,77	-2,77	0,00	5,26	-5,26	0,00
Teža	55,60	44,40	100,00	2,30	-2,30	0,00	5,12	-5,12	0,00
Povprečje KGUtil	80,65	77,05	79,39	2,59	4,85	3,44	0,15	3,78	1,48
Povprečje RLCUtil	79,36	82,87	80,58	4,32	2,67	3,68	1,38	5,11	2,11
Povprečje KM/TE	85,97	126,15	100,00	-3,71	7,57	-1,11	-3,15	-14,76	-9,21
Povprečje KM/KG	82,35	132,90	100,00	-2,48	5,11	-1,34	-3,46	-2,61	-6,78

Tabela 13: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu C

Odstotkov	Št. strank	Naročil	RLC	KG
Dan C0	0,00	0,00	0,00	0,00
Dan C1	47,66	53,14	66,80	63,91
Dan C2	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 14: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan C

Odstotkov	-2	-1	0	1	2	3
Dan C0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Dan C1	0,37	13,28	73,06	12,55	0,74	0,00
Dan C2	0,74	15,87	64,94	17,71	0,37	0,37

## DAN D

Dan D0:

- ker je to maksimalen dan, je izkoriščenost lastnega voznega parka nizka in sicer lastna vozila prevozijo zgolj 45,91 odstotkov vseh potrebnih razdalj.

Dan D1:

- iz Tabele 16 je razvidno, da je bilo v primeru 1 pri planiranju predvidena opustitev časovnih oken dostave za 52,61 odstotkov dostavnih mest;
- kljub temu, da so se opustila zgolj naročila Mercatorjevih lastnih dostavnih mest, so prihranki v prevoženih razdaljah (Tabela 15) 2,82 odstotkov, za lastni vozni park pa se je število vseh prevoženih razdalj povečalo za 1,91 odstotkov;
- zmanjšala se je tudi vsota vseh potrebnih časov za 1,89 odstotkov, lastni vozni park pa je potreboval za 1,41 odstotkov več časa;
- izkoriščenost vozil po transportnih enotah se je povečala za 0,41 odstotkov;
- iz Tabele 17 pa je razvidno, da smo v 30,26 odstotkih kršili časovno okno dostave.

Prav tako, kot v primeru Dan C1 je tudi v primeru Dan D1 že opustitev časovnih oken dostave pri lastnih dostavnih mestih prinesla zadovoljive rezultate prihrankov skupne

vsote prevoženih razdalj in sicer 2,82 odstotkov. Tako dober rezultat pa ni bil pri primerih Dan A1 in Dan B1, kjer sta prihranka 1,78 in 0,40 odstotkov.

Dan D2:

- Pri planiranju je bila predvidena opustitev vseh časovnih oken dostave (Tabela 16);
- prihranki na skupni vsoti vseh prevoženih razdalj so 3,94 odstotkov;
- lastni vozni park sicer prevozi večjo razdaljo in sicer za 2,23 odstotkov;
- lastni vozni park je dostavil za 3,12 odstotkov več transportnih enot in za 3,99 odstotkov večjo težo;
- žal se je izkoriščenost vozil iz 81,78 odstotkov zmanjšala za 0,30 odstotkov gledano na transportne enote in iz 82,48 odstotkov za 0,25 odstotkov gledano na težo;
- število potrebnih prevoženih km za dostavo ene transportne enote (12,44 odstotkov) in enega kilograma (15,62 odstotkov) so se zmanjšali;
- v 36,16 odstotkih pa so se kršila časovna okna dostave (Tabela 17).

Prav tako, kot v primeru Dan C2, tudi v tem primeru Dan D2 ni bilo pričakovati tako visokega odstotka zmanjšanja skupne vsote vseh prevoženih razdalj in sicer kar za 3,94 odstotkov.

