



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ - ШТИП
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
Катедра за логистика и животна средина
Институт за рударство
Штип

Бојан Ангеловски

**„ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ ЗА СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА
КОМУНАЛЕН ОТПАД ВО ГРАДОТ ШТИП“**

- Магистерски труд-

Штип, април 2012 г.

Комисија за оценка:

Ментор: проф. д-р Зоран Десподов
Факултет за природни и технички науки
Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип

Член:

Член:

Членови на Комисија за оценка и одбрана:

Претседател:

Член:

Член:

Научно поле: Техничко-технолошки науки

Научна област: Инженерство на животна средина

Датум на одбрана: _____

Датум на промоција: _____

ПОСВЕТА И БЛАГОДАРНОСТ

Магистерскиот труд е работен под менторство на проф. д-р Зоран Десподов и ја користам оваа пригода да му се заблагодарам за безрезервната помош и за големата морална поддршка што ми ја даде во текот на изработката на трудот.

Голема благодарност до доц. д-р Дејан Мираковски и м-р Стојанче Мијалковски за нивната стручна помош и советите кои беа неопходни за изработка на овој магистерски труд.

Посебна благодарност до моите родители, мојот брат, моите дедо и баба и мојата девојка, кои се најзаслужни за мојот успех.

ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ

Десподов З., Мираковски Д., Мијалковски С., **Ангеловски Б.** (2011).
Одредување на оптимални рути при собирање и транспорт на комунален отпад во
градот Штип. *Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце
Делчев“ - Штип. Зборник на трудови, Втора меѓународна конференција за
економска оправданост во постапување со отпад, 89-100.*

Организатори:

Адком

ЈП „Комунална хигиена“ - Скопје

ЈП Депонија „Дрисла“ - Скопје

ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ ЗА СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА КОМУНАЛЕН ОТПАД ВО ГРАДОТ ШТИП

Краток извадок

Комуналниот отпад се создава при секојдневните активности на човекот. Во градот Штип на годишно ниво се генерираат околу 13.000 t отпад или 288 kg\жител. При управувањето со комуналниот отпад значајно место заземаат собирањето, транспортот и депонирањето до градската депонија. Поради постојаното зголемување на вкупните количества на отпадни материји, потребна е ефикасна програма за собирање и транспорт, која ќе може да ги задржи трошоците кои се во постојан раст.

Во овој магистерски труд е презентирана примена на теоријата на транспортни мрежи за одредување на оптимални рути при собирање и транспорт на комунален отпад во градот Штип. Како модел за решавање на проблемот на рутирање е користен модифицираниот Кларк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на заштеди, со хетероген возен парк.

Основна цел на магистерскиот труд е преку примена на модифицираниот алгоритам на заштеди да се одредат оптималните рути за транспорт на комуналниот отпад.

Клучни зборови: *комунален отпад, животна средина, транспорт, заштеди.*

OPTIMAL ROUTES DETERMINATION IN COLLECTING AND TRANSPORTATION OF MUNICIPAL WASTE IN THE CITY OF SH TIP

Abstract

The municipal waste is generated by the daily human activities. Annually, in the city of Shtip are generated about 13.000 t waste or 288 kg per resident. At the time of managing with the municipal waste, an important place occupy the collecting, transportation and deportation to the city landfill. Because of the constant increasing of the total amounts of waste stuffs, an effective program is required for collecting and transportation which can keep the costs in a constant growth.

In this master thesis is presented the usage of the transport networks theory for optimal routes determination in collecting and transportation the municipal waste in the city of Shtip. As a model for solving the problem of routing is used the modified Clarke-Wright's savings algorithm with heterogeneous fleet.

The main objective of this master thesis is determination of the optimal routes for transport the municipal waste through the usage of the modified savings algorithm.

Key words: *municipal waste, environment, transportation, savings.*

СОДРЖИНА

1. ВОВЕД	1
2. ЦЕЛИ НА НАУЧНОТО ИСТРАЖУВАЊЕ	2
3. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА ВО СВЕТОТ КОЈА ГО РАЗРАБОТУВА ПРОБЛЕМОТ НА ПЛАНИРАЊЕ НА РУТИТЕ ПРИ ТРАНСПОРТОТ НА КОМУНАЛНИОТ ОТПАД	4
4. СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА ОТПАД	6
4.1. Автоматско собирање на отпад	8
4.2. Возила за собирање и транспорт на отпад	9
4.3. Образложение за значењето на собирањето и транспортот на комуналниот отпад во урбани средини	11
5. ДЕПОНИЈА „ТРЕШТЕНА СКАЛА“	14
6. ДЕФИНИРАЊЕ НА КОЛИЧЕСТВАТА НА ГЕНЕРИРАН КОМУНАЛЕН ОТПАД ВО ГРАДОТ ШТИП ЗА ИДЕН ВРЕМЕНСКИ ПЕРИОД	16
7. РАЗВОЈ НА РУТИТЕ	21
7.1. Рутирање со помош на компјутер	30
8. ОПШТИ ПРИНЦИПИ ЗА РЕШАВАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ НА ПЛАНИРАЊЕТО НА РУТИТЕ НА ВОЗИЛАТА	31
8.1. Стандарден рутинг проблем	31
8.2. Пристапи „рутинг - зонирање“ и „зонирање - рутинг“	33
9. ОПТИМИЗАЦИЈА НА ДВИЖЕЊЕТО НА ВОЗИЛАТА	35
9.1. Рутирање на возило без враќање во почетна точка	35
9.2. Рутирање на возило со враќање во почетна точка (проблем на „трговски патник“)	36
9.3. Рутирање со ограничување на капацитетите (алгоритам на заштеди)	36

10. АЛГОРИТМИ НА ЗАШТЕДИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ	39
10.1. Кларк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на заштеда за проектирање рути на сообраќајните средства	39
10.2. Модифициран Кларк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на заштеди заснован на правилата на Fuzzy аритметиката	42
11. ФОРМИРАЊЕ НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ ЗА СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА ОТПАДОТ ВО ШТИП	44
12. РЕЗУЛТАТИ ДОБИЕНИ ОД НАУЧНОТО ИСТРАЖУВАЊЕ И НИВНА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА	72
13. ЗАКЛУЧОК	73
14. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)	75
15. ПРИЛОЗИ	77

СПИСОК НА ТАБЕЛИ

Табела 6.1. Генериран комунален отпад за период од 2002 до 2020 година	18
Табела 11.1. Трошоци за транспорт меѓу парови јазли	47
Табела 11.2. Потреби за опслужување по јазли	48
Табела 11.3. Типови возила на ЈКП „Исар“ според нивната носивост	48
Табела 11.4. Заштеда на транспорт по гранки	51
Табела 11.5. Заштеди и типови на транспортни средства по гранки	59
Табела 11.6. Заштеди и типови на транспортни средства по рути	63
Табела 11.7. Заштеди и типови на транспортни средства по рути	66
Табела 11.8. Заштеди и типови на возила по гранки по формирањето на првата рута	67
Табела 11.9. Заштеди и типови на транспортни средства	69
Табела 11.10. Заштеди и типови на возила по гранки	70

СПИСОК НА СЛИКИ

Слика 4.1. и 4.2. Контејнери со запремина од $1,1 \text{ m}^3$	7
Слика 4.2.1. Возен парк на ЈКП „Исар“	11
Слика 5.1. Депонија „Трештена Скала“	15
Слика 5.2. „Трештена Скала“	15
Слика 7.1. Рутирачка шема за еднонасочна улица	23
Слика 7.2. Триблоковска конфигурација	25
Слика 7.3. Варијација од триблоковска конфигурација	26
Слика 7.4. Четириблоковска конфигурација	27
Слика 7.5. Рутирачка шема за мултиблок конфигурација	28
Слика 7.6. Рутирачка шема за мултиблок конфигурација	29
Слика 8.1. Рути на сообраќајните средства	32
Слика 8.2.1. Рутинг - зонирање	33
Слика 8.2.2. Зонирање - рутинг	34
Слика 10.1.1. Шеми за пресметување на заштедите	40
Слика 11.1. Група јазли во централно градско подрачје	44
Слика 11.2. Група јазли во подрачјето меѓу Економски факултет и ОУ „Гоце Делчев“	45
Слика 11.3. Група јазли во подрачјето: Градски пазар - Автокоманда - Булевар „Партизанска“	46
Слика 11.4. Шематски приказ на јазли кои треба да бидат опслужени	47
Слика 11.5. Облик на функцијата $F(x)$ која ги претставува фиксните трошоци	52
Слика 11.6. Оптимални рути за транспорт на комунален отпад во Штип	71

СПИСОК НА ПРИЛОЗИ

Прилог бр. 1. Ситуација на градот Штип со приказ на оптимална

рута 1 (1 - 5 - 14 - 15 - 13 - 1)

Прилог бр. 2. Ситуација на градот Штип со приказ на оптимална

рута 2 (1 - 4 - 12 - 11 - 1)

Прилог бр. 3. Ситуација на градот Штип со приказ на оптимална

рута 3 (1 - 7 - 8 - 1)

Прилог бр. 4. Ситуација на градот Штип со приказ на оптимална

рута 4 (1 - 9 - 1)

Прилог бр. 5. Ситуација на градот Штип со приказ на оптимална

рута 5 (1 - 2 - 3 - 10 - 16 - 17 - 6 - 1)

1. ВОВЕД

Комуналниот отпад се создава при секојдневните активности на човекот. Постојаното зголемување на вкупните количества на отпадни материји што ги произведуваат индустријата и населението бараат суштински промени во традиционалниот модел на управување со отпадот. Управувањето со отпадот опфаќа мерки и посебни прописи кои се регулирани со меѓународни стандарди и со важечката законска регулатива во нашата држава. Овие мерки и прописи се применуваат од постанокот на отпадот, неговото собирање, транспортирање па сè до неговото одлагање (дислоцирање, рециклирање). Во новиот интегриран индустриски екосистем потрошувачката на енергија и сировини мора да биде оптимизирана, а настанувањето на отпадот минимизирано. Идните активности во врска со отпадот треба да се насочат кон рециклирање и неговата повторна употреба, со што ќе се постигнат значајни економски и еколошки ефекти.

Во Општина Штип на годишно ниво се генерираат околу 13.000 t отпад или 288 kg/жител. При управувањето со комуналниот отпад секако дека значајно место заземаат собирањето, транспортот и депонирањето на истиот до градската депонија „Трештена Скала“. Собирањето на комуналниот и индустрискиот отпад се врши во специјални садови и тоа:

- 70 контејнери со зафатнина од 1,1 м³, распоредени во централното градско подрачје,
- 205 контејнери со зафатнина од 5 м³, распоредени на територијата на Штип и во индустриската зона и
- канти за отпад од 80 л распоредени по домаќинствата.

Примената на специјални возила за транспорт на комунален отпад би донела заштеди во транспортниот процес од 20 до 40%, кои особено би се однесувале на трошоците на енергенти и искористувањето на проектираното времетраење на транспортниот циклус.

2. ЦЕЛИ НА НАУЧНОТО ИСТРАЖУВАЊЕ

Цел на секое истражување од сферата на екологијата е обезбедувањето на висок степен на заштита на животот и здравјето на луѓето преку заштитување на животната средина. Затоа преодоминантна примарна цел и на ова истражување е заштитата на животната средина заради заштита на животот и здравјето на луѓето земено во крајна линија.

Не ретко до заштита на животната средина, како и на животот и здравјето на луѓето како крајна цел, може да се дојде преку постигнувањето на повеќе секундарни цели, кои како резултат го имаат постигнувањето на посакуваната највисока крајна цел.

Наш непосреден и конкретен интерес е пронаоѓањето на оптималните рути за собирање и транспортирање на комуналниот отпад во градот Штип. Со задоволувањето на овој интерес би постигнале најмалку две цели што водат кон постигнувањето на крајната цел, и тоа:

а) минимизирање на просторот што евентуално може да биде контаминиран од собирањето и транспортирањето на комуналниот отпад;

б) постигнување на некаков економски ефект со остварување на заштеди при собирањето и транспортот на комуналниот отпад во градот Штип.

Со цел да биде избегната евентуалната нејаснотија, како и можноста од неправилно толкување, би било корисно поконкретното објаснување на поимот „оптимална рута“, на поимот „отпад“ и на поимот „комунален отпад“. Ова е потребно и затоа што во натамошниот текст нивната употреба ќе биде уште почеста.

Сложенката „оптимална рута“ е комбинација од еден латински збор (optimitas) и еден француски збор (route). Во превод латинскиот збор значи „одличен“, а францускиот значи „пат“. Во нашиов случај „оптимална рута“ би значело „одличен пат“ односно „најповолниот пат што треба да се помине“.

Значењето на поимот „отпад“ е одредено во членот 6.1 од Законот за управување со отпад („Службен весник на РМ“ бр. 68/2004, бр. 71/2004, бр. 107/2007, бр. 102/2008 и бр. 143/2008), а значењето на поимот „комунален отпад“ е одредено во точките 5 и 6 на истиот член од истиот Закон. Во слободна интерпретација на овие законски одредби, како отпад треба да се смета секоја материја или предмет што се отстранува или ќе биде отстранет или треба да биде отстранет (депонирани). За комунален отпад се смета неопасен отпад создаден во домаќинствата, како и отпадот создаден при вршење на комерцијална, индустриска, услужна, административна или некоја друга слична дејност под услов тој отпад по својата природа или својот состав да е сличен на отпадот од домаќинствата.

3. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА ВО СВЕТОТ ШТО ГО РАЗРАБОТУВА ПРОБЛЕМОТ НА ПЛАНИРАЊЕ НА РУТИТЕ ПРИ ТРАНСПОРТОТ НА КОМУНАЛНИОТ ОТПАД

Проблемот околу планирањето на рутите е сè поинтензивно истражуван низ светот. Неколку примери од литературата, која го разработува овој проблем, ќе бидат прикажани во понатамошниот текст.

„Подобрено планирање и распоредување при транспорт на отпад“, Универзитет „Киорјо“, Финска - Teemu Nuortio, Jari Kytojoki, Harri Niska, Olli Braysy

Оваа студија го опишува собирањето на отпадот како мошне видлива и важна општинска услуга што вклучува големи трошоци. Проблемите при собирање на цврст комунален отпад се едни од најтешките оперативни проблеми за решавање. Овде се опишани оптимизацијата на рутите на возилата и плановите за собирање на цврст комунален отпад во Источна Финска. Според хеуристичкиот метод на планирање е добиена најкратката (најоптималната) рута и значителни заштеди во времето на патување.

„Оптимизација при рутирање на возилата за собирање на цврст комунален отпад во Deir El-Balah, појасот Газа“, Школа за индустриско инженерство, Исламски универзитет - Газа, Salah R. Agha

Рутирањето за собирањето на цврст комунален отпад е една од основните компоненти на управување со цврст комунален отпад. И покрај фактот дека процесот на собирање зазема 74% од трошоците за управување со цврст комунален отпад, сепак му се дава мало внимание. Процесот на собирање посебно станува посериозен во топлиите и суви сезони во Газа. Ова истражување го оптимизира рутирачкиот систем кој се користи во Deir El-Balah, Gaza Strip, користејќи МИП (Mixed Integer-Programming) модел. Моделот го намалува вкупното растојание поминато со возилата за собирање отпад. Резултатите покажуваат дека примената на моделот го подобрува системот за собирање отпад со намалување на вкупното растојание од 23.47%, притоа со заштеда од околу

1.140 долари месечно. Поради фактот дека повеќето локални власти се финансиски слаби, резултирачките заштеди се многу значајни.[9]

„Логистички модел за оптимално рутирање при собирање на отпад“, Труд за интернационална конференција, Белград - Predrag Milić, Goran Petrović, Miomir Jovanović, Zoran Marinković

Во трудот е опишана идеја за развивање на модел за оптимално движење на возила за отпад во градски простор. Секое комунално претпријатие кое во својата работа користи поголем број возила има потреба од систем кој ќе овозможи надгледување на движењето на секое од тие возила поединечно. Тоа надгледување е овозможено со модерниот GPS\GPRS систем. Трудот прикажува развиен софтвер за управување со мониторинг географски и сообраќајни податоци.

4. СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА ОТПАД

Собирањето е еден од првите чекори за управување со системот за цврст отпад, па затоа неговото правилно планирање и имплементација може да послужат како основа за управувањето со системот за отпад. Потребна е ефикасна програма за собирање која ќе може да ги задржи трошоците кои се во постојан раст. Програмите за собирање во различни заедници се разликуваат во зависност од собраните видови на отпадоци, карактеристиките на заедницата и економијата. Податоците наменети за изворите на отпад, составот на отпадот и вкупниот обем се од големо значење за правилно планирање на програмата за собирање. Прецизните податоци за карактеристиките на комуналниот отпад не само што ќе поттикнат добро организирано и изедначено функционирање на собирањето, туку и ќе ги подобрат програмите за рециклирање и можно намалување на создадениот отпад, на тој начин и контролирање на трошоците за управување со отпадот.