Tabela 15: Analiza implementacije relaksacije časovnih oken dostave za Dan D

	Dan D0			Dan D1			Dan D2		
	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj	Lastna	Najeta	Skupaj
Število poti	58,14	41,86	100,00	1,74	-3,49	-1,74	3,49	-5,23	-1,74
Vsota prevoženi razdalj	45,91	54,09	100,00	1,91	-4,73	-2,82	2,23	-6,16	-3,94
Vsota vseh potrebnih časov	50,27	49,73	100,00	1,14	-3,03	-1,89	1,35	-3,73	-2,38



Št. vseh postankov	60,26	39,74	100,00	2,98	-2,65	0,33	0,66	-1,32	-0,66
Št. Transportnih enot	48,33	51,67	100,00	2,49	-2,49	0,00	3,12	-3,12	0,00
Teža	46,91	53,09	100,00	3,40	-3,40	0,00	3,99	-3,99	0,00
Povprečje KGUtil	81,78	77,49	79,98	2,11	-2,61	0,41	-0,64	-0,39	-0,30
Povprečje RLCUtil	82,48	86,47	84,15	0,81	-0,17	0,30	-1,52	2,47	-0,25
Povprečje KM/TE	79,22	128,87	100,00	-3,14	-29,21	-14,71	-1,11	-25,38	-12,44
Povprečje KM/KG	74,37	135,60	100,00	-3,31	-33,14	-16,68	-2,95	-29,41	-15,62

Tabela 16: Prikaz odstotkov relaksacije časovnih oken dostave pri Dnevu D

Odstotkov	Št. strank	Naročil	RLC	KG
Dan D0	0,00	0,00	0,00	0,00
Dan D1	52,61	59,62	80,57	79,22
Dan D2	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 17: Prikaz kršitev časovnih oken dostave pri dostavi za Dan D

Odstotkov	-2	-1	0	1	2	3
Dan D0	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00
Dan D1	0,74	11,07	69,74	17,34	0,74	0,37
Dan D2	0,74	14,39	63,84	19,19	1,85	0,00

Dobljeni rezultati se vsekakor gibljejo v mejah pričakovanega in sicer se prihranki v skupni vsoti prevoženih razdalj gibljejo med 3,07 odstotkov in 4,61 odstotkov. Skladno s pričakovanji se je povečala tudi vsota prevoženih razdalj lastnega voznega parka in sicer med 1,40 odstotkov in 3,03 odstotkov (razen v primeru Dan A1 in A2, kjer se le ta zmanjša).

V vseh primerih je odstotek kršitve časovnih oken dostave za primer 1 vedno med 26 odstotkov in 31 odstotkov in za primer 2 med 34 odstotkov in 37 odstotkov. Ta rezultat je zanimiv zato, ker je bilo pričakovati, da bo prišlo do kršitev v večjem odstotku (okoli 50 odstotkov). V resnici so delovni časi dostavnih mest (obratovalni časi prodajaln, kot je opisano na strani 45) tisti, ki pogojujejo postavljena časovna okna dostave blaga in so v mnogo primerih lahko identična, dostava blaga izven delovnega časa pa, kot vemo, ni mogoča. Resnica je tudi, da so načrtovana okna dostave plod dolgoletnega usklajevanja in načrtovanja, plod izkušenj. V primerih, ko se oskrbuje večje število oddaljenih dostavnih mest na določenem geografskem področju, so bila časovna okna načrtovana tako, da je distribucija v teh oknih lahko izvedena (npr. v popoldanskem času), tako da z opustitvijo teh oken niti ni bilo pričakovati, da bi bila dostava tem dostavnim mestom izvedena dosti pred časom (ali pa kasneje), v katerem so bila oskrbovana v preteklosti.

Dejstvo je, da so se vsi trije najpomembnejši parametri: število poti, vsota vseh prevoženih razdalj in vsota vseh potrebnih časov, v vseh gledanih primerih, za vse gledane dni, znižali.

## ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo poizkušali prikazati kompleksnost planiranja in optimiziranja sekundarne distribucije in pomembnosti uvedbe in uporabe programskega orodja za reševanje problema planiranja vozil s časovnimi okni dostave. Iz višine sredstev, ki se letno porabijo za transport (39 odstotkov logističnih stroškov; Borgqvist & Hultkrantz, 2005, str. 3) je razvidno, da je uvedba takšnega programskega orodja smiselna in predvsem koristna, upoštevati pa je seveda potrebno še dvig nivoja kakovosti storitve, ki je znaten in ga je težko finančno oceniti.

Problem planiranja vozil s časovnimi okni dostave je v ozkosti "mehih" časovnih oken, znotraj katerih je potrebno izvesti dostavo, zaradi česar so transportni stroški višji, vozila pa enakomerno obremenjena. Zato smo poizkušali na primeru ene odpreme cone in z upoštevanjem vseh predpostavk ter omejitev, prikazati mogoče prihranke, ki bi se jih dalo realizirati z relaksacijo ali opustitvijo "mehkih" časovnih oken dostave. Predpostavke, ki so se upoštevale, so bile dobro urejen prevzem blaga na dostavnih mestih, torej, da vhodna ali prevzemna kontrola pri sami dostavi ni potrebna, ter da mora zaloga blaga na dostavnem mestu zadostovati vsaj še za dan prodaje in zato ni potrebno takojšnje popolnjevanje ali dopolnjevanje prodajnih polic. Kot omejitve pa so služile vse ovire, ki se pri dnevnem operativnem planiranju vozil v opazovanem podjetju upoštevajo.

Pričakovanja o prihrankih so se glede na dejstvo, da je programsko orodje že v uporabi nekaj let in da se je v tem času že izvajala optimizacija urnikov dostav ter časovnih oken dostave, izkazala za realna. Pričakovanja so se gibala v razponu med 5,00 in 6,00 odstotkov glede na skupno vsoto vseh prevoženih razdalj. Dobljeni prihranki na skupni vsoti vseh prevoženih razdalj so se gibali med 3,07 in 4,61 odstotki, kar je zadovoljivo in sprejemljivo. Potrdila se je tudi predpostavka, da bodo dobljeni rezultati za dan z minimalnimi količinami blaga, ki ga je bilo potrebno dostaviti, najboljši. V takšnih dneh so vozila slabše napolnjena in so zato vožnje neoptimalne. Prav tako so se znižali vsi ostali opazovani parametri, ki so tudi zelo pomembni pri optimizaciji transporta.

Bistvo je jasno, znižanje vseh opazovanih parametrov, prevedeno v jezik ekonomistov, pomeni zmanjšanje stroškov. Implementacija tovrstnega ukrepa v procese oskrbe

dostavnih mest bi zahtevala preučitev vseh drugih možnih vidikov, zlasti na strani organizacije dela pri dostavnih mestih. Pa vendar, če poenostavimo, da bi bili učinki pri distribuciji ob opustitvi časovnih oken dostave podobni tudi na drugih odpremnih conah opazovanega podjetja, in, če poznamo stroške transporta opazovanega podjetja, (natančnih podatkov seveda ne gre razkrivati), lahko ugotovimo, da bi prihranki zaradi implementacije opustitve časovnih oken dostave na leto znašali blizu 0,8 milijona eurov.

Še boljše rezultate pa bi se dalo pričakovati ob zmanjšanju kompleksnosti števila različnih tipov dostavnih mest ter zmanjšanju kompleksnosti voznega parka. Ti dve omejitvi sta bistveni pri reševanju problema planiranja vozil, saj vsa preučena literatura izhaja v osnovi iz homogenega voznega parka in se le redki avtorji spuščajo na področje heterogenega voznega parka. Že samo to dejstvo nam pove veliko o težavnosti reševanja problema heterogenega voznega parka. Opazovano podjetje uporablja 16 različnih tipov vozil samo na obravnavani odpremni coni. Prav tako je s tipi dostavnih mest; po trenutno veljavni klasifikaciji je različnih tipov dostavnih mest kar sedem.

Ali je potrebna investicija v prenovu tipov dostavnih mest upravičljiva ali ne, bi bilo potrebno natančno preučiti in finančno oceniti. Vsekakor pa je smotrno zmanjšanje kompleksnosti dostavnih vozil. Pri obnovi voznega parka bi morali biti v bodoče bolj pazljivi in ob vsakem nakupu stremeti k zmanjšanju kompleksnosti.