Во Општина Штип собирањето на комуналниот отпад го врши Јавното комунално претпријатие „Исар“. Собирањето се врши во специјални садови и тоа:

- 70 контејнери со зафатнина од 1,1 м³ распоредени во централното градско подрачје;
- 205 контејнери со зафатнина од 5 м³ распоредени на територијата на Штип и во индустриската зона;
- канти за отпад од 80 л, распоредени по домаќинствата.



Слика 4.1. и слика 4.2. Контејнери со запремина од $1,1 \text{ m}^3$

Figure 4.1. & figure 4.2. Containers with a volume of $1,1 \text{ m}^3$

4.1. Автоматско собирање на отпад

Собирањето на отпадот е трудо-интензивен процес кој често вклучува повеќе од тројца работници по возило, за кревање и растоварање на контејнери. Со доаѓањето на автоматските системи за кревање, сепак, собирањето бара помалку работници со што се намалуваат трошоците за работна сила. Полуавтоматските и целосно автоматизираните системи се два иновативни пристапи (чекори) за собирање на цврст комунален отпад. Двата система се потпираат на посебни камиони со механички или хидраулични системи за кревање. На полуавтоматските возила има хидраулични уреди за кревање, монтирани на телото на камионот, на кои екипите ги поставуваат полните контејнери, потоа го активираат механизмот за кревање и контејнерите и по своето празнење се враќаат на почетната точка за собирање. Во целосно автоматизираните возила, возачите ги контролираат хидрауличните рачки од кабината на возилото. Ако не постојат проблеми, како што се неправилно подготвени материјали или лошо поставени контејнери, возачите можат да направат рута без напуштање на возилото за собирање. Придобивките од автоматизираното собирање на отпад го вклучуваат следното:

- намален ризик од повреда: зголемената автоматизација обично ги намалува повредите поврзани со работата за кревање, како што се прободни рани и кинење;
- намалени потреби од возила: целосно автоматизираното собирање го зголемува (до 300%) бројот на домаќинства опслужени на час. Зголемената продуктивност обично резултира со помала флота на возила;
- намалени потреби од работна сила: автоматското собирање го намалува бројот на екипажот по камион. Кај полуавтоматското собирање учествува екипа од два члена, а кај целосно автоматизираните системи возачот обично работи сам;

- намалено влијание врз животната средина: автоматското собирање значи помалку камиони, помала употреба на горива, помалку воздушни емисии и помалку сообраќај низ улиците на заедницата;
- намалени давачки за отпад: приколките со капацитет штитат од вода, мраз и снег, што помага да се контролира тежината и се намалуваат трошоците за отпад;
- подобрена естетика на соседството: еднообразните контејнери ги елиминираат гласните исфрлања. Кај контејнерите со капацитет има помала веројатност да се превртат или да бидат истурени од животни;
- намалени јавни здравствени ризици: контејнерите со капацитет штитат или ја ублажуваат миризбата.

Барањата за изнесување на отпад, количината на отпад, како и карактеристиките на правците на собирање се важни фактори при изборот на возила за собирање. На пример, приградските региони со широки улици можат да бидат идеално приспособени за системите со автоматизирано странично товарење. Спротивно на тоа, урбаните области со тесни улочки и остри кривини може да имаат потреба од полуавтоматизирано собирање кое вклучува и екипа од задни товарачи. За големи станбени згради и комплекси, како и за комерцијални и индустриски употреби се користат системите за влечни контејнери.

4.2. Возила за собирање и транспорт на отпад

Возилата за собирање на отпад трпат постојано редизајнирање за да ги задоволат променливите потреби и да вклучат напредок во технологијата. Трендовите во индустријата на возила за собирање отпад вклучуваат зголемена употреба на компјутерска опрема, механички уреди за кревање и електронска контрола. Некои камиони се опремени со вградени компјутери за следење на перформансите и операциите за собирање. Низ земјите во светот се користат неколку видови камиони за собирање и транспорт на отпад:

- традиционални компактор камиони;
- возило сметар за преземање на отпад од самостојни живеалишта;
- сметар за собирање на изворски-одделен отпад;
- камион за кревање на контејнери;
- вакуум камиони, кои се користат во подрачја со ограничена пристапност, со должина на цевка до 100 m;
- традиционални камиони со отворен горен дел, кои најчесто се користат во земјите со ниски приходи.

Шасиите на камионите и телата обично се порачуваат одделно. При нивниот избор општините мора да се придржуваат на прописите што се однесуваат на големината и тежината на камионот. Изборот на камион се врши според количествата на отпад.

Најчесто употребувани се компактор возилата. Тие се опремени со хидраулични засилени направи кои го набиваат отпадот. Компактор камионите можат да бидат: предно, странично или задно товарачки со капацитет од 7,5 до 35 м³. Пред развојот на компактор камионите, за собирање на цврст отпад се користеле отворените некомпактни камиони. Овие возила се некорисни за собирање на цврст комунален отпад, затоа што носат релативно мала количина на отпад и работниците мораат да ги креват кантите за отпад високо за да го сместат отпадот во камионот.

Во Општина Штип транспортот на отпадот до „Трештена Скала“ го вршат: 6 специјални возила *сметари*, 3 специјални возила *автоподигачи*, 1 специјално комбинирано возило и 3 трактори (слика 4.2.1).



Слика 4.2.1. Возен парк на ЈКП „Исар“

Figure 4.2.1. Vehicles owned by JKP "Isar"

4.3. Образложение за значењето на собирањето и транспортот на комуналниот отпад во урбани средини

Согласно со горенаведената законска одредба, комунален отпад е, пред сè, тој отпад што се создава во домаќинствата. Постојат домаќинства како во урбаните, така и во руралните средини. Веднаш да нагласиме дека како урбани средини ги сметаме градовите, гратчињата и населбите со градски карактер, а рурални средини се селата. Ноторно е дека животните услови во овие две

средини во многу нешта се разликуваат и со нивното споредување полесно би го согледале значењето на собирањето и транспортот на комуналниот отпад во урбаните средини.

Животните услови во секоја средина се предодредени од карактеристиките на средината. За разлика од руралните, животните услови во урбаните средини се во најтесна врска со две нивни специфични карактеристики:

- 1) Строгата одреденост на намената на просторот;
- 2) Густината на населеноста.

Овие две карактеристики на урбаните средини имаат особено значење за потребата од собирање и дислоцирање на комуналниот отпад. Затоа заслужуваат посебно внимание.

Во руралните средини постои релативно голема удобност во наменувањето и пренаменувањето на просторот. Во урбаните средини работите стојат сосема поинаку. Таму намената на просторот е стриктно одредена со облигаторни правила и прописи, а пренаменувањето е оптоварено со бројни формално-правни, административни, финансиски и други комунални проблеми.

Ваквата состојба со намената на просторот во урбаните средини адекватно се одразува и на просторот наменет за собирање и натамошно постапување со комуналниот отпад. Овој простор, впрочем како и секој друг, мора однапред да биде прецизно одреден и уреден, така што максимално ќе ги задоволува условите за ефикасно и прописно собирање на комуналниот отпад. Според можностите и специфичностите на локацијата наменета за собирање на комунален отпад зависи начинот на собирање и начинот на транспортирање.

Не помало значење има и густината на населеноста на одредена урбана средина. Во руралните средини, по правило, густината на населеноста е релативно слаба. Во урбаните средини состојбата редовно е поинаква, населеноста е погуста. Би можеле да констатираме дека густината на населеноста и потребата од собирање и транспортирање на комуналниот отпад

стојат во правопрпорционален однос. Колку густината на населеноста е поголема, толку е поголема и потребата од собирање и транспортирање на комуналниот отпад.

Ако во некоја поретко населена средина се случи некаков ексцес во собирањето или во транспортот на комуналниот отпад, толеранцијата во поглед на брзината на неговото санирање ќе биде поголема отколку ако тоа се случи во некој град каде густината на населеноста е голема. Во густо населените урбани средини, зависно од карактерот и размерите на ексцесот, брзината во санирањето на неговите последици може да има егзистенцијално значење. Затоа во урбаните средини, по правило, организираноста за собирање и транспорт на комуналниот отпад е на високо ниво. Тоа во прв ред значи дека обезбеденоста со квалитетна опрема нужна за собирање и транспорт на комуналниот отпад и обезбеденоста со кадар едуциран и способен да ракува со таквата опрема се на високо ниво.

Во градот Штип, заедно со приградските населби Три Чешми и Караорман, собирањето, транспортот и депонирањето на комуналниот отпад е регулирано со Одлука за комунален ред на Општина Штип („Службен гласник на Општина Штип“ бр. 13/98). За ова подрачје е изготвена студија во која опширно и егзактно е прикажана состојбата. Врз основа на наодите и предлозите од неа, Советот на Општината, по предлог на градоначалникот, има донесено План за управување со отпад во Општина Штип за период 2009 - 2014 година, сообразно на член 18, став 1 од Законот за управување со отпад, а согласно со член 19, став 1.2 секоја година донесува Програма за управување со отпад. На тој начин органите на локалната самоуправа нормативниот дел од работата го вршат на сосема задоволителен начин.

Реално работите и задачите од планот и програмите ги извршува Јавното комунално претпријатие „Исар“. Неговата ефикасност е лимитирана од економската моќ на Општината. Глобално земено, комуналните услуги што ги нуди ЈКП „Исар“ можат да се оценат како задоволителни. Во овие услуги спаѓаат и собирањето и транспортот на комуналниот отпад до депонијата „Трештена Скала“.

5. ДЕПОНИЈА „ТРЕШТЕНА СКАЛА“

Депонирањето на цврстиот комунален отпад, што е производ на животните и работните активности на луѓето, како и од работата на индустриските капацитети е еден од посериозните проблеми во Општината. Комуналниот отпад порано се депонирал многу блиску до градот, на локалитетот Крстот, до населбата Пребег. Оваа депонија не ги задоволувала ниту минималните санитарни стандарди и прописи. Ова место не се користи повеќе за одлагање на отпад и е во фаза на рекултивација.

Сегашната локација, на која што се одлага отпадот, има добиено дозвола од Министерството за животна средина и просторно планирање за времено депонирање и истата е дефинирана и во Генералниот урбанистички план на Општина Штип. Депонијата е позиционирана на локалитетот Трештена Скала, на оддалеченост од 4 км од градот (слика 5.1). За локацијата е изготвен Елаборат за заштита на животната средина и е направен увид од страна на санитарни инспектори од Министерството за здравство. Оваа локација е во употреба од 2004 година, а се планира и понатаму да се користи сè до нејзино пополнување. Истата има капацитет да ја прими количината на отпад, која се создава во градот Штип и околните населени места за период од околу 20 години. До Трештена Скала се пристига преку нов асфалтиран пат изграден за таа намена. Депонијата е опкружена со заштитна ограда (слика 5.2), но истата е далеку од стандардите што треба да се применуваат за една санитарна депонија.



Слика 5.1. Депонија „Трештена Скала“

Figure 5.1. Landfill "Treshtena Skala"



Слика 5.2. „Трештена Скала“

Figure 5.2. "Treshtena Skala"

6. ДЕФИНИРАЊЕ НА КОЛИЧЕСТВАТА НА ГЕНЕРИРАН КОМУНАЛЕН ОТПАД ВО ГРАДОТ ШТИП ЗА ИДЕН ВРЕМЕНСКИ ПЕРИОД

Секое предвидување е работа во која најлесно може да се згреши и во која мора да се биде најмалку категоричен. Народниот гениј изрекол голема мудрост тврдејќи дека домашните сметки на пазар не излегуваат. И за најголемите визионери од форматот на астрологот Нострадамус времето покажало дека правеле грешки во своите предвидувања.

Наша задача е да извршиме дефинирање на количествата на комунален отпад што ќе биде генериран во текот на одреден период во иднината. Јасно е дека треба да се врши предвидување, но не и за кој период и со какви средства. Затоа, најнапред е нужно да го дефинираме периодот, како и начинот на кој тоа ќе го вршиме.

Во одредувањето на временскиот период обигаторно, а во исто време и целисходно, е да појдеме од законската регулатива и постојната пракса. Во членот 18, став 2 од Законот за управување со отпадот е предвидено плановите за управување со отпадот, советите на општините да ги донесуваат за период не помал од три и не подолг од шест години. Врз основа на оваа одредба, Советот на Општина Штип има донесено План за управување со отпад во Општина Штип за периодот од 2009 до 2014 година. Пред донесувањето на Планот е изработена студија од страна на „ДЕКОНС Ема“ - Скопје, која од страна на Општина Штип е издадена како книга (брошура). На страница 12 од таа книга е изработена табела со податоци за бројот на жителите и количините отпад што биле генерирани во периодот 2002 - 2007 година, а на страница 28 е изработена табела со исто такви податоци за периодот 2009 - 2014 година.

Овие предвидувања ги цениме како егзактни. За периодот 2009 - 2014 година, тие се и нормативно дефинирани од страна на градоначалникот на Општина Штип и на Советот на Општина Штип и, како такви, се обигаторни. Овие предвидувања можеме само евентуално да ги критикуваме, но и во таков случај мораме да ги почитуваме како акт на надлежен државен орган. Бидејќи ги цениме

и како егзактно сосема солидни, ги прифаќаме и основите и критериумите врз база на кои тие дефинирања се извршени. Затоа за нашите дефинирања на генерирањето на комунален отпад ќе го опфатиме периодот од 2015 до 2020 година. Тоа е следниот шестгодишен период за кој ќе треба да биде донесен нов План за управување со отпадот. За таа цел, а користејќи ги податоците и методот за проценување на движењата на бројот на жителите и на количините генериран отпад, ја прикажуваме следната табела на генериран комунален отпад за периодот 2002 - 2020 година:

Табела 6.1. Генериран комунален отпад за период од 2002 до 2020 година

Table 6.1. Generated waste for the period from 2002 to 2020

Генерирање на комунален отпад										
Година	Население					Комунален отпад				
	Број на жители	Пораст				Тони комунален отпад	Пораст			
		Претходна година		База 2002г.			Претходна година		База 2002г.	
		Број	%	Број	%		Број	%	Број	%
2002	44517					12821				
2003	44570	53	0.12	53	0.12	12836	15	0.12	15	0.12
2004	44624	54	0.12	107	0.24	12852	16	0.12	31	0.24
2005	44677	53	0.12	160	0.36	12867	15	0.12	46	0.36
2006	44731	54	0.12	214	0.48	12883	16	0.12	62	0.48
2007	44785	54	0.12	268	0.6	12898	15	0.12	77	0.6
2008	44838	53	0.12	321	0.72	12913	15	0.12	92	0.72
2009	44892	54	0.12	375	0.84	12929	16	0.12	108	0.84
2010	44946	54	0.12	429	0.96	12944	15	0.12	123	0.96
2011	45000	54	0.12	483	1.08	12960	16	0.12	139	1.08
2012	45054	54	0.12	537	1.2	12976	16	0.12	155	1.2
2013	45108	54	0.12	591	1.32	12991	15	0.12	170	1.32
2014	45162	54	0.12	645	1.44	13007	16	0.12	186	1.44
2015	45216	54	0.12	699	1.56	13023	16	0.12	202	1.56
2016	45270	54	0.12	753	1.68	13039	16	0.12	218	1.68
2017	45324	54	0.12	807	1.8	13055	16	0.12	234	1.8
2018	45378	54	0.12	861	1.92	13071	16	0.12	250	1.92
2019	45432	54	0.12	915	2.04	13087	16	0.12	266	2.04
2020	45487	55	0.12	970	2.16	13103	16	0.12	282	2.16

Табелава, иако е прикажана како една целина, де факто претставува збир на податоци за три шестгодишни периоди:

а) периодот 2002 - 2007 година;

б) периодот 2009 - 2014 година;

в) периодот 2015 - 2020 година.

Континуитетот го нарушува 2008 година, која не припаѓа ниту на еден од трите наведени шестгодишни периоди. Но, иако не припаѓа на шестгодишните периоди, сепак таа е составен дел на табелата како целина токму заради одржување на континуитетот. Вредностите и за таа година се пресметани со примена на истите критериуми, како и за останатите години опфатени во табелата.

Најголема енигма, секако, претставува 2002 година, како базна година и тоа само во поглед на количините генериран отпад во текот на таа година. Бројот на жителите е статистички податок утврден со пописот извршен во 2002 година, коригиран со податоци за наталитетот, морталитетот и миграциите.