Vsekakor včasih tudi vsi prihranki niso nič, če privedejo do zmanjšanja nivoja kakovosti storitve. Zato bi bilo potrebno narediti inkrementalno analizo vseh učinkov, ki bi nastali ob uvedbi relaksacija ali opustitve "mehkih" časovnih oken dostave.

## Literatura

- Ahn, B.-H. & Shin, J.-Y. (1991). *Vehicle-routing with Time Windows and Time-varying Congestion*. Journal of the Operational Research Society 42, Nr. 5.
- Bianchi, L. (2000). *Notes on Dynamic Vehicle Routing - The State of the Art*. Tehnično poročilo: IDSIA-05-01, Istituto Dalle Molle Di Studi Sull Intelligenza Artificiale.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. & Ball, M. (1981). *The State of the Art in the Routing and Scheduling of Vehicles and Crews*. Washington, D.C: Office of Policy Research, Urban Mass Transportation Administration, U.S. Department of Transportation.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. & Ball, M. (1983). *The State of the Art in the Routing and Scheduling of Vehicles and Crews*. Washington, D.C: Computers and Operations Research 10 (2).
- Boomgaarden, C. (2007). *Dynamische Tourenplanung und –steuerung*. Universität Passau, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät.
- Borgqvist, F. & Hultkrantz, L. (2005). *Mapping Logistics Costs and Flows*. Lulea, University of Technology.
- Christofides, N. (1979). N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth & C. Sandi (ur.). *The Travelling Salesman Problem in Combinatorial Optimization*. John Wiley & Sons, New York.
- Christofides, N. (1985). Eigeartaigh, M., Lenstra, J.K. & Rinnooy Kan, A.H.G. (ur.) *Vehicle Routing in Combinatorial Optimization*. Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam.
- Cook, W. & Rich, J. L. (1999). *A parallel cutting-plane algorithm for the vehicle routing problem with Time Windows*. Technical Report, Rice Uni, Houston.
- Dantzig, G.B. & Ramser, J.M. (1959). *The truck dispatching problem*. Management Science 6 (1), str. 81-91.
- Desrochers, M., Desrosiers, J. & Solomon, M. (1992). *A New Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*. Operations Research 40, Nr. 2.
- Direktiva 2002/15/ES Evropskega parlamenta in sveta (2002). Najdeno 25. novembra na spletni strani: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:05:04:32002L0015:SL:PDF>

- Donati, A. V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, A. E. & Gambardella, L. M. (2003). *Time Dependent Vehicle Routing Problem with a Multi Ant Colony System*. Techn. Report IDSIA-17-03, Lugano.
- Dorigo, M., Di Caro, G. & Gambardella, L. M. (1999). *Ant Algorithms for Discrete Optimization*, Artificial Life, vol. 5, no. 2.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. & Colorini, A. (1996). *The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agent*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, part B, vol. 26, no. 1.
- Duncan, T. (1995). *Experiments in the use of Neighbourhood Search techniques for Vehicle Routing*. Artificial Intelligence Applications Institute, AIAI-TR-176, University of Edinburgh, Edinburgh.
- ECR Europe (2002). Verhulst, R., Bjorkvist, M., Whiteoak, P., Poetzl, J., Corsten, D. (ur.), *The Transport Optimisation Report/ECR Europe*. Brussels: ECR Europe.
- Feromoni (b.l.) V enciklopediji Wikipedia The Free Encyclopedia. Najdeno 3. marec 2009 na spletni strani: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pheromone>
- Fisher, M. L., Jörnsten, K. O. & Madsen, O. B. G. (1997). *Vehicle Routing with Time Windows: Two Optimization Algorithms*. Operations Research 45, Nr. 3.
- Gambardella, L. M., Taillard, É. & Agazzi, G. (1999). V Corne, D., Dorigo, M. & Glover, F. (ur.). *MACS-VRPTW: A multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows* (str. 63-76). New Ideas in Optimization, McGrawHill, London.
- Gambardella, L.M. & Dorigo M. (1997a). *Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 1.
- Gambardella, L.M. & Dorigo M. (1997b). *Ant colonies for the traveling salesman problem*. BioSystems 43.
- Gambardella, L.M., Taillard, E.D. & Dorigo, M. (1999). *Ant colonies for the Quadratic Assignment Problem*. Journal of the Operational Research Society 50.
- Gebhardt GmbH (b.l.) *Transportna enota*. Najdeno 20. novembra 2009 na spletni strani: <http://www.gebhardt.eu/food-retail-solutions.html?&L=4>
- Geo lokacija (b.l.) V enciklopediji Wikipedia The Free Encyclopedia. Najdeno 12. marec 2009 na spletni strani <http://en.wikipedia.org/wiki/Geo-location>
- Gietz, M. (1994). *Computergestützte Tourenplanung mit zeitkritischen Restriktionen*. Samostojna izdaja, Heidelberg, Universität Augsburg.