Со истражувањата извршени при изготвувањето на студијата што му претходела на донесувањето на Планот за управување со отпад во Општина Штип за периодот 2009 - 2014 година, утврдено е дека нема точни или мерени податоци за количините создаден отпад за Општина Штип. Показателот за генерирање на отпад по жител во година за урбана средина е земен 288 kg\жител, просечна вредност која е измерена при анализата на отпадот по количина и состав во рамките на проектот „Национален план за управување со отпад и физибилити студија“ (DHV Prowa - SWC, проект финансиран од ЕУ, управуван од ЕАР - 2005), споредена со количините дадени во Стратегија за управување со отпад („Службен весник“ 39/08) кои изнесуваат 285 - 350 kg\жител“. Врз база на вака пресметани количини е донесен Планот за управување со отпад во Општина Штип (2009 - 2014) и Програма за управување со отпад (2009 година). Со тоа е направен преседан кој нè обврзува и ние во дефинирањето на отпадот за

периодот 2015 - 2020 година да го примениме истиот метод. Тоа го имаме направено при изготвувањето на табелата наведена понапред.

Нужно е да нагласиме уште едно горливо прашање, а тоа е годишниот пораст од 0,12%. Од каде и зошто токму 0,12% годишно? Во напред цитираната брошура, на страница 27, пасус 3 е наведено: „Врз основа на фактот што бројот на населението во последните пописи спроведени на територијата на Р.Македонија не покажува голем раст (некаде околу 0,12% пораст на население на годишно ниво), вклучувајќи ги индикаторите за наталитет, морталитет и природен прираст на населението, се претпоставува дека ваквиот тренд ќе остане и за наредните шест години“. Значи, иако доста апроксимативно, потеклото на 0,12% се заснова на резултатите од неколку последователни пописи на населението на територијата на целата држава Р.Македонија.

Од вака изготвената табела за генерирање на комунален отпад произлегува дека за временскиот период 2015 - 2020 година на подрачјето на градот Штип и населбите Три Чешми и Караорман ќе бидат генерирани 78.378 тони отпад, распореден во секоја година, како што е наведено во табелата. Ваквата огромна количина и тенденцијата за проширување на подрачјето и вклопување на други рурални населби секако дека ќе отвори низа нови проблеми од секаков вид. Но, наша цел е самоутврдувањето на оптималните рути за негово собирање и транспортирање. Затоа, во натамошните анализирања проблемите ќе бидат третирани само од тој аспект.

7. РАЗВОЈ НА РУТИТЕ

Ефикасното рутирање и пренасочување на возилата за собирање ги намалуваат трошоците со намалување на трудот вложен за собирање. Рутирачките процедури обично се состојат од две одделни компоненти: микрорутирачки и макрорутирачки.

Макрорутирањето се состои од поделба на вкупното подрачје за собирање на рути со големина доволна за еднодневно собирање со една екипа. Големината на рутата е функција на количината на собраниот отпад од едно запирање, растојанието помеѓу запирањата, времето на товарање и сообраќајните услови. За големи региони макрорутирањето најдобро се постигнува со првата поделба на целокупната заедница во подрачја. Секое подрачје е дополнително поделено во рути за поединечни екипи.

Микрорутирањето користејќи ги резултатите од макрорутирачките анализи ќе го обележи одредениот пат кој ќе биде изминат од секоја екипа и возило за собирање во еден ден. Резултатите од микрорутирачките анализи потоа можат да бидат искористени за приспособување на макрорутирачките одлуки.

Микрорутирачките анализи и планирање можат да го постигнат следново:

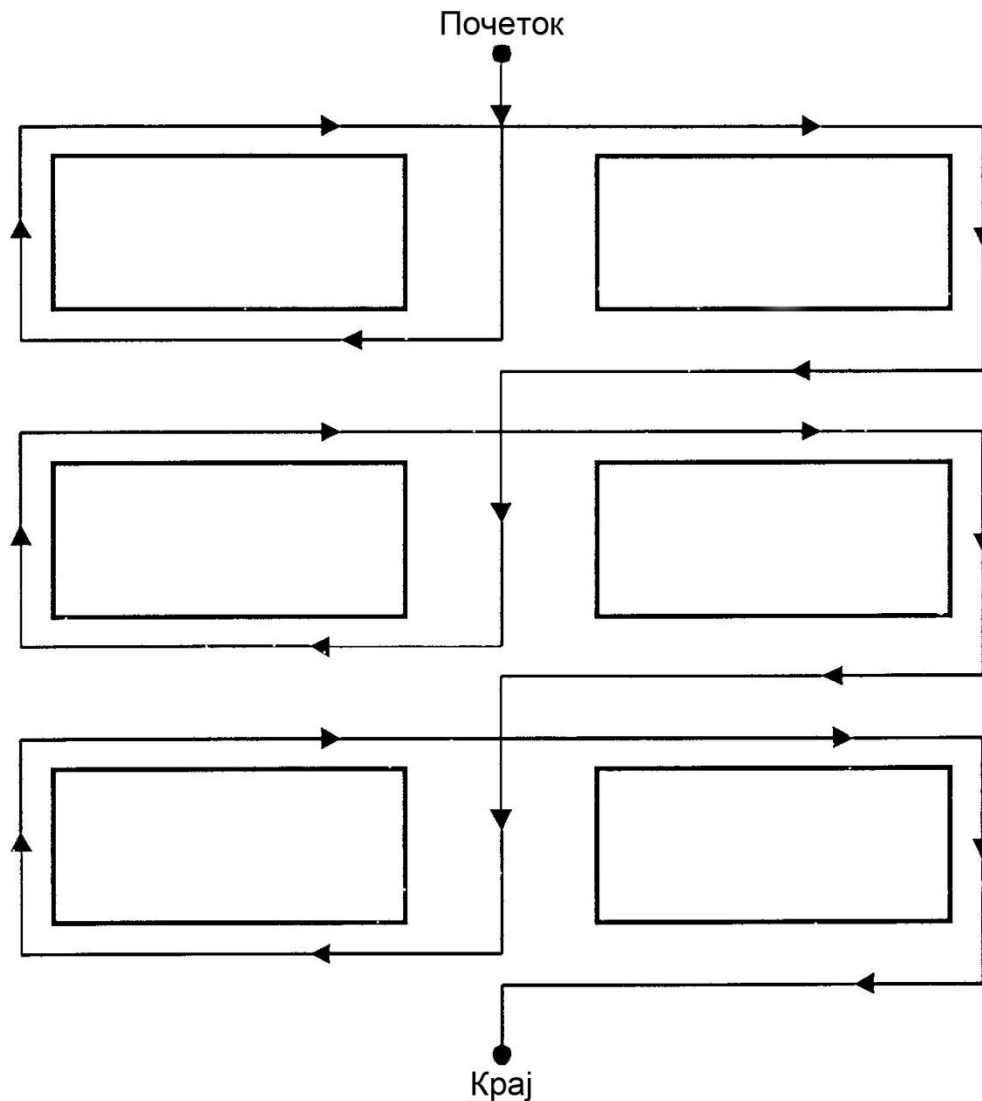
- зголемување на веројатноста дека сите улици ќе бидат сервисирани подеднакво и доследно;
- да им се помогне на супервизорите да ги лоцираат екипите брзо, бидејќи тие ги знаат конкретните рути кои ќе бидат преземени;
- да се обезбеди потенцијално намалување на рутите кои можат да се тестираат наспроти искуството на возачот за да ги обезбедат најдобрите вистински рути.

Методот избран за микрорутирање мора да биде доста едноставен за да биде искористен за рутински приспособувања; на пример, сезонските варијации во генерирањето на отпадот ќе бараат корекции (измени). Сезонските промени во генерирањето на отпадот може да бидат приспособени со обезбедување на

помалку големи рути за време на нискогенерирачките периоди (обично зима) и зголемување на бројот на рути за време на високогенерирачките периоди (пролет и есен).

Во некои земји програмите за цврст отпад на агенциите за заштита на животната средина имаат развиено едноставен некомпјутеризиран „хеуристичен“ (рачен) пристап кон рутирањето на возилата за собирање врз основа на одредени логички принципи. Агенциите за заштита на животната средина го развиле методот за промовирање на ефикасен рутирачки распоред кој се базира на развивање, распознавање и користење на одредени шаблони кои се повторуваат во секоја општина. Користејќи го овој пристап, планерите на рутите ставаат хартија за следење врз голема мапа (карта). Мапата треба да ги покажува локациите на услужни гаражи за собирање, еднонасочните улици, природните бариери и регионите со тежок тек на сообраќај. Рутите потоа треба да бидат пласирани врз хартија за следење, користејќи ги правилата прикажани подолу:

1. Рутите не треба да бидат фрагментирани или делумно покриени. Секоја рута треба да биде компактна и да се состои од улични сегменти групирани во иста географска област.
2. Вкупното собирање, плус времето на влечење треба да биде постојано за секоја рута во заедницата (еднаков обем на работа).
3. Рутата за собирање треба да биде започната што е можно поблизу до гаражата или возниот парк, имајќи ги предвид еднонасочните и тешко проодните улици.
4. Отпадот од тешко проодните улици не треба да се собира за време на сообраќајниот метеж.
5. Во случајот кај еднонасочните улици, најдобро е рутата да се започне близу горниот крај на улицата, работејќи преку looping процес (слика 7.1.).



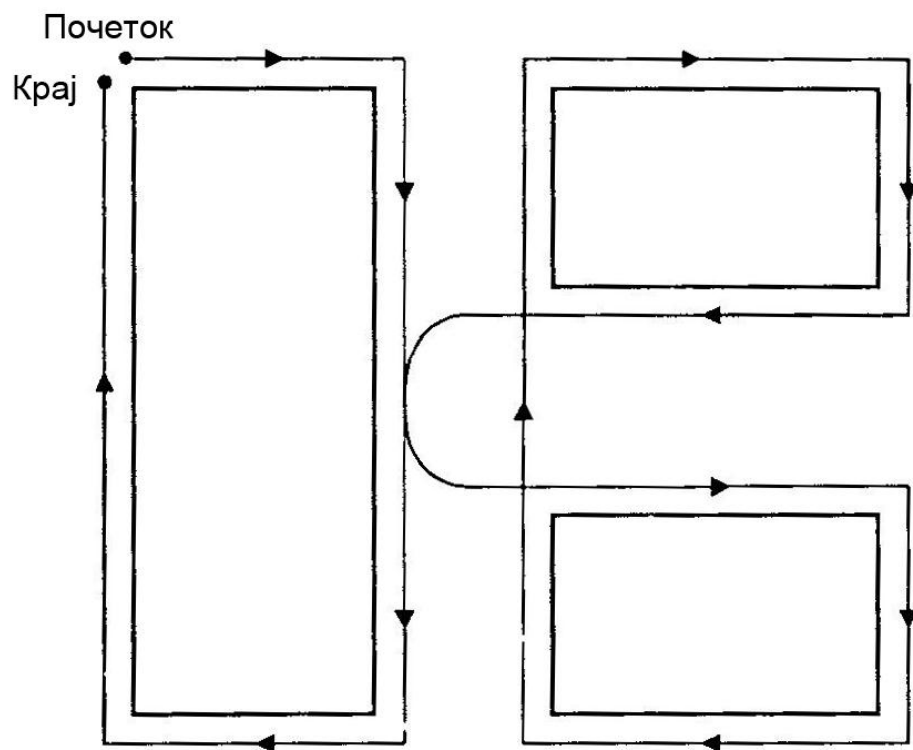
Слика 7.1. Рутирачка шема за еднонасочна улица

Figure 7.1. Routing pattern for one - way street

6. За да го задржат левото свртување на минимум, отпадот треба да се собира од слепите улички кога тие се на десно од камионот. Мора да се собира со спуштање надолу, во рикверц или правење на U - свртување.

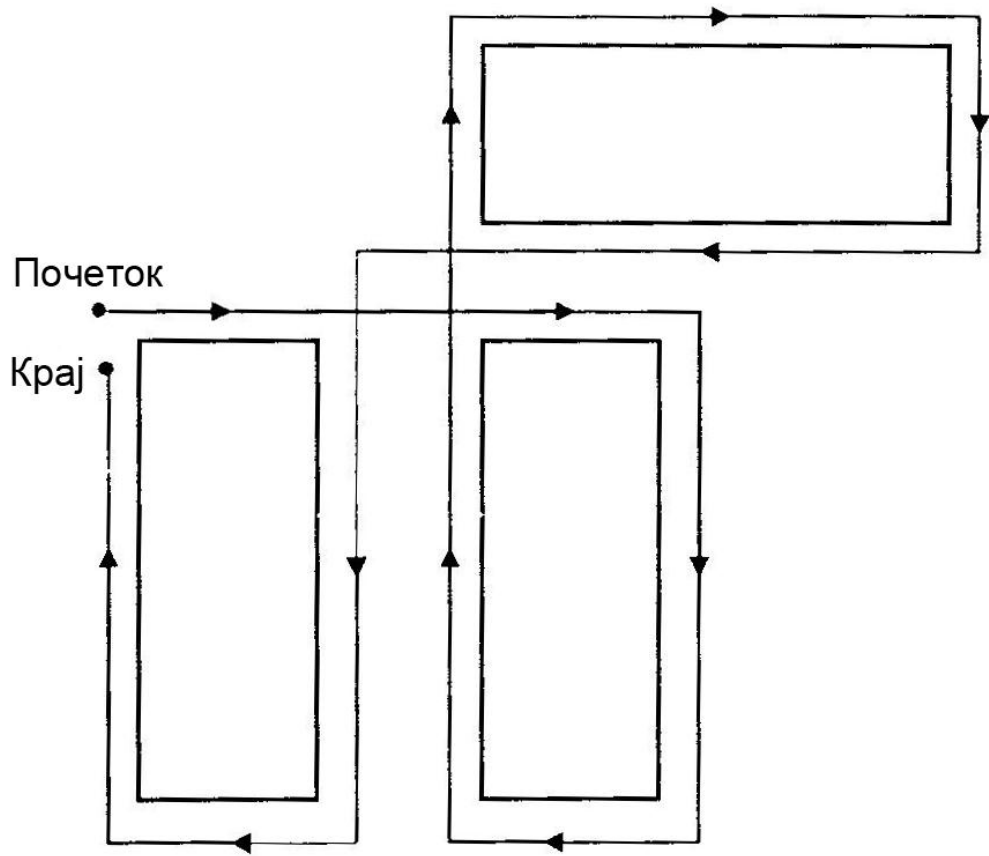
7. Кога возилото запира на стрмнина треба да се изврши опслужување од двете страни на улицата, при што возилото се движи надолу, за да се постигне потребната безбедност, олеснување, брзина на сопирање, штедење на амортизацијата на возилото и зачувување на горивото и маслото.
8. Повисоките места треба да бидат на почетокот на рутата.
9. За собирање на една страна на улицата одеднаш е најдобро да се рутира со повеќе вртења во правец на стрелките на часовникот околу зградите.
10. За собирање од двете страни на улицата истовремено е најдобро да се рутира по долги прави патеки низ мрежата.
11. За одредени форми на згради, за време на рутата треба да се применуваат посебни шаблони.

Сликите 7.2, 7.3 и 7.4 се примери на хеуристични пристапи кои можат да бидат искористени во зависност од блок шемата.[11]



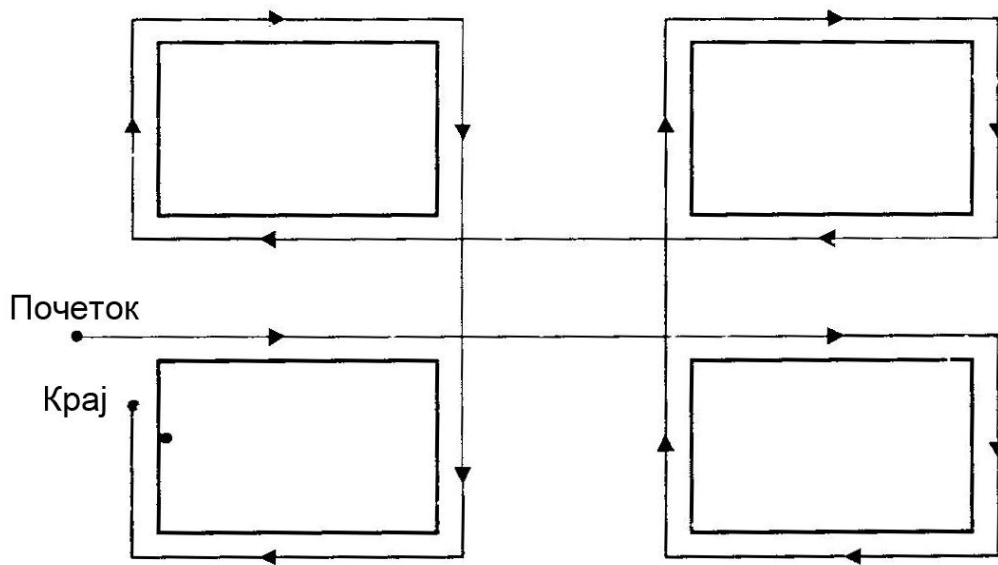
Слика 7.2. Триблоковска конфигурација

Figure 7.2. Three - block configuration



Слика 7.3. Варијација од триблоковска конфигурација

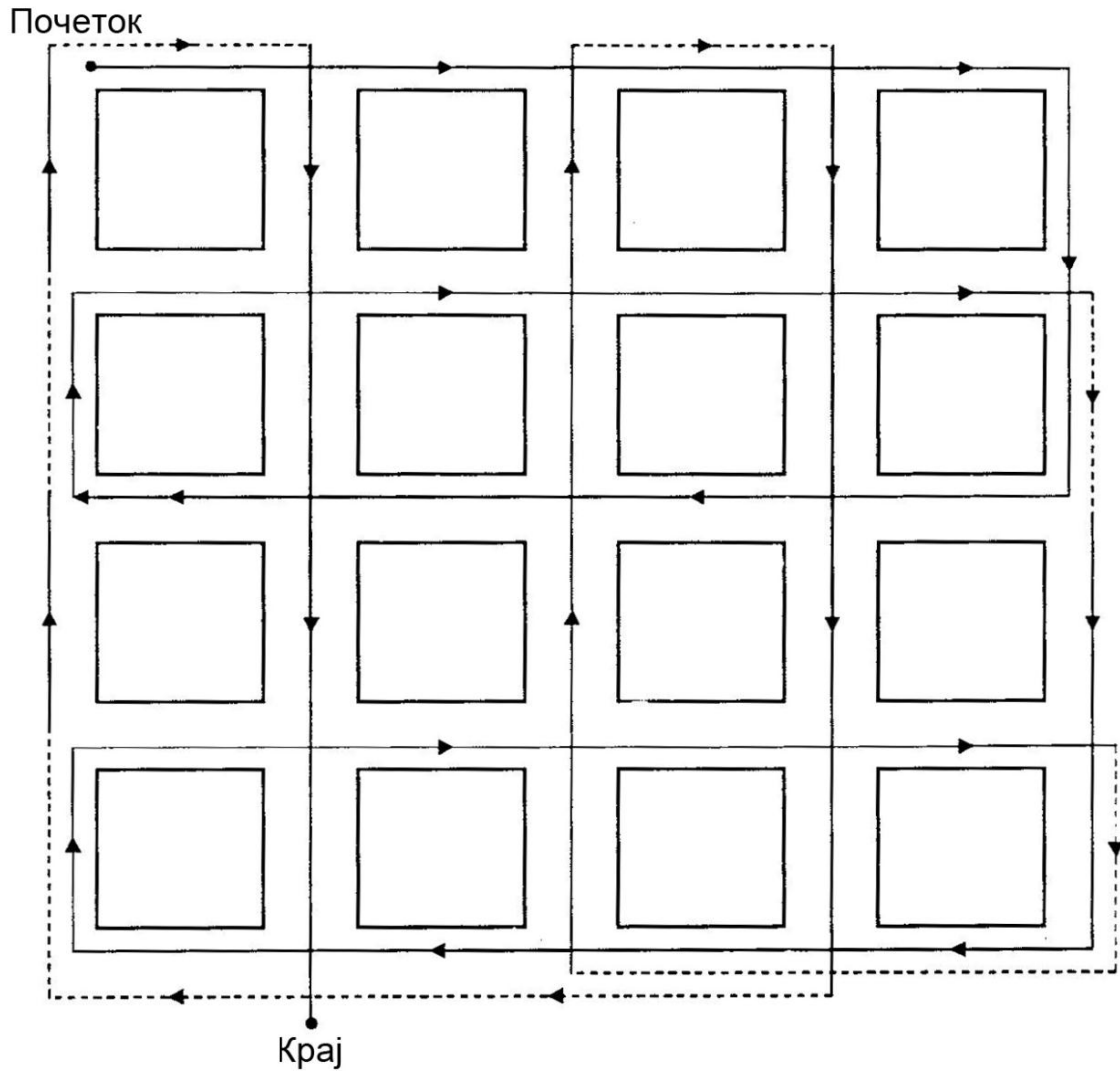
Figure 7.3. Variation of three - block configuration



Слика 7.4. Четириблоковска конфигурација

Figure 7.4. Four - block configuration

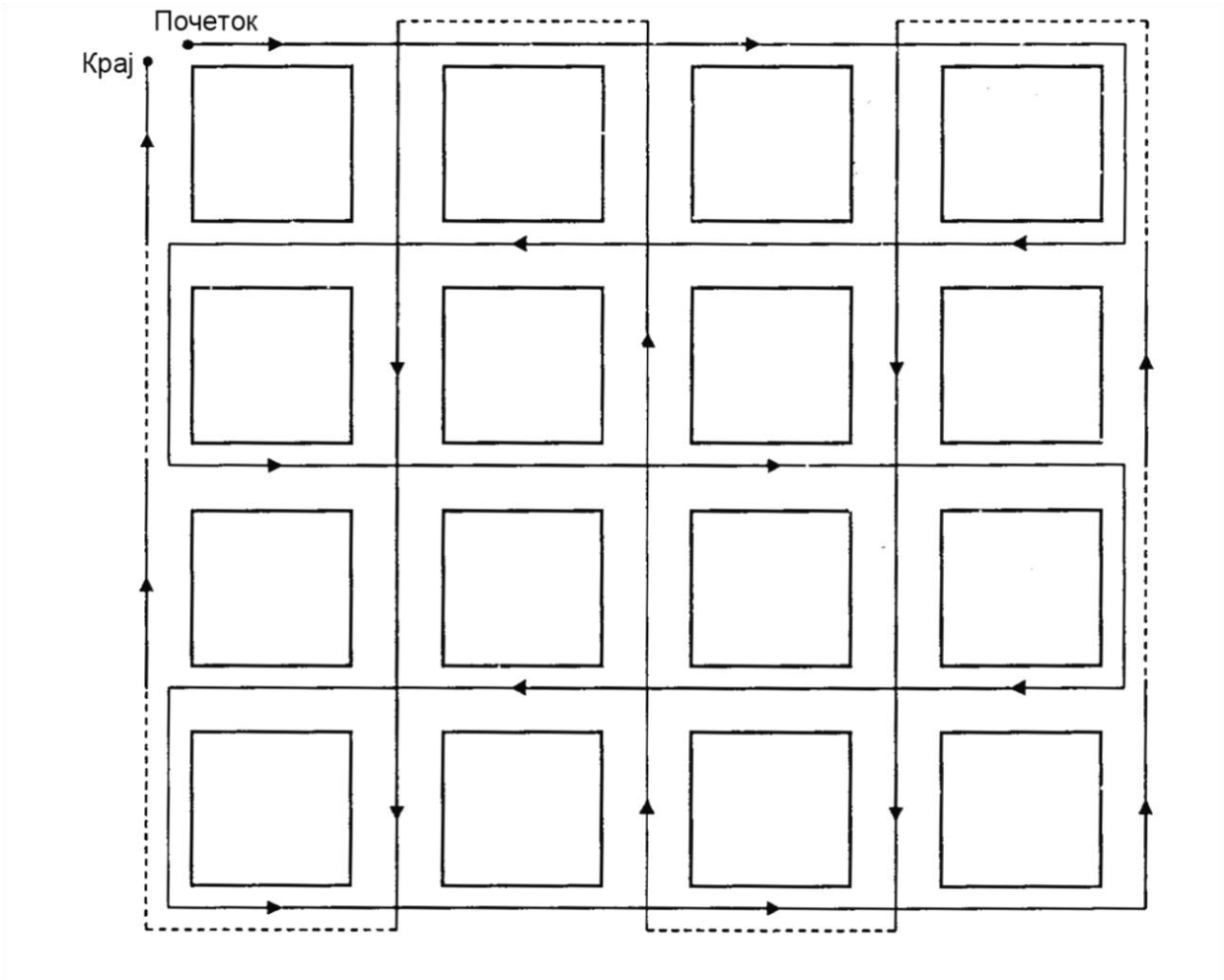
Наредните слики (шема А и шема Б) претставуваат рутирачки шеми за мултиблок конфигурација.



Шема А

Слика 7.5. Рутирачка шема за мултиблок конфигурација

Figure 7.5. Routing pattern for a multiblock configuration



Шема Б

Слика 7.6. Рутирачка шема за мултиблок конфигурација

Figure 7.6. Routing pattern for a multiblock configuration

7.1. Рутирање со помош на компјутер

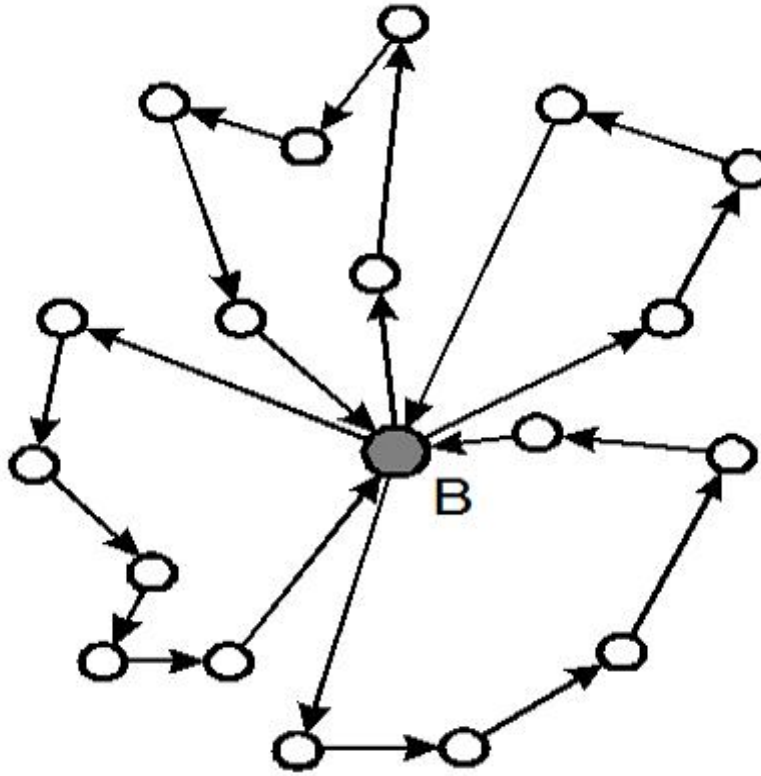
Компјутерските програми стануваат популарни во воспоставувањето на дизајнот на рутите, особено кога рутите треба да се приспособуваат периодично. Програмите можат да се искористат за да развијат детални микроруди или да ги приспособат постоечките руди. За да се програмираат детални микроруди, планерите бараат информации слични на оние кои се потребни за хеуристичко рутирање, како на пример формите на зградите, генерирачка стапка на отпадот, растојанија помеѓу живеалиштата, растојанијата помеѓу рутите и времето на товарење. Општините кои имаат систем за географски информации (ГИС), базата на податоци може да ги користи податоците за нивната област за да се олесни компјутеризираното балансирање на рутата.

8. ОПШТИ ПРИНЦИПИ ЗА РЕШАВАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ НА ПЛАНИРАЊЕТО НА РУТИТЕ НА ВОЗИЛАТА

Често се среќаваме со проблеми околу проектирањето на рутите по кои треба да се движат сообраќајните средства. За решавање на овие проблеми се применуваат различни техники, како што се: динамичкото програмирање или методот на разгранување и ограничување. Проблемите од овој тип се решаваат и со примена на хеуристички алгоритми. Хеуристичките алгоритми, по правило, не бараат премногу работа на компјутер и затоа наоѓаат сè поголема примена во инженерството. Во поголем број случаи даваат решенија кои се релативно близу до оптималните.

8.1. Стандарден рутинг проблем

Пред сообраќајниот орган се поставува проблем за одредување на бројот на рути по кои треба да се движат сообраќајните средства додека извршуваат некаква задача. Притоа вкупното растојание кое ќе го поминат сите сообраќајни средства да биде минимално. Ако во границите на овој проблем постојат n јазли во кои се јавува барање за превоз $v_i (i=1,2,\dots,n)$, ако сите сообраќајни средства се стационарни во една точка B (база) и се со ист капацитет V , ако ја започнуваат и завршуваат услугата во точката B и ако капацитетот на сообраќајните средства е поголем од кое било барање за превоз v_i , тогаш означениот проблем е стандарден проблем на рутингот на сообраќајните средства и за неговото решавање се развиени поголем број на алгоритми.



Слика 8.1. Рутини на сообраќајните средства

Figure 8.1. Routes of transport vehicles

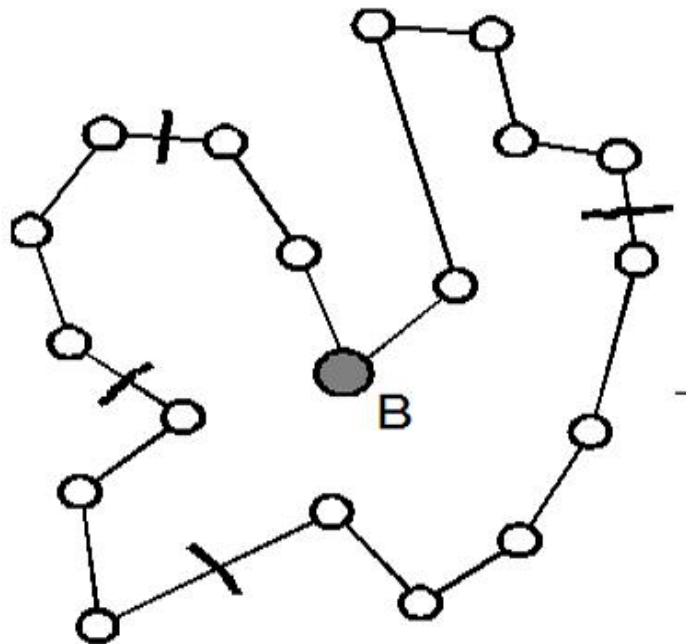
Стандардниот рутинг проблем се усложнува кога во мрежата постојат повеќе бази на сообраќајни средства во случај кога услугата ја вршат сообраќајни средства со различен капацитет и во случаи кога во мрежата се појавуваат стохастички барања за услуги.

8.2. Пристапи „рутинг - зонирање“ и „зонирање - рутинг“

Во светот се развиени голем број на алгоритми за решавање на стандардниот рутинг проблем на сообраќајните средства. Двете основни можности за пристапување кон рутингот на сообраќајни средства се:

- рутинг - зонирање;
- зонирање - рутинг.

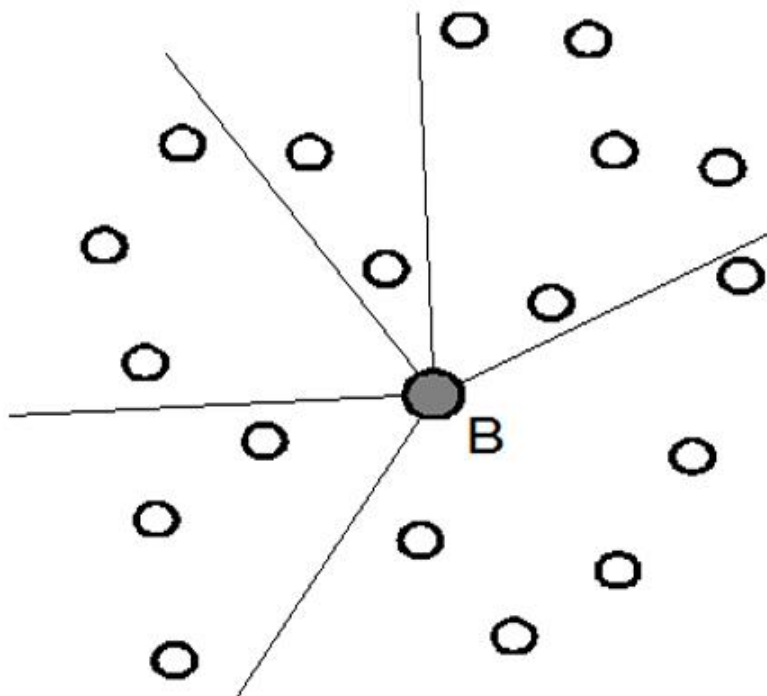
Приодот „рутинг - зонирање“ подразбира најнапред да се проектира само една гигантска рута која минува низ сите јазли што треба да бидат опслужени. При проектирањето на оваа рута не се земаат предвид оперативните ограничувања (капацитетот на возилата, максималната можна должина на рутите итн.). Во вториот чекор гигантската рута се дели на помали рути кои се одредуваат со услов сите оперативни ограничувања да бидат задоволени.



Слика 8.2.1. Рутинг - зонирање

Figure 8.2.1. Route - Zoning

Во приодот „зонирање - рутинг“ најпрвин целата мрежа се дели на зони, а потоа во рамките на секоја зона посебно се решава рутинг проблемот.