- Gillett, B.E. & Miller, L.R. (1974). *A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem*. Operations Research 22.
- Hevristika (b.l.) V enciklopediji Wikipedia The Free Encyclopedia. Najdeno 3. marec 2009 na spletni strani <http://en.wikipedia.org/wiki/Heuristics>
- Homberger, J. (2000). *Verteilt-parallele Metaheuristiken zur Tourenplanung*. Dt. Univ.-Verl., Gabler, Wiesbaden - Zugl.: FernUniversität-Gesamthochschule-Hagen. <http://traverse.sharepointsite.net/Transumowiki/Documentbibliotheek/03%20Projecten/Ketensynchronisatie%20in%20logistieke%20netwerken/03%20Output/05%20Rapporten,%20notities,%20verslagen/Rapport%20VRP%20time%20dependent%20Ketensynchronisatie.pdf>
- Ichoua, S., Gendreau, M. & Potvin, J.-Y. (2003). *Vehicle Dispatching with Time-dependent Travel Times*. European Journal of Operational Research 144.
- Kohl, N. & Madsen, O. B. G. (1997). *An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with TimeWindows based on Lagrangian Relaxation*. Operations Research 45, Nr. 3, strani 395-406.
- Kok, L. (2006). *The VRP with time-dependent travel times*. University of Twente. Faculty of Business, Public Administration and Technology. Najdeno 21. maj 2009 na spletnem naslovu:
- Kromosom (b.l.) V enciklopediji Wikipedia The Free Encyclopedia. Najdeno 20. marec 2009 na spletnem naslovu: <http://en.wikipedia.org/wiki/Chromosome>
- Le Bouthillier, A. & Crainic, T. G. (2005). *A cooperative parallel meta-heuristic for the vehicle routing problem with time windows*. Computers & Operations Research 32.
- Malandraki, C.C. & Daskin, M.S. (1992) *Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms*. Transportation science, Vol. 26, No. 3.
- Mercator d.d.(2008). *Letneo poročilo družbe Poslovni sistem Mercator, d.d., in Skupine Mercator za leto 2008*. Ljubljana: Mercator d.d. Najdeno 30. avgust 2009 na spletnem naslovu: [http://www.mercator.si/o\\_mercatorju/investitorji/letna\\_porocila](http://www.mercator.si/o_mercatorju/investitorji/letna_porocila)
- Mohar, B. (2002). Gradivo za permanentno izobraževanje učiteljev matematike in računalništva: *Aproksimacijski postopki za problem trgovskega potnika*. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani.