Слика 8.2.2. Зонирање - рутинг

Figure 8.2.2. Zoning - Route

9. ОПТИМИЗАЦИЈА НА ДВИЖЕЊЕТО НА ВОЗИЛАТА

Одредувањето на оптималната линија (рута) на движење на возилата е неодминлива логистичка активност во транспортот. Проблемот се состои во тоа што се избира таква рута која ќе ја минимизира поминатата релација, трошоците и времето на патувањето.

Разликуваме три карактеристични случаи на рутирање на возилото:

1. Рутирање на возило кое не се враќа во почетната точка;
2. Рутирање на возило кое се враќа во почетната точка;
3. Рутирање на возило за кое се зема предвид ограниченоста на неговиот капацитет.

9.1. Рутирање на возилото без враќање во почетната точка

Целта на овој карактеристичен случај е избирање на линија на движење (рута) на возилото со кое треба да се изврши испорака на одреден број дестинации. Од ова ќе дојде до минимизација на должината на дестинацијата или времето на патување. Кај овој проблем се претпоставува дека не постои проблем со ограниченоста на капацитетот на возилото и дека не се бара враќање на возилото во почетната точка.

Неопходни податоци за овој случај се:

1. Специфицирано место на тргнување;
2. Специфицирани дестинации до кои треба да се изврши испораката;
3. Растојанието или времето на патување помеѓу одделните точки што треба да ги посети возилото.

9.2. Рутирање на возило со враќање во почетна точка (проблем на „трговски патник“)

Оптимизирањето на движењето на возилата кога треба да се изврши испорака на поголем број дестинации (или да се изврши собирање на стока од поголем број изворишни точки), при што возилото се враќа во почетната точка, претставува типичен проблем на рутирањето. Овој проблем е аналоген со т.н. проблем на „трговскиот патник“. За решавање на проблеми од овој вид има развиено повеќе аналитички и нумерички методолошки техники. Исклучително големиот број на пресметковни операции што треба да се направат за изнаоѓање на оптималното решение, посебно кај проблемот со поголем број дестинации што возилото треба да ги посети е причина што при рутирањето од овој вид не користи техники чиј резултат е оптимално решение. Наоѓањето на таквото решение и при употреба на сметачка техника бара многу време, поради што тоа не е рационално и е неоперативно. Во литературата е истакнато дека и за решавање на едноставни проблеми е потребно многу време. На пример, во случај на испораки што треба да се извршат до 10 купувачи со три возила и на моќен сметач му се потребни околу 30 минути за да го најде оптималното решение. Ова времетраење при поголем број на дестинации и возила може да трае и неколку десетици часови, па и денови.

Поради наведените причини за решавање на овој проблем на рутирање на возилата се користат техники (алгоритми) кои како резултат даваат решение блиску на оптималното, што претставува рационален начин за пронаоѓање на тоа решение.

9.3. Рутирање со ограничување на капацитетите (алгоритам на заштеди)

Овој карактеристичен случај за одредување на оптималните рути на движење на возилата ги зема предвид ограничувањата поврзани со капацитетите на расположливиот возен парк кој се користи за задоволување на потребите на дефинираниот број клиенти. Ова особено е во примена кај оптимизацијата на

возниот парк што е наменет за снабдување на продажните објекти од страна на дистрибутивните центри. Во овој случај се познати следните големини:

- обемот на потребните испораки во поединичните дестинации;
- бројот и поединечниот капацитет на расположливите возила во возниот парк;
- оддалеченоста помеѓу сервисерите (опслужувачите) и потрошувачите, како и оддалеченоста помеѓу поединечните потрошувачи. Наместо оддалеченоста на превозот може да биде користено времетраењето на превозот.

Треба да се одреди оптималното користење на возилото, што подразбира одредување на оптималните рути за нивно движење, т.е. рути со минимална оддалеченост што возилата треба да ја поминат или со минималното време што треба да го поминат на пат. Притоа треба да бидат почитувани следните услови:

- да се изврши потребниот (бараниот) обем на испораки до секој клиент;
- расположливиот капацитет (носивоста) на возилата да не биде пречекорен;
- вкупното време (или вкупната оддалеченост) што возилата го поминуваат (изминуваат) во текот на денот да не ја пречекори одредената (предетерминираната) граница.

Овој метод за оптимизација има за цел да обезбеди распределба на испораките на расположливиот возен парк, водејќи сметка за бројот и максималната носивост на возилата, а истовремено и да ги оптимизира рутите.

Методолошката техника која се користи за овој вид проблеми е позната под името „метод на заштеда“ која ќе биде образложена во понатамошниот текст. Техниката („метод на заштеда“) не гарантира оптимално решение, туку како и во претходните случаи само решение кое е близу до оптималното.

„Методот на заштеда“ подразбира релативно комплексна процедура, но овозможува добра основа за одредување на оптимални рути на движење на возилата, со истовремено земање предвид на ограничувањата во структурата и во капацитетот на расположливиот возен парк. Постојењето на сметачките алгоритми овозможува ефикасно и рационално користење на оваа процедура при рутирање во праксата, во која често се јавува потреба за решавање на проблеми од овој вид.

10. АЛГОРИТМИ НА ЗАШТЕДИ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ

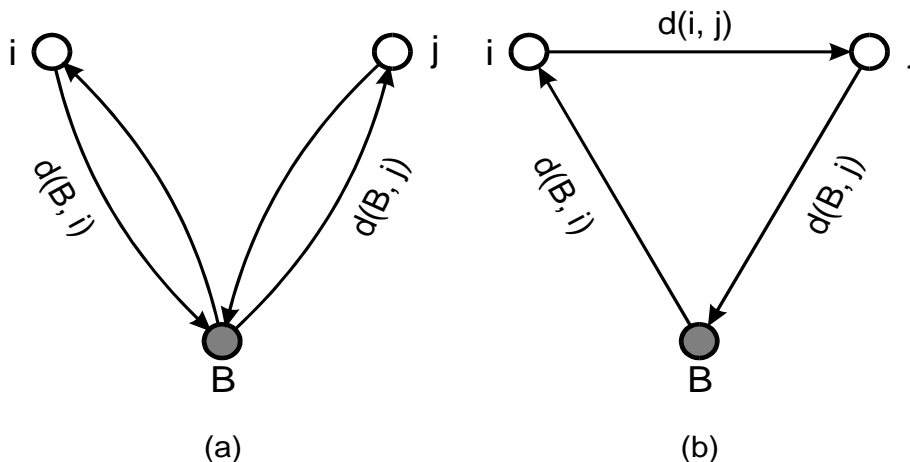
Од многубројните алгоритми (модели) за одредување на оптимални рути посебно е интересен т.н. Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на „заштеди“. Овој модел, како и модифицираниот Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам ќе бидат разгледани во понатамошниот текст. Со помош на овие модели ќе ги одредиме и оптималните рути за собирање и транспорт на отпад во градот Штип.

10.1. Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на заштеда за проектирање рути на сообраќајните средства

Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на „заштеди“ е еден од најпознатите алгоритми за проектирање рути на сообраќајни средства. Основната идеја на Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам е базирана на заштедите во поминатиот пат, времето на патување, потрошувачката на гориво и вкупните транспортни трошоци кои се реализираат при опслужување на јазлите од транспортната мрежа по различни патеки на транспортните средства.[7]

Ако е В (база) т.е. јазол од кој сообраќајното средство тргнува и во кој се враќа по извршената услуга, тогаш кој било пар јазли (i,j) тоа сообраќајно средство може да ги опслужи на два начина:

- Да тргне од базата да го опслужи јазолот i, да се врати во базата да го опслужи јазолот j и пак да се врати во базата (слика 10.1.1а) или
- Да тргне од базата да ги опслужи јазолот i и јазолот j и да се врати во базата (слика 10.1.1б).



Слика 10.1.1. Шеми за пресметување на заштедите
 Figure 10.1.1. Patterns for calculating savings

Големината $d(i,j)$ претставува најкраткиот пат помеѓу јазлите i и j или најмалото време на транспорт од јазолот i до јазолот j , или пак најмалото количество на гориво потрошено на патот од јазолот i до јазолот j . Ако оваа големина се разгледува како вкупен трошок од јазолот i до јазолот j , тогаш за случајот на слика 10.1.1.(а) вкупните транспортни трошоци изнесуваат:

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,B) + d(j,B)$$

а за случајот на слика 10.1.1.(б):

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,j) + d(j,B)$$

Ако ги одземеме овие две равенки ќе видиме дека вкупните транспортни трошоци во вториот случај се помали за следнава големина:

$$T'(i,j) = d(i,B) + d(B,j) - d(i,j)$$

Може да се заклучи дека доколку заштедата $T'(i,j)$ е поголема, дотолку поекономично е јазлите i и j да се спојат во една рута. Притоа ограничувачки фактор е капацитетот на транспортното средство. Всушност, за да се спојат

јазлите i и j во една рута, капацитетот на транспортното средство мора да биде поголем од вкупните барања за опслужување кои се јавуваат во овие два јазла.

Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на „заштеда“ за проектирање рути на сообраќајните средства се состои од следниве алгоритмички чекори:

Чекор 1: Се пресметуваат сите заштеди $T'(i,j) = d(i,B) + d(B,j) - d(i,j)$ за секој пар на јазли кои треба да се опслужат;

Чекор 2: Се рангираат сите заштеди и се подредуваат по големина. Се составува листа на заштедите, почнувајќи од најголемата и одејќи до најмалата;

Чекор 3: При утврдувањето на заштедите $T'(i,j)$, соодветната гранка (i,j) се вклучува во парцијалната рута доколку притоа не се прекршуваат оперативните ограничувања и:

а) ако ниту јазолот i , ниту јазолот j не биле вклучени во ниту една парцијална рута;

б) ако еден од јазлите i или j веќе е вклучен во некоја постоечка парцијална рута, и ако тој јазол не е внатрешен јазол во рутата;

в) ако двата јазла i и j се вклучени во две различни парцијални рути и никој од тие јазли не е внатрешен во тие рути, па тогаш е можно парцијалните рути да се спојат во една.

Чекор 4: Кога листата на заштеди е потрошена до крајот, треба да се заврши со алгоритмот.

Овој алгоритам има секвенцијална и симултана верзија. Секвенцијалната верзија подразбира проектирање на рутите на сообраќајните средства во секвенции, една по една. Најпрво се врши проектирање на една рута во целост, а потоа одново се разгледува листата на заштеди (од најголемата постојна заштеда) и во потполност се врши проектирање на друга рута итн. Во ваков случај, ако во листата на заштеди се пронајде пар на јазли кој не бил вклучен во ни една рута, тој пар јазли се „прескокнува“ и се остава за натамошно

разгледување. Во текот на едно прегледување на листата на заштеди се води сметка само за една рута.

Симултаната верзија подразбира со еден преглед на листата на заштеди да бидат испроектирани сите рути на сообраќајните средства, зашто во овој случај доколку се пронајде пар на јазли што не бил вклучен во ни една рута веднаш се врши формирање на нова рута.

10.2. Модифициран Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам на заштеди заснован на правилата на Fuzzy аритметиката

Во поголемиот број модели за проектирање рути на сообраќајните средства се претполага дека времето за патување, растојанието и транспортните трошоци помеѓу одделни парови јазли во мрежата се константни големини кои се однапред познати. Од друга страна, потребно е да се нагласи дека со вредноста на времето за патување помеѓу два јазли во мрежата е поврзана одредена неизвесност. Таа неизвесност зависи од условите под кои се врши сообраќајот, од начинот на возење, од метеоролошките услови, од изборот на одделни улици итн. Користејќи ги правилата на fuzzy аритметиката, развиен е модел за проектирање на рути на сообраќајните средства во кој е вградена неизвесноста во поглед на времето потребно за патување помеѓу одделните јазли.

Нашето субјективно чувство во однос на времето потребно за патување најчесто не е доволно прецизно. Така, на пример, многу често може да се слушне проценката дека помеѓу два јазли во мрежата може да се стигне „за отприлика дваесетина минути“. Тврдењето дека, на пример, помеѓу овие два јазли растојанието може да се помине за 17 минути нема да биде употребено при субјективното проценување на потребното време за патување. Ова понатаму значи дека „отприлика за дваесетина минути“ го претставува најблискиот цел број со кој најлесно се изразува приближната вредност на времето на патување. Ваквиот начин за проценување на времето на патувањето не е резултат на објективни мерења, туку претставува субјективна процена која е различна за одделни диспечери и возачи. Времето на патување може да се третира и како

случајна променлива, а за тоа е неопходно да се извршат соодветни мерења на времето на патување и да се утврди одредена густина на распределбата на веројатноста. Најчесто диспечерите (доносителите на одлуки) вршат субјективна процена на вредноста на времето за патување врз основа на своето искуство и својата интуиција, при што проценетото време за патување го изразуваат како „мало“, „долго“ , „отприлика дваесетина минути“ итн.

Алгоритмот за проектирање рути на сообраќајните средства во кои времето за патување и соодветните транспортни трошоци помеѓу два јазла во мрежата се третирали како fuzzy броеви е возможно да се изработи ако се почитуваат следниве оперативни ограничувања:

1. Барањата за вршење на услуги му се однапред познати на диспечерот. Секое барање е окарактеризирано со локација и со количина која треба да се опслужи.
2. Сите сообраќајни средства кои вршат опслужување да имаат подеднаков капацитет кој е доволен да се опслужи најмалку едно побарување.
3. Сите сообраќајни средства својата активност ја започнуваат од депото во кое се враќаат по завршувањето на работата. Во текот на еден ден, сообраќајното средство може депото да го напушти повеќе пати.
4. Времето на патување помеѓу јазлите од мрежата е само апроксимативно познато.
5. Возачите мораат услугите да ги вршат со почитување на рутата (редоследот на јазлите што треба да бидат посетени) која е проектирана од страна на диспечерите или аналитичарите.

11. ФОРМИРАЊЕ НА МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ ЗА СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА ОТПАДОТ ВО ШТИП

Формирањето на математички модел има за цел да ги одреди оптималните рути при транспортот на отпадот. Во нашиот случај како модел ќе биде применет модифицираниот алгоритам на заштеди.

Низ подрачјето на градот Штип се распоредени контејнери од 5 m^3 и $1,1 \text{ m}^3$. Контејнерите од 5 m^3 нема да бидат опфатени во оваа анализа. Разгледувани се само јазлите кои се состојат од група на контејнери со зафатнина од $1,1 \text{ m}^3$ кои се распоредени низ централното градско подрачје. Поединечните јазли (кои содржат само еден контејнер, со зафатнина од $1,1 \text{ m}^3$) ќе бидат посебно опслужувани со возило со поголема носивост. Групите јазли (прикажани на сликите 11.1, 11.2 и 11.3) се поделени во три градски подрачја: Централно градско подрачје; подрачјето меѓу Економски факултет - ОУ „Гоце Делчев“ и подрачјето Градски пазар - Автокоманда - Булевар „Партизанска“.



Слика 11.1. Група јазли во централно градско подрачје

Figure 11.1. Group nodes in the central city area



Слика 11.2. Група јазли во подрачјето меѓу Економски факултет и ОУ „Гоце Делчев“

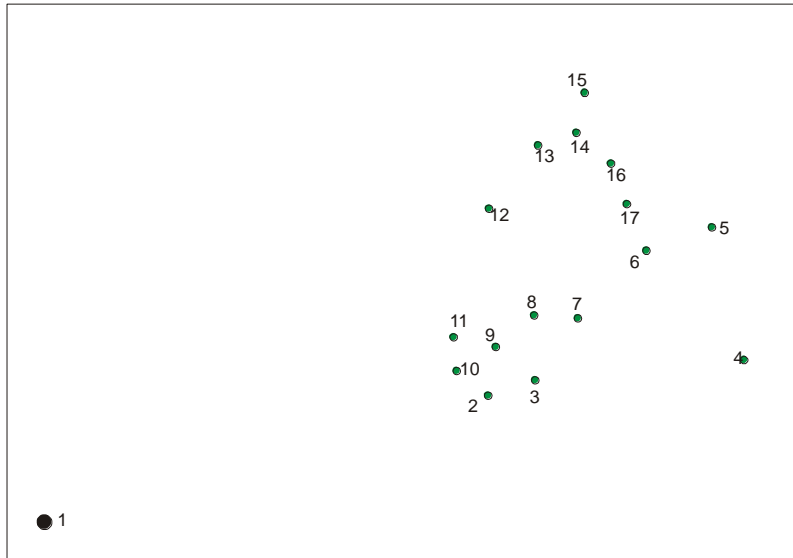
Figure 11.2. Group nodes in the area between the Faculty of Economy and Primary School "Goce Delchev"



Слика 11.3. Група јазли во подрачјето: Градски пазар - Автокоманда - Булевар „Партизанска“

Figure 11.3. Group nodes in the area: City Market - Avtokomanda - "Partizanska" Boulevard

На слика 11.4 шематски е прикажан вкупниот број на јазли што треба да бидат опслужени, каде јазолот 1 претставува градската депонија „Трештена Скала“, каде што се врши одлагањето на комуналниот отпад.



Слика 11.4. Шематски приказ на јазли што треба да бидат опслужени

Figure 11.4. Schematic view of nodes to be served

Трошоците на транспортот помеѓу сите парови на јазли се прикажани во табела 11.1.

Табела 11.1. Трошоци за транспорт меѓу парови јазли

Table 11.1. Costs for transport between the pairs nodes

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		4000	4275	5150	6000	6200	4513	4601	5039	5314	4475	5600	5875	6313	6501	6463	6601
2	4000		275	1150	2010	2210	513	601	1039	1314	1039	1600	1875	2313	2501	2443	2581
3	4275	275		875	1725	1925	238	326	764	1039	764	1664	1939	2377	2565	2527	2665
4	5150	1150	875		850	713	788	876	1314	1589	1314	1114	1389	1525	1713	1863	2001
5	6000	2010	1725	850		200	725	813	1251	1526	1251	1250	1163	675	863	825	963
6	6200	2210	1925	713	200		525	613	1051	1326	1051	1350	1188	700	888	850	988
7	4513	513	238	788	725	525		88	526	801	526	876	879	1317	1505	1467	1605
8	4601	601	326	876	813	613	88		438	713	438	788	791	1229	1417	1377	1517
9	5039	1039	764	1314	1251	1051	526	438		438	713	1275	1550	1988	1950	2138	2276
10	5314	1314	1039	1589	1526	1326	801	713	438		438	1000	1275	1713	1675	1825	1963
11	4475	1039	764	1314	1251	1051	526	438	713	438		638	913	1351	1313	1501	1639
12	5600	1600	1664	1114	1250	1350	876	788	1275	1000	638		275	713	675	863	1001
13	5875	1875	1939	1389	1163	1188	879	791	1550	1275	913	275		438	400	588	726
14	6313	2313	2377	1525	675	700	1317	1229	1988	1713	1351	713	438		188	150	288
15	6501	2501	2565	1713	863	888	1505	1417	1950	1675	1313	675	400	188		550	688
16	6463	2443	2527	1863	825	850	1467	1377	2138	1825	1501	863	588	150	550		138
17	6601	2581	2665	2001	963	988	1605	1517	2276	1963	1639	1001	726	288	688	138	

Потребите за опслужување, кои се јавуваат во јазлите се прикажани во табела 11.2.

Табела 11.2. Потреби за опслужување по јазли

Table 11.2. Requierments for nodes serving

Јазол, i	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Побарувачка во јазлите, м ³	1,1	1,1	7,7	7,7	1,1	3,3	3,3	4,4	1,1	3,3	5,5	2,2	3,3	2,2	1,1	1,1

Типовите на возила што ќе ги опслужуваат јазлите се дадени во табела 11.3.

Табела 11.3. Типови возила на ЈКП „Исар“ според нивната носивост

Table 11.3. Types of JKP "Isar" vehicles according to their loads

Тип на возило	1	2	3
Зафатнина (носивост), м ³	8	12	18

Користејќи ја равенката $T(i,j) = d(i,B) + d(B,j) - d(i,j)$ ќе ги пресметаме заштедите за секој пар јазли.

$$T(4,5)=d(1,4)+d(1,5)-d(4,5)=5150+6000-850=10300;$$

$$T(4,7)=d(1,4)+d(1,7)-d(4,7)=5150+4513-788=8875;$$

$$T(4,8)=d(1,4)+d(1,8)-d(4,8)=5150+4601-876=8875;$$

$$T(4,9)=d(1,4)+d(1,9)-d(4,9)=5150+5039-1314=8875;$$

$$T(4,11)=d(1,4)+d(1,11)-d(4,11)=5150+4475-1314=8311;$$

$$T(4,12)=d(1,4)+d(1,12)-d(4,12)=5150+5600-1114=9636;$$

$$T(4,13)=d(1,4)+d(1,13)-d(4,13)=5150+5875-1389=9636;$$

$$T(4,14)=d(1,4)+d(1,14)-d(4,14)=5150+6313-1525=9938;$$

$$T(4,15)=d(1,4)+d(1,15)-d(4,15)=5150+6501-1713=9938;$$

$$T(5,7)=d(1,5)+d(1,7)-d(5,7)=6000+4513-725=9788;$$

$$T(5,8)=d(1,5)+d(1,8)-d(5,8)=6000+4601-813=9788;$$

$$T(5,9)=d(1,5)+d(1,9)-d(5,9)=6000+5039-1251=9788;$$

$$T(5,11)=d(1,5)+d(1,11)-d(5,11)=6000+4475-1251=9224;$$

$$T(5,12)=d(1,5)+d(1,12)-d(5,12)=6000+5600-1250=10350;$$

$$T(5,13)=d(1,5)+d(1,13)-d(5,13)=6000+5875-1163=10712;$$

$$T(5,14)=d(1,5)+d(1,14)-d(5,14)=6000+6313-675=11638;$$

$$T(5,15)=d(1,5)+d(1,15)-d(5,15)=6000+6501-863=11638;$$

$$T(7,8)=d(1,7)+d(1,8)-d(7,8)=4513+4601-88=9026;$$

$$T(7,9)=d(1,7)+d(1,9)-d(7,9)=4513+5039-526=9026;$$

$$T(7,11)=d(1,7)+d(1,11)-d(7,11)=4513+4475-526=8462;$$

$$T(7,12)=d(1,7)+d(1,12)-d(7,12)=4513+5600-876=9237;$$

$$T(7,13)=d(1,7)+d(1,13)-d(7,13)=4513+5875-879=9509;$$

$$T(7,14)=d(1,7)+d(1,14)-d(7,14)=4513+6313-1317=9509;$$

$$T(7,15)=d(1,7)+d(1,15)-d(7,15)=4513+6501-1505=9509;$$

$$T(8,9)=d(1,8)+d(1,9)-d(8,9)=4601+5039-438=9202;$$

$$T(8,11)=d(1,8)+d(1,11)-d(8,11)=4601+4475-438=8638;$$

$$T(8,12)=d(1,8)+d(1,12)-d(8,12)=4601+5600-788=9413;$$

$$T(8,13)=d(1,8)+d(1,13)-d(8,13)=4601+5875-791=9685;$$

$$T(8,14)=d(1,8)+d(1,14)-d(8,14)=4601+6313-1229=9685;$$

$$T(8,15)=d(1,8)+d(1,15)-d(8,15)=4601+6501-1417=9685;$$

$$T(9,11)=d(1,9)+d(1,11)-d(9,11)=5039+4475-713=8801;$$

$$T(9,12)=d(1,9)+d(1,12)-d(9,12)=5039+5600-1275=9364;$$

$$T(9,13)=d(1,9)+d(1,13)-d(9,13)=5039+5875-1550=9364;$$

$$T(9,14)=d(1,9)+d(1,14)-d(9,14)=5039+6313-1988=9364;$$

$$T(9,15)=d(1,9)+d(1,15)-d(9,15)=5039+6501-1950=9590;$$

$$T(11,12)=d(1,11)+d(1,12)-d(11,12)=4475+5600-638=9437;$$

$$T(11,13)=d(1,11)+d(1,13)-d(11,13)=4475+5875-913=9437;$$

$$T(11,14)=d(1,11)+d(1,14)-d(11,14)=4475+6313-1351=9437;$$

$$T(11,15)=d(1,11)+d(1,15)-d(11,15)=4475+6501-1313=9663;$$

$$T(12,13)=d(1,12)+d(1,13)-d(12,13)=5600+5875-275=11200;$$

$$T(12,14)=d(1,12)+d(1,14)-d(12,14)=5600+6313-713=11200;$$

$$T(12,15)=d(1,12)+d(1,15)-d(12,15)=5600+6501-675=11426;$$

$$T(13,14)=d(1,13)+d(1,14)-d(13,14)=5875+6313-438=11750;$$

$$T(13,15)=d(1,13)+d(1,15)-d(13,15)=5875+6501-400=11976;$$

$$T(14,15)=d(1,14)+d(1,15)-d(14,15)=6313+6501-188=12626.$$

Откако се пресметани заштедите, тие ќе бидат рангирани по големина (табела 11.4).

Табела 11.4. Заштеда на транспорт по гранки

Table 11.4. Transport savings by branches

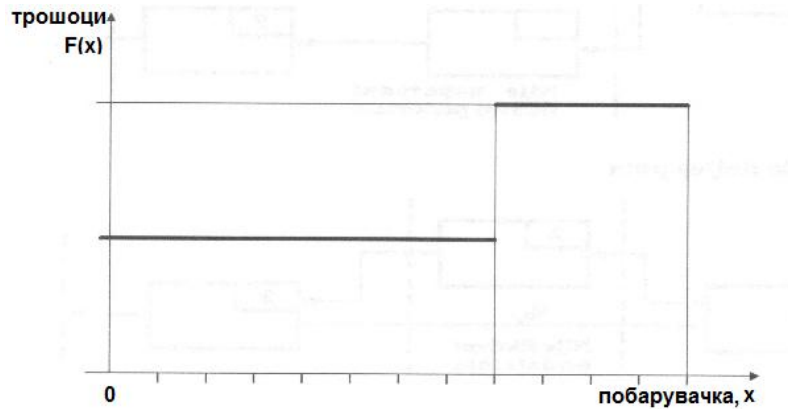
Гранка (i,j)	Заштеда T(i,j)	Гранка (i,j)	Заштеда T(i,j)	Гранка (i,j)	Заштеда T(i,j)
(14,15)	12626	(5,9)	9788	(9,12)	9364
(13,15)	11976	(8,13)	9685	(9,13)	9364
(13,14)	11750	(8,14)	9685	(9,14)	9364
(5,14)	11638	(8,15)	9685	(7,12)	9237
(5,15)	11638	(11,15)	9663	(5,11)	9224
(12,15)	11426	(4,12)	9636	(8,9)	9202
(12,13)	11200	(4,13)	9636	(7,8)	9026
(12,14)	11200	(9,15)	9590	(7,9)	9026
(5,13)	10712	(7,13)	9509	(4,7)	8875
(5,12)	10350	(7,14)	9509	(4,8)	8875
(4,5)	10300	(7,15)	9509	(4,9)	8875
(4,14)	9938	(11,12)	9437	(9,11)	8801
(4,15)	9938	(11,13)	9437	(8,11)	8638
(5,7)	9788	(11,14)	9437	(7,11)	8462
(5,8)	9788	(8,12)	9413	(4,11)	8311

Во претходната пресметка и рангирање на заштедите се изоставени јазлите: 2, 3, 6, 10, 16 и 17, во кои се наоѓаат поединечни контејнери со волумен од $1,1 \text{ m}^3$, бидејќи тие ќе бидат опслужувани со возило тип 2 ($V_2=12\text{m}^3$) и нивното поврзување ќе претставува посебна рута.

За да може модифицираниот алгоритам на заштеди да се примени на транспортната мрежа од слика 11.4 е потребно покрај веќе наведените претпоставки да се дополнат уште две:

1. транспортот да се врши со два типа на возила, со капацитети $V_1=8\text{m}^3$ и $V_3=18\text{m}^3$;

2. функцијата $F(x)$, која ги претставува фиксните трошоци (набавка или изнајмување) по капацитетот на најмалото транспортно средство кое е во состојба да ја опслужи побарувачката x , има облик кој е прикажан на слика 11.5.



Слика 11.5. Облик на функцијата $F(x)$ која ги претставува фиксните трошоци
 Figure 11.5. Shape of the function $F(x)$ which represents the fixed costs

Ако се земат предвид фиксните трошоци на транспортот, тогаш големината на заштедите добиени со примена на Клерк-Вригтов (Clarke-Wright) алгоритам нема да има иста вредност, туку во општ случај ќе биде:

$$\bar{T}(i, j) = T(i, j) + F(V_i) + F(V_j) - F(V_i + V_j)$$

Со помош на оваа равенка ќе ги добиеме вредностите на модифицираните заштеди.

$$\bar{T}(4,5) = T(4,5) + F(V_4) + F(V_5) - F(V_4 + V_5) =$$

$$T(4,5) + F(7,7) + F(7,7) - F(7,7 + 7,7) = 10300 + 20 + 20 - 30 = 10310;$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,7) &= T(4,7) + F(V_4) + F(V_7) - F(V_4 + V_7) = \\ T(4,7) + F(7,7) + F(3,3) - F(7,7+3,3) &= 8875 + 20 + 20 - 30 = 8885;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,8) &= T(4,8) + F(V_4) + F(V_8) - F(V_4 + V_8) = \\ T(4,8) + F(7,7) + F(3,3) - F(7,7+3,3) &= 8875 + 20 + 20 - 30 = 8885;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,9) &= T(4,9) + F(V_4) + F(V_9) - F(V_4 + V_9) = \\ T(4,9) + F(7,7) + F(4,4) - F(7,7+4,4) &= 8875 + 20 + 20 - 30 = 8885;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,11) &= T(4,11) + F(V_4) + F(V_{11}) - F(V_4 + V_{11}) = \\ T(4,11) + F(7,7) + F(3,3) - F(7,7+3,3) &= 8311 + 20 + 20 - 30 = 8321;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,12) &= T(4,12) + F(V_4) + F(V_{12}) - F(V_4 + V_{12}) = \\ T(4,12) + F(7,7) + F(5,5) - F(7,7+5,5) &= 9636 + 20 + 20 - 30 = 9646;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,13) &= T(4,13) + F(V_4) + F(V_{13}) - F(V_4 + V_{13}) = \\ T(4,13) + F(7,7) + F(2,2) - F(7,7+2,2) &= 9636 + 20 + 20 - 30 = 9646;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,14) &= T(4,14) + F(V_4) + F(V_{14}) - F(V_4 + V_{14}) = \\ T(4,14) + F(7,7) + F(3,3) - F(7,7+3,3) &= 9938 + 20 + 20 - 30 = 9948;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,15) &= T(4,15) + F(V_4) + F(V_{15}) - F(V_4 + V_{15}) = \\ T(4,15) + F(7,7) + F(2,2) - F(7,7+2,2) &= 9938 + 20 + 20 - 30 = 9948;\end{aligned}$$