- Odlok o cestnoprometni ureditvi, *Uradni list RS*, št. 122/2007 z dne 28.12.2007, str. 17.986. Najdeno 11. maj 2009 na spletnem naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=84211>
- Ombuki, B. M., Nakamura, M. & Osamu, M. (2002). *A Hybrid Search Based on Genetic Algorithms and Tabu Search for Vehicle Routing*. Department of Computer Science, Brock University, St. Catharines, Ontario, Canada.
- Potvin, J.-Y. & Bengio, S. (1996). *The Vehicle Routing Problem with Time Windows - Part II Genetic Search*. *INFORMS Journal on Computing* 8, Nr. 2.
- Potvin, J.-Y., Kervahut, T., Garcia, B.-L. & Rousseau, J.-M. (1996). *The Vehicle Routing Problem with Time Windows - Part I Tabu Search*. *INFORMS Journal on Computing* 8, Nr. 2, strani 158-164.
- Pravilnik o dimenzijah, masah in opremi vozil, Stran 2.011, *Uradni list RS*, št. 24/1996 z dne 10.05.1996. Najdeno 15. junij 2009 na spletnem naslovu: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=199624&stevilka=1462>
- Psaraftis, H.N. (1988). Golden, B.L., Assad, A.A. (ur.). *Dynamic vehicle routing problems*. North-Holland, Amsterdam.
- Robič, B. (2006). *Prilagodljivost v optimizacijskih problemih*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko.
- Robič, B., Dobravec, T., Slivnik, B., Mihelič, J., Čibej, U. & Vilfan, B. (2006). *O delu LALG*, Fakultete za računalništvo in informatiko. Univerze v Ljubljani, Labfrik.
- Roblek, P. (2007). *Uporabniška dokumentacija INFOR Route Planning V 2.0*. Za Mercator d.d. (interno gradivo). Ljubljana: S&T Slovenija d.d.
- Savelsbergh, M. (1985). *Local Search in Routing Problems with Time Windows*. *Annals of Operations Research*, Vol. 4, No. 1, Springer Netherlands, Amsterdam.
- Schrage, L. (1981). *Formulation and Structure of More Complex/Realistic Routing and Scheduling Problems*. *Networks* 11, Wiley Periodicals.
- Shaw, P. (1997). *A new local search algorithm providing high quality solutions to vehicle routing problems*. University of Strathclyde, Glasgow, Scotland - Working Paper.
- Solomon, M. (1983). *On the Worst-Case Performance of Some Heuristics for the Vehicle Routing and Scheduling Problem with Time Window Constraints*. Poročilo 83-05-03, Department of Decision Sciences, The Wharton School, University of Pennsylvania.



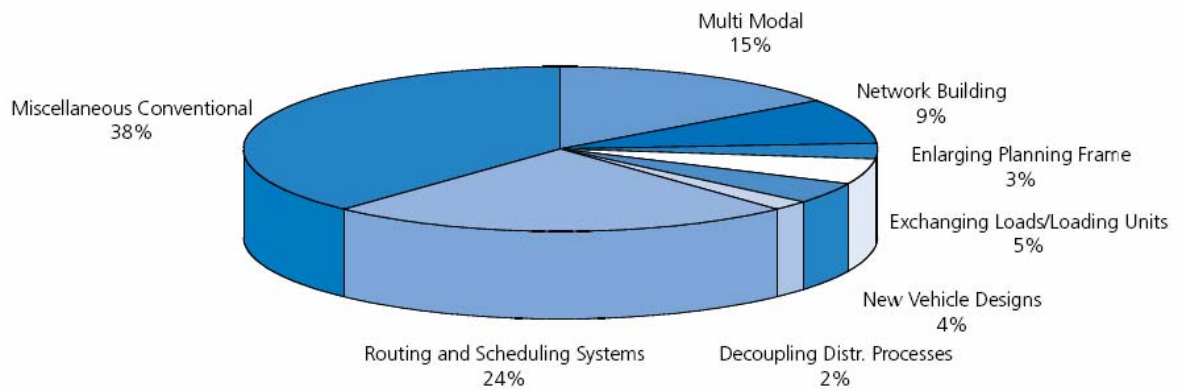
- Solomon, M. (1987). *Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints*. Operations Research Vol. 35, No. 2.
- SSA<sup>®</sup> Route Planning<sup>™</sup> (2004). *Dispatch work area*. Baan International, B.V. a subsidiary of SSA Global Technologies, Inc. SSA<sup>®</sup> Transportation Management Solutions Release 8.1.
- Uredba (ES)*. št. 561/2006 Evropskaga parlamenta in sveta z dne 15. marca 2006. Najdeno 21. maj 2009 na spletnem naslovu: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:102:0001:0013:SL:PDF>
- Vrančič, D. (2008). *Zapiski predavanj: Optimizacija logističnih sistemov*. Fakulteta za logistiko, Univerze v Mariboru.
- Zakon o varnosti cestnega prometa. *Uradni list RS* št.56/2008-UPB5, 57/2008-ZLDUVCP, 73/2008 Odl.US: U-I-295/05-38, 58/2009. Najdeno 16. junij 2009 na spletnem naslovu: [http://www.uradnilist.si/\\_pdf/2008/Ur/u2008056.pdf](http://www.uradnilist.si/_pdf/2008/Ur/u2008056.pdf)

## **Priloge**

## **KAZALO PRILOG**

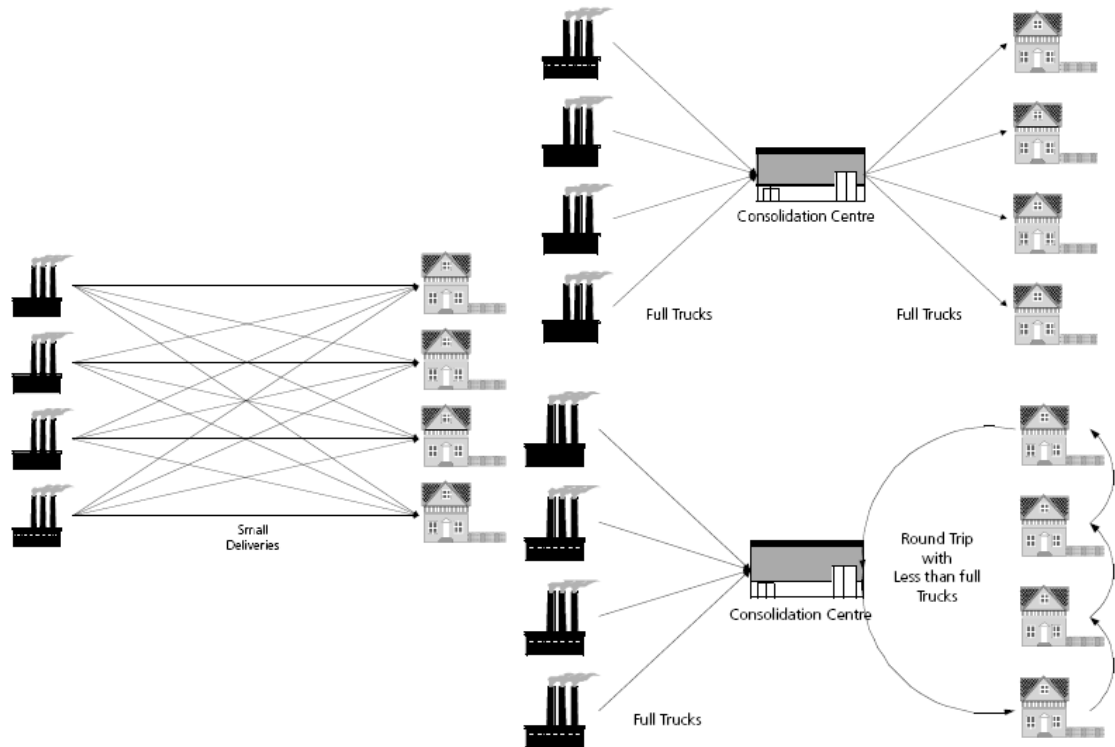
<b>PRILOGA 1: POTENCIALNI PRIHRANKI IZ NASLOVA OPTIMIZACIJE TRANSPORTA.....</b>	<b>1</b>
<b>PRILOGA 2: KONSOLIDACIJA BLAGA .....</b>	<b>2</b>
<b>PRILOGA 3: TRANSPORTNA ENOTA ALI RLC (<i>ROLL CONTAINER</i>).....</b>	<b>3</b>
<b>PRILOGA 4: IZOLACIJSKA TRANSPORTNA ENOTA ALI IRLC .....</b>	<b>4</b>

## Priloga 1: Potencialni prihranki iz naslova optimizacije transporta



*Vir: The transport Optimization Report, 2000 po Berenshot Study, 1998*

## Priloga 2: Konsolidacija blaga



*Vir: The transport Optimization Report, 2000*

**Priloga 3: Transportna enota ali RLC (*Roll Container*)**



*Vir: GEBHARDT GmbH*

## Priloga 4: Izolacijska transportna enota ali IRLC