$$\bar{T}(5,7)=T(5,7)+F(V_5)+F(V_7)-F(V_5+V_7)=$$

$$T(5,7)+F(7,7)+F(3,3)-F(7,7+3,3)=9788+20+20-30=9798;$$

$$\bar{T}(5,8)=T(5,8)+F(V_5)+F(V_8)-F(V_5+V_8)=$$

$$T(5,8)+F(7,7)+F(3,3)-F(7,7+3,3)=9788+20+20-30=9798;$$

$$\bar{T}(5,9)=T(5,9)+F(V_5)+F(V_9)-F(V_5+V_9)=$$

$$T(5,9)+F(7,7)+F(4,4)-F(7,7+4,4)=9788+20+20-30=9798;$$

$$\bar{T}(5,11)=T(5,11)+F(V_5)+F(V_{11})-F(V_5+V_{11})=$$

$$T(5,11)+F(7,7)+F(3,3)-F(7,7+3,3)=9224+20+20-30=9234;$$

$$\bar{T}(5,12)=T(5,12)+F(V_5)+F(V_{12})-F(V_5+V_{12})=$$

$$T(5,12)+F(7,7)+F(5,5)-F(7,7+5,5)=10350+20+20-30=10360;$$

$$\bar{T}(5,13)=T(5,13)+F(V_5)+F(V_{13})-F(V_5+V_{13})=$$

$$T(5,13)+F(7,7)+F(2,2)-F(7,7+2,2)=10712+20+20-30=10722;$$

$$\bar{T}(5,14)=T(5,14)+F(V_5)+F(V_{14})-F(V_5+V_{14})=$$

$$T(5,14)+F(7,7)+F(3,3)-F(7,7+3,3)=11638+20+20-30=11648;$$

$$\bar{T}(5,15)=T(5,15)+F(V_5)+F(V_{15})-F(V_5+V_{15})=$$

$$T(5,15)+F(7,7)+F(2,2)-F(7,7+2,2)=11638+20+20-30=11648;$$

$$\bar{T}(7,8)=T(7,8)+F(V_7)+F(V_8)-F(V_7+V_8)=$$

$$T(7,8)+F(3,3)+F(3,3)-F(3,3+3,3)=9026+20+20-20=9046;$$

$$\bar{T}(7,9)=T(7,9)+F(V_7)+F(V_9)-F(V_7+V_9)=$$

$$T(7,9)+F(3,3)+F(4,4)-F(3,3+4,4)=9026+20+20-20=9046;$$

$$\bar{T}(7,11)=T(7,11)+F(V_7)+F(V_{11})-F(V_7+V_{11})=$$

$$T(7,11)+F(3,3)+F(3,3)-F(3,3+3,3)=8462+20+20-20=8482;$$

$$\bar{T}(7,12)=T(7,12)+F(V_7)+F(V_{12})-F(V_7+V_{12})=$$

$$T(7,12)+F(3,3)+F(5,5)-F(3,3+5,5)=9237+20+20-30=9247;$$

$$\bar{T}(7,13)=T(7,13)+F(V_7)+F(V_{13})-F(V_7+V_{13})=$$

$$T(7,13)+F(3,3)+F(2,2)-F(3,3+2,2)=9509+20+20-20=9529;$$

$$\bar{T}(7,14)=T(7,14)+F(V_7)+F(V_{14})-F(V_7+V_{14})=$$

$$T(7,14)+F(3,3)+F(3,3)-F(3,3+3,3)=9509+20+20-20=9529;$$

$$\bar{T}(7,15)=T(7,15)+F(V_7)+F(V_{15})-F(V_7+V_{15})=$$

$$T(7,15)+F(3,3)+F(2,2)-F(3,3+2,2)=9509+20+20-20=9529;$$

$$\bar{T}(8,9)=T(8,9)+F(V_8)+F(V_9)-F(V_8+V_9)=$$

$$T(8,9)+F(3,3)+F(4,4)-(3,3+4,4)=9202+20+20-20=9222;$$

$$\bar{T}(8,11)=T(8,11)+F(V_8)+F(V_{11})-F(V_8+V_{11})=$$

$$T(8,11)+F(3,3)+F(3,3)-F(3,3+3,3)=8638+20+20-20=8658;$$

$$\bar{T}(8,12)=T(8,12)+F(V_8)+F(V_{12})-F(V_8+V_{12})=$$

$$T(8,12)+F(3,3)+F(5,5)-F(3,3+5,5)=9413+20+20-30=9423;$$

$$\bar{T}(8,13)=T(8,13)+F(V_8)+F(V_{13})-F(V_8+V_{13})=$$

$$T(8,13)+F(3,3)+F(2,2)-F(3,3+2,2)=9685+20+20-20=9705;$$

$$\bar{T}(8,14)=T(8,14)+F(V_8)+F(V_{14})-F(V_8+V_{14})=$$

$$T(8,14)+F(3,3)+F(3,3)-F(3,3+3,3)=9685+20+20-20=9705;$$

$$\bar{T}(8,15)=T(8,15)+F(V_8)+F(V_{15})-F(V_8+V_{15})=$$

$$T(8,15)+F(3,3)+F(2,2)-F(3,3+2,2)=9685+20+20-20=9705;$$

$$\bar{T}(9,11)=T(9,11)+F(V_9)+F(V_{11})-F(V_9+V_{11})=$$

$$T(9,11)+F(4,4)+F(3,3)-F(4,4+3,3)=8801+20+20-20=8821;$$

$$\bar{T}(9,12)=T(9,12)+F(V_9)+F(V_{12})-F(V_9+V_{12})=$$

$$T(9,12)+F(4,4)+F(5,5)-F(4,4+5,5)=9364+20+20-30=9374;$$

$$\bar{T}(9,13)=T(9,13)+F(V_9)+F(V_{13})-F(V_9+V_{13})=$$

$$T(9,13)+F(4,4)+F(2,2)-F(4,4+2,2)=9364+20+20-20=9384;$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(9,14) &= T(9,14) + F(V_9) + F(V_{14}) - F(V_9 + V_{14}) = \\ T(9,14) + F(4,4) + F(3,3) - F(4,4+3,3) &= 9364 + 20 + 20 - 20 = 9384;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(9,15) &= T(9,15) + F(V_9) + F(V_{15}) - F(V_9 + V_{15}) = \\ T(9,15) + F(4,4) + F(2,2) - F(4,4+2,2) &= 9590 + 20 + 20 - 20 = 9610;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,12) &= T(11,12) + F(V_{11}) + F(V_{12}) - F(V_{11} + V_{12}) = \\ T(11,12) + F(3,3) + F(5,5) - F(3,3+5,5) &= 9437 + 20 + 20 - 30 = 9447;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,13) &= T(11,13) + F(V_{11}) + F(V_{13}) - F(V_{11} + V_{13}) = \\ T(11,13) + F(3,3) + F(2,2) - F(3,3+2,2) &= 9437 + 20 + 20 - 20 = 9457;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,14) &= T(11,14) + F(V_{11}) + F(V_{14}) - F(V_{11} + V_{14}) = \\ T(11,14) + F(3,3) + F(3,3) - F(3,3+3,3) &= 9437 + 20 + 20 - 20 = 9457;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,15) &= T(11,15) + F(V_{11}) + F(V_{15}) - F(V_{11} + V_{15}) = \\ T(11,15) + F(3,3) + F(2,2) - F(3,3+2,2) &= 9663 + 20 + 20 - 20 = 9683;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,13) &= T(12,13) + F(V_{12}) + F(V_{13}) - F(V_{12} + V_{13}) = \\ T(12,13) + F(5,5) + F(2,2) - F(5,5+2,2) &= 11200 + 20 + 20 - 20 = 11220;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,14) &= T(12,14) + F(V_{12}) + F(V_{14}) - F(V_{12} + V_{14}) = \\ T(12,14) + F(5,5) + F(3,3) - F(5,5+3,3) &= 11200 + 20 + 20 - 30 = 11210;\end{aligned}$$

$$\bar{T}(12,15)=T(12,15)+F(V_{12})+F(V_{15})-F(V_{12}+V_{15})=$$

$$T(12,15)+F(5,5)+F(2,2)-F(5,5+2,2)=11426+20+20-20=11446;$$

$$\bar{T}(13,14)=T(13,14)+F(V_{13})+F(V_{14})-F(V_{13}+V_{14})=$$

$$T(13,14)+F(2,2)+F(3,3)-F(2,2+3,3)=11750+20+20-20=11770;$$

$$\bar{T}(13,15)=T(13,15)+F(V_{13})+F(V_{15})-F(V_{13},V_{15})=$$

$$T(13,15)+F(2,2)+F(2,2)-F(2,2+2,2)=11976+20+20-20=11996;$$

$$\bar{T}(14,15)=T(14,15)+F(V_{14})+F(V_{15})-F(V_{14}+V_{15})=$$

$$T(14,15)+F(3,3)+F(2,2)-F(3,3+2,2)=12626+20+20-20=12646.$$

По пресметката на сите „модифицирани“ заштеди $\bar{T}(i, j)$, за сите јазли (i, j) кои треба да се опслужат, на секоја гранка ѝ е доделено транспортно возило од соодветен тип. Овие заштеди рангирани по големина, како и типот на транспортното средство се прикажани во табела 11.5.

Табела 11.5. Заштеди и типови на транспортни средства по гранки

Table 11.5. Savings and types of vehicles by branches

Гранка (i,j)	Заштеда \bar{T} (i,j)	Тип на трансп.средство привремено доделено на гранката	Гранка (i,j)	Заштеда \bar{T} (i,j)	Тип на трансп.средство привремено доделено на гранката
(14,15)	12646	1	(7,13)	9529	1
(13,15)	11996	1	(7,14)	9529	1
(13,14)	11770	1	(7,15)	9529	1
(5,14)	11648	3	(11,13)	9457	1
(5,15)	11648	3	(11,14)	9457	1
(12,15)	11446	1	(11,12)	9447	3
(12,13)	11220	1	(8,12)	9423	3
(12,14)	11210	3	(9,13)	9384	1
(5,13)	10722	3	(9,14)	9384	1
(5,12)	10360	3	(9,12)	9374	3
(4,5)	10310	3	(7,12)	9247	3
(4,14)	9948	3	(5,11)	9234	3
(4,15)	9948	3	(8,9)	9222	1
(5,7)	9798	3	(7,8)	9046	1
(5,8)	9798	3	(7,9)	9046	1
(5,9)	9798	3	(4,7)	8885	3
(8,13)	9705	1	(4,8)	8885	3
(8,14)	9705	1	(4,9)	8885	3
(8,15)	9705	1	(9,11)	8821	1
(11,15)	9683	1	(8,11)	8658	1
(4,12)	9646	3	(7,11)	8482	1
(4,13)	9646	3	(4,11)	8321	3
(9,15)	9610	1			

Бидејќи најголемата заштеда е во гранката (14,15), првата парцијална рута ќе гласи: 1-14-15-1. Оваа рута може да се прошири со некој од следниве јазли (4, 5, 7, 8, 9, 11, 12 или 13). Новите заштеди со проширување преку јазолот 14 ќе бидат:

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,14) &= T(4,14) + F(V_4) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_4 + V_{14} + V_{15}) = \\ & 9948 + F(7,7) + F(3,3+2,2) - F(7,7+3,3+2,2) = 9948 + 20 + 20 - 30 = 9958;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(5,14) &= T(5,14) + F(V_5) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_5 + V_{14} + V_{15}) = \\ & 11648 + F(7,7) + F(3,3+2,2) - F(7,7+3,3+2,2) = 11648 + 20 + 20 - 30 = 11658;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(7,14) &= T(7,14) + F(V_7) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_7 + V_{14} + V_{15}) = \\ & 9529 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9529 + 20 + 20 - 30 = 9539;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(8,14) &= T(8,14) + F(V_8) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_8 + V_{14} + V_{15}) = \\ & 9705 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9705 + 20 + 20 - 30 = 9715;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(9,14) &= T(9,14) + F(V_9) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_9 + V_{14} + V_{15}) = \\ & 9384 + F(4,4) + F(3,3+2,2) - F(4,4+3,3+2,2) = 9384 + 20 + 20 - 30 = 9394;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,14) &= T(11,14) + F(V_{11}) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_{11} + V_{14} + V_{15}) = \\ & 9457 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9475 + 20 + 20 - 30 = 9467;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,14) &= T(12,14) + F(V_{12}) + F(V_{14+V_{15}}) - F(V_{12} + V_{14} + V_{15}) = \\ & 11210 + F(5,5) + F(3,3+2,2) - F(5,5+3,3+2,2) = 11210 + 20 + 20 - 30 = 11220;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,14) &= T(13,14) + F(V_{13}) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_{13} + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 11770 + F(2,2) + F(3,3+2,2) - F(2,2+3,3+2,2) = 11770 + 20 + 20 - 20 = 11790.\end{aligned}$$

Следниве заштеди се пресметани со проширување на првата парцијална рута 1-14-15-1 преку јазолот 15.

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,4) &= T(15,4) + F(V_4) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_4 + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 9948 + F(7,7) + F(3,3+2,2) - F(7,7+3,3+2,2) = 9948 + 20 + 20 - 30 = 9958;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,5) &= T(15,5) + F(V_5) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_5 + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 11648 + F(7,7) + F(3,3+2,2) - F(7,7+3,3+2,2) = 11648 + 20 + 20 - 30 = 11658;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,7) &= T(15,7) + F(V_7) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_7 + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 9529 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9529 + 20 + 20 - 30 = 9539;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,8) &= T(15,8) + F(V_8) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_8 + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 9705 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9705 + 20 + 20 - 30 = 9715;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,9) &= T(15,9) + F(V_9) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_9 + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 9610 + F(4,4) + F(3,3+2,2) - F(4,4+3,3+2,2) = 9610 + 20 + 20 - 30 = 9620;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,11) &= T(15,11) + F(V_{11}) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_{11} + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 9683 + F(3,3) + F(3,3+2,2) - F(3,3+3,3+2,2) = 9683 + 20 + 20 - 30 = 9693;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,12) &= T(15,12) + F(V_{12}) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_{12} + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 11446 + F(5,5) + F(3,3+2,2) - F(5,5+3,3+2,2) = 11446 + 20 + 20 - 30 = 11456;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(15,13) &= T(15,13) + F(V_{13}) + F(V_{14} + V_{15}) - F(V_{13} + V_{14} + V_{15}) = \\ &= 11996 + F(2,2) + F(3,3+2,2) - F(2,2+3,3+2,2) = 11996 + 20 + 20 - 20 = 12016.\end{aligned}$$

Најекономично е проширувањето на рутата со вклучување на јазолот 13 преку јазолот 15. Оваа варијанта на проширување има најголема вредност на заштеди, а и вкупните барања за транспорт на таквата рута не ги надминуваат капацитетите на расположливите транспортни средства. Преглед на новонастанатите заштеди за сите можности на проширување на рутата 1-14-15-1 и типовите на возила кои би биле доделени на „проширените“ рути е прикажан во табела 11.6.

Табела 11.6. Заштеди и типови на транспортни средства по руту

Table 11.6. Savings and types of vehicles by routes

Парцијална рута	$\bar{T}(i,j)$	Тип на трансп.средство привремено доделено на рутата
(1,4,14,15,1)	$\bar{T}(4,14)+0=9958$	3
(1,5,14,15,1)	$\bar{T}(5,14)+0=11658$	3
(1,7,14,15,1)	$\bar{T}(7,14)+0=9539$	3
(1,8,14,15,1)	$\bar{T}(8,14)+0=9715$	3
(1,9,14,15,1)	$\bar{T}(9,14)+0=9394$	3
(1,11,14,15,1)	$\bar{T}(11,14)+0=9467$	3
(1,12,14,15,1)	$\bar{T}(12,14)+0=11220$	3
(1,13,14,15,1)	$\bar{T}(13,14)+20=11790$	1
(1,14,15,4,1)	$\bar{T}(15,4)+0=9958$	3
(1,14,15,5,1)	$\bar{T}(15,5)+0=11658$	3
(1,14,15,7,1)	$\bar{T}(15,7)+0=9539$	3
(1,14,15,8,1)	$\bar{T}(15,8)+0=9715$	3
(1,14,15,9,1)	$\bar{T}(15,9)+0=9620$	3
(1,14,15,11,1)	$\bar{T}(15,11)+0=9693$	3
(1,14,15,12,1)	$\bar{T}(15,12)+0=11456$	3
(1,14,15,13,1)	$\bar{T}(15,13)+20=12016$	1

По проширувањето на првата парцијална рута 1-14-15-1 во рутата 1-14-15-13-1 е потребно да се разгледа можноста за понатамошно проширување на ист начин. Притоа проширувањето нема да биде можно доколку вкупните барања за транспорт не бидат во границите на капацитетите на расположливите типови возила.

$$\begin{aligned}\bar{T}(4,14) &= T(4,14) + F(V_4) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_4 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9948 + F(7,7) + F(3,3+2,2+2,2) - F(7,7+3,3+2,2+2,2) = 9948 + 20 + 20 - 30 = 9958;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(5,14) &= T(5,14) + F(V_5) + (V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_5 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 11648 + F(7,7) + F(3,3+2,2+2,2) - F(7,7+3,3+2,2+2,2) = 11648 + 20 + 20 - 30 = 11658;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(7,14) &= T(7,14) + F(V_7) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_5 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9529 + F(3,3) + (3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9529 + 20 + 20 - 30 = 9539;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(8,14) &= T(8,14) + F(V_8) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_8 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9705 + F(3,3) + F(3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9705 + 20 + 20 - 30 = 9715;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(9,14) &= T(9,14) + F(V_9) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_9 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9384 + F(4,4) + F(3,3+2,2+2,2) - F(4,4+3,3+2,2+2,2) = 9384 + 20 + 20 - 30 = 9394;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,14) &= T(11,14) + F(V_{11}) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_{11} + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9457 + F(3,3) + F(3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9457 + 20 + 20 - 30 = 9467;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,14) &= T(12,14) + F(V_{12}) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_{12} + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 11210 + F(5,5) + F(3,3+2,2+2,2) - F(5,5+3,3+2,2+2,2) = 11210 + 20 + 20 - 30 = 11220;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,4) &= T(13,4) + F(V_4) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_4 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9646 + F(7,7) + F(3,3+2,2+2,2) - F(7,7+3,3+2,2+2,2) = 9646 + 20 + 20 - 30 = 9656;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,5) &= T(13,5) + F(V_5) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_5 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 10722 + F(7,7) + F(3,3+2,2+2,2) - F(7,7+3,3+2,2+2,2) = 10722 + 20 + 20 - 30 = 10732;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,7) &= T(13,7) + F(V_7) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_7 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9529 + F(3,3) + F(3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9529 + 20 + 20 - 30 = 9539;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,8) &= T(13,8) + F(V_8) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_8 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9705 + F(3,3) + F(3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9705 + 20 + 20 - 30 = 9715;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,9) &= T(13,9) + F(V_9) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_9 + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9384 + F(4,4) + F(3,3+2,2+2,2) - F(4,4+3,3+2,2+2,2) = 9384 + 20 + 20 - 30 = 9394;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,11) &= T(13,11) + F(V_{11}) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_{11} + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 9457 + F(3,3) + F(3,3+2,2+2,2) - F(3,3+3,3+2,2+2,2) = 9457 + 20 + 20 - 30 = 9467;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(13,12) &= T(13,12) + F(V_{12}) + F(V_{14} + V_{15} + V_{13}) - F(V_{12} + V_{14} + V_{15} + V_{13}) = \\ & 11220 + F(5,5) + F(3,3+2,2+2,2) - F(5,5+3,3+2,2+2,2) = 11220 + 20 + 20 - 30 = 11230.\end{aligned}$$

Табела 11.7. Заштеди и типови на транспортни средства по руту

Table 11.7. Savings and types of vehicles by routes

Парцијална рута	$\bar{T}(i,j)$	Тип на трансп.средство привремено доделено на рутата
(1,4,14,15,13,1)	$\bar{T}(4,14)+0=9958$	3
(1,5,14,15,13,1)	$\bar{T}(5,14)+0=11658$	3
(1,7,14,15,13,1)	$\bar{T}(7,14)+0=9539$	3
(1,8,14,15,13,1)	$\bar{T}(8,14)+0=9715$	3
(1,9,14,15,13,1)	$\bar{T}(9,14)+0=9394$	3
(1,11,14,15,13,1)	$\bar{T}(11,14)+0=9467$	3
(1,12,14,15,13,1)	$\bar{T}(12,14)+0=11220$	3
(1,14,15,13,4,1)	$\bar{T}(13,4)+0=9656$	3
(1,14,15,13,5,1)	$\bar{T}(13,5)+0=10732$	3
(1,14,15,13,7,1)	$\bar{T}(13,7)+0=9539$	3
(1,14,15,13,8,1)	$\bar{T}(13,8)+0=9715$	3
(1,14,15,13,9,1)	$\bar{T}(13,9)+0=9394$	3
(1,14,15,13,11,1)	$\bar{T}(13,11)+0=9467$	3
(1,14,15,13,12,1)	$\bar{T}(13,12)+0=11230$	3

Најголема заштеда, според табела 11.7, има варијантата со вклучување на јазолот 5 во рутата, преку јазолот 14. Бидејќи вредноста на вкупните барања од транспортот на таквата рута е во границите на капацитетот на возилото тип 3, новопроектираната рута гласи: **1-5-14-15-13-1**. Понатамошни проширувања на оваа рута не се можни, бидејќи доделеното транспортно средство повеќе нема резерви во капацитет. Јазлите кои припаѓаат на проектираната рута се исклучуваат од понатамошно разгледување, а од останатите се формира нова

рута, аналогно на претходно изложената постапка за проектирање на првата рута. Наредната табела е прочистена (без гранките кои ги содржат јазлите 5, 13, 14 и 15).

Табела 11.8. Заштеди и типови на возила по гранки по формирањето на првата рута

Table 11.8. Savings and types of vehicles by branches after forming the first route

Гранка (i,j)	Заштеда \bar{T} (i,j)	Тип на трансп.средство привремено доделено на гранката
(4,12)	9646	3
(11,12)	9447	3
(8,12)	9423	3
(9,12)	9374	3
(7,12)	9247	3
(8,9)	9222	1
(7,8)	9046	1
(7,9)	9046	1
(4,7)	8885	3
(4,8)	8885	3
(4,9)	8885	3
(9,11)	8821	1
(8,11)	8658	1
(7,11)	8482	1
(4,11)	8321	3

Бидејќи гранката (4,12) има најголема вредност на заштеди $T(i,j)$, втората парцијална рута гласи 1-4-12-1.

$$\begin{aligned}\bar{T}(7,4) &= T(7,4) + F(V_7) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_7 + V_4 + V_{12}) = \\ & 8885 + F(3,3) + F(7,7+5,5) - F(3,3+7,7+5,5) = 8885 + 20 + 30 - 30 = 8905;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(8,4) &= T(8,4) + F(V_8) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_8 + V_4 + V_{12}) = \\ & 8885 + F(3,3) + F(7,7+5,5) - F(3,3+7,7+5,5) = 8885 + 20 + 30 - 30 = 8905;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(9,4) &= T(9,4) + F(V_9) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_9 + V_4 + V_{12}) = \\ & 8885 + F(4,4) + F(7,7+5,5) - F(4,4+7,7+5,5) = 8885 + 20 + 30 - 30 = 8905;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(11,4) &= T(11,4) + F(V_{11}) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_{11} + V_4 + V_{12}) = \\ & 8321 + F(3,3) + F(7,7+5,5) - F(3,3+7,7+5,5) = 8321 + 20 + 30 - 30 = 8341;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,7) &= T(12,7) + F(V_7) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_7 + V_4 + V_{12}) = \\ & 9247 + F(3,3) + F(7,7+5,5) - F(3,3+7,7+5,5) = 9247 + 20 + 30 - 30 = 9267;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,8) &= T(12,8) + F(V_8) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_8 + V_4 + V_{12}) = \\ & 9423 + F(3,3) + F(7,7+5,5) - F(3,3+7,7+5,5) = 9423 + 20 + 30 - 30 = 9443;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{T}(12,9) &= T(12,9) + F(V_9) + F(V_4 + V_{12}) - F(V_9 + V_4 + V_{12}) = \\ & 9374 + F(4,4) + F(7,7+5,5) - F(4,4+7,7+5,5) = 9374 + 20 + 30 - 30 = 9394;\end{aligned}$$

$$\bar{T}(12,11)=T(12,11)+F(V_{11})+F(V_4+V_{12})-F(V_{11}+V_4+V_{12})=$$

$$9447+F(3,3)+F(7,7+5,5)-F(3,3+7,7+5,5)=9447+20+30-30=9467.$$

Табела 11.9. Заштеди и типови на транспортни средства

Table 11.9. Savings and types of vehicles

Парцијална рута	Заштеда $\bar{T}(i,j)$	Тип на трансп. средство привремено доделено на рутата
1-7-4-12-1	$\bar{T}(7,4)+0=8905$	3
1-8-4-12-1	$\bar{T}(8,4)+0=8905$	3
1-9-4-12-1	$\bar{T}(9,4)+0=8905$	3
1-11-4-12-1	$\bar{T}(11,4)+0=8341$	3
1-4-12-7-1	$\bar{T}(12,7)+0=9267$	3
1-4-12-8-1	$\bar{T}(12,8)+0=9443$	3
1-4-12-9-1	$\bar{T}(12,9)+0=9394$	3
1-4-12-11-1	$\bar{T}(12,11)+0=9467$	3

Од претходната табела 11.9 се гледа дека најголеми заштеди има рутата **1-4-12-11-1** со вклучување на јазолот 11 преку јазолот 12. Понатамошно проширување на оваа рута не е можно, бидејќи се истрошени резервите во капацитетот на возилото тип 3 ($V_3 = 18m^3$). Јазлите кои припаѓаат на оваа рута се исклучуваат од разгледување па наредната прочистена табела ќе биде:

Табела 11.10. Заштеди и типови на возила по гранки

Tabela 11.10. Savings and types of vehicles by branches

Гранка (i,j)	Заштеда \bar{T} (i,j)	Тип на трансп. средство привремено доделено на гранката
(8,9)	9222	1
(7,8)	9046	1
(7,9)	9046	1

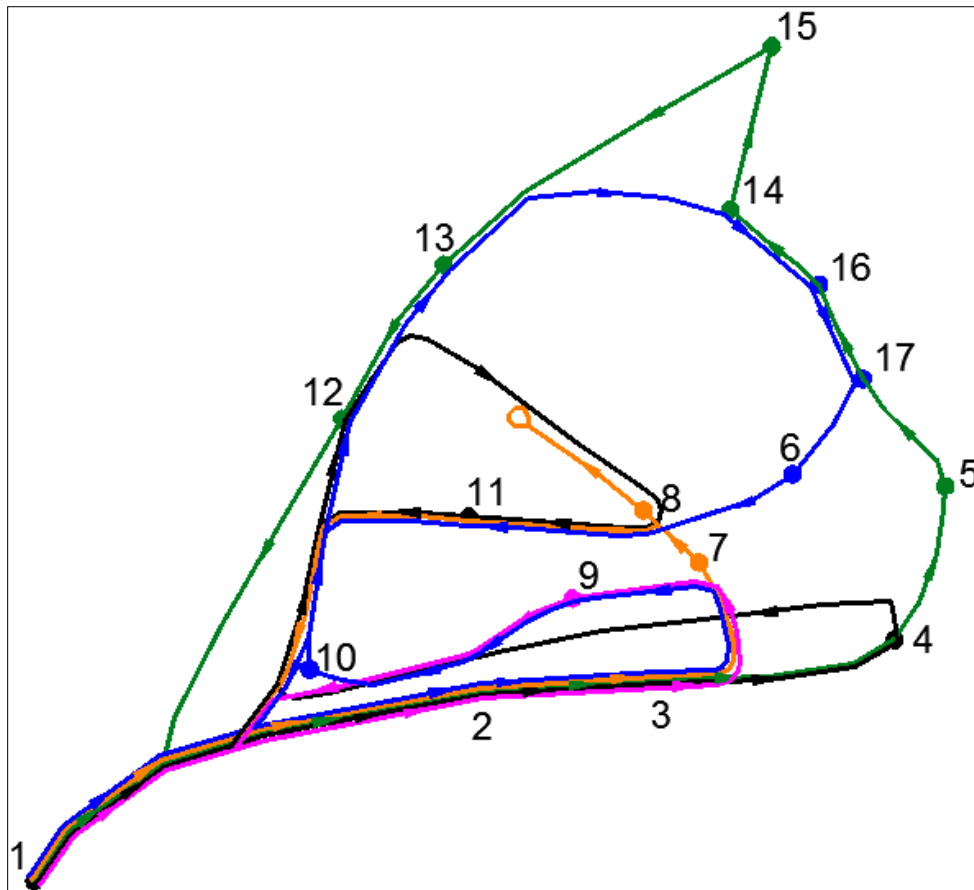
Проширување на овие гранки не е можно, бидејќи се надминува капацитетот на возилото тип 1 ($V_1=8m^3$).

Двете главни рути кои ќе ги опслужува возилото тип 1 ќе бидат **1-7-8-1** и **1-9-1**. Овие јазли можат да бидат опслужени и со транспортното средство 3, но се одбира возило 1, бидејќи фиксните трошоци за негова употреба се помали.

Оптимални рути:

- 1) 1-5-14-15-13-1; Возило тип 3; $V=18m^3$
- 2) 1-4-12-11-1; Возило тип 3; $V=18m^3$
- 3) 1-7-8-1; Возило тип 1; $V=8m^3$
- 4) 1-9-1; Возило тип 1; $V=8m^3$

Оптималните рути за транспорт на комунален отпад во градот Штип шематски се прикажани на слика 11.6.



Слика 11.6. Оптимални рути за транспорт на комунален отпад во градот Штип

Figure 11.6. Optimal routes for transportation of municipal waste in the city of Stip

12. РЕЗУЛТАТИ ДОБИЕНИ ОД НАУЧНОТО ИСТРАЖУВАЊЕ И НИВНА ИНТЕРПРЕТАЦИЈА

Врз основа на системска примена на методата на „модифицирани“ заштеди се добиени следниве оптимални рути:

1) рута 1-5-14-15-13-1:

Трештена Скала - Кеј „Димитар Влахов“ - Кеј „Васил Главинов“ - Улица „Михајло Апостолски“ - Улица „Христијан Тодоровски-Карпош“ - Улица „Сутјеска“ - Улица „Сремски фронт“ - Булевар „Партизанска“ - Улица „Гоце Делчев“ - Кеј „Димитар Влахов“ - Трештена Скала.

2) рута 1-4-12-11-1:

Трештена Скала - Кеј „Димитар Влахов“ - Кеј „Васил Главинов“ - Улица „Михајло Апостолски“ - Улица „Христијан Тодоровски-Карпош“ - Кеј „Маршал Тито“ - Улица „Гоце Делчев“ - Улица „Партизанска“ - Булевар „Партизанска“ - Улица „Борис Кидрич“ - Улица „Кирил и Методиј“ - Улица „Ванчо Прке“ - Улица „Гоце Делчев“ - Кеј „Димитар Влахов“ - Трештена Скала.

3) рута 1-7-8-1:

Трештена Скала - Кеј „Димитар Влахов“ - Кеј „Васил Главинов“ - Улица „Кирил и Методиј“ - Улица „Ванчо Прке“ - Улица „Гоце Делчев“ - Кеј „Димитар Влахов“ - Трештена Скала.

4) рута 1-9-1:

Трештена Скала - Кеј „Димитар Влахов“ - Кеј „Васил Главинов“ - Кеј „Маршал Тито“ - Улица „Тошо Арсов“ - Кеј „Маршал Тито“ - Кеј „Димитар Влахов“ - Трештена Скала.

13. ЗАКЛУЧОК

Економичноста во управувањето со транспортот на комуналниот отпад неоправдано е запоставувана во сите градови на Република Македонија, па и во градот Штип.

Примената на научните методи од областа на теоријата на транспортни мрежи овозможува намалување на:

- бројот на рути,
- бројот на ангажираните средства,
- должината на рутите,
- коефициентот на нулти возења,
- потрошувачката на гориво и
- останати параметри при транспортниот процес.

Во магистерскиот труд со систематска примена на методата на „модифицирани заштеди“ се одредени оптимални рути за транспорт на комуналниот отпад во градот Штип, пред сè во централното градско подрачје.

Оптимизирањето на рутите всушност претставува подобрување на горенаведените техничко-економски параметри на транспортот на комуналниот отпад во градот Штип и поради тоа моделот разработен во овој магистерски труд може да има и практична примена при управувањето со комуналниот отпад не само во градот Штип, туку и во останатите градови од нашата држава.

Овој модел може да биде усовршен во понатамошни научни истражувања ако се земат предвид факторите кои имаат стохастичка природа, меѓу кои се: условите на транспортот, начинот на возење, метеоролошките услови, изборот на улици и др. Моделите кои служат за проектирање на рутите на транспортните средства во кои се вградени неизвесности, во поглед на транспортните трошоци, времето на извршување на транспортот и воопшто одвивањето на транспортот во главно се базирани на употреба на законитостите на fuzzy аритметиката. Во

поново време се поголема употреба наоѓа и компјутерското симулационо моделирање.

14. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES)

[1]. Teodorovič, D., (1996). *Transportne mreže, algoritamski pristup*. Univerzitet u Beogradu, Beograd, 169-175.

[2]. Dorovič, B., (2005). Optimizacija realizacije transportnih problema ruting - modelom. VTA, Beograd, 76-85.

[3]. Dorovič, B., Dimič, S., (2001). Model za rešavanje problema rutinga saobraćajnih sredstava u vojsci. SYM-OP-IS, Beograd.

[4]. ДЕКОНС Ема Скопје, (2009). План и програма за управување со отпад во Општина Штип, 2009-2014.

[5]. Закон за управување со отпад („Службен весник на РМ“ бр.68/2004, бр.71/2004, бр.107/2007, бр.102/2008 и бр.143/2008).

[6]. Christofides, N., Mingozzi, A., Toth, P., (1979). *The Vehicle Routing Problem*. Chichester, UK.

[7]. Десподов, З., Мираковски, Д., Мијалковски, С., Ангеловски, Б., (2011). Одредување на оптимални рути при собирање и транспорт на комунален отпад во градот Штип. *Факултет за природни и технички науки, Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип*, 89-100.

[8]. Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H., Braysy, O., (2005). Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. University of Kuopio, Finland.

[9]. Salah R. Agha, (2006). Optimizing routing of municipal solid waste collection vehicles in Deir El-Balah Gaza Strip. School of Industrial Engineering, Islamic University-Gaza.

[10]. Milić, P., Petrović, G., Jovanović, M., Marinković, Z., (2009). Logistički model optimalnog rutiranja sistema za sakupljanje otpada. Rad za Internacionalnu konferenciju, Beograd.

- [11]. Pichtel, J., (2005). *Waste Management Practices: Municipal, Hazardous, and Industrial*. Boca Raton, FL, 105-124.
- [12]. Toth, P., Vigo, D., (2002). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM, Philadelphia.
- [13]. Županović, I., (2002). *Tehnologija cestovnog prijevoza*. Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [14]. Laporte, G., (2007). *What You Should Know about the Vehicle Routing Problem*. Technical Report, GERAD and Canada Research Chair in Distribution Management.
- [15]. Ralphs, T., Hartman, J., Galati, M., (2001). *Capacitated Vehicle Routing problem and some related problems*. Rutgers University.
- [16]. Clarke, J.V. Wright, (1964). *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. Operations Research.

15. ПРИЛОЗИ

Бојан Ангеловски, дипл.рударски инженер
„ОДРЕДУВАЊЕ НА ОПТИМАЛНИ РУТИ ЗА СОБИРАЊЕ И ТРАНСПОРТ НА
КОМУНАЛЕН ОТПАД ВО ГРАДОТ ШТИП“

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип