

Prometno-tehnološka optimizacija faze uručenja poštanskih pošiljaka

Baltić, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:030931>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Igor Baltić

**PROMETNO-TEHNOLOŠKA OPTIMIZACIJA FAZE
URUČENJA POŠTANSKIH POŠILJAKA**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**PROMETNO-TEHNOLOŠKA OPTIMIZACIJA FAZE
URUČENJA POŠTANSKIH POŠILJAKA**

Mentori: prof. dr. sc. Zvonko Kavran
doc. Ing. Radovan Madleňák, PhD.

Student: Igor Baltić

JMBAG: 0135 218 451

Zagreb, rujan 2015.

SAŽETAK

Tehnološka faza uručenja predstavlja najskuplju aktivnost odvijanja poštanskog prometa. Prepoznavanjem korisničkih zahtjeva uz postavljanje uručenja kao izdvojenog holističkog sustava i procesa moguće je utvrditi čimbenike koji utječu na učinkovitost te djelotvornost dostave i isporuke poštanskih pošiljaka. Uručenje ima presudan utjecaj na kvalitetu jer kao uslužni podsustav direktno predstavlja poštansku djelatnost krajnjim korisnicima.

Poštanske usluge se obavljaju korištenjem javne ili autonomne poštanske mreže. Sustavno modeliranje dostavnih rajona, primjena matematičkih i heurističkih metoda uz adaptaciju inteligentnih transportnih rješenja optimiziraju mrežu te svakodnevne operativne troškove.

KLJUČNE RIJEČI: tehnologija poštanskog prometa, uručenje, modeliranje dostavnih rajona, optimizacija itinerara, dostava pošiljaka

SUMMARY

Technological phase end-delivery represents the most expensive activity of postal traffic. By identifying user requirements and separating it as a distinguished holistic system and process it is possible to identify factors which affect efficiency and effectiveness regarding handing over and delivery of postal items. End-delivery has decisive effect on quality because as a service subsystem directly represents postal service to end users.

Postal services are performed by using public or autonomous postal network. Systematic modeling of delivery districts, application of mathematical and heuristic methods with adaptation of intelligent transportation solutions optimize network and everyday operational costs.

KEYWORDS: postal technology, end-delivery, delivery district modelling, optimization of itineraries, mail delivery

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
1.1. PROBLEM I PREDMET RADA	4
1.2. SVRHA, CILJ I DOPRINOS	4
1.3. METODOLOGIJA	5
1.4. ANALIZA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	5
1.5. STRUKTURA	5
2. OSNOVNI I DODATNI ČIMBENICI URUČENJA	6
2.1. URUČENJE KAO PROCES	7
2.2. URUČENJE KAO SUSTAV	10
2.3. KORISNIČKI ZAHTJEVI	12
2.4. ČIMBENICI	15
3. PRIMJENA MATEMATIČKIH METODA	20
3.1. DIJKSTRIN ALGORITAM	24
3.2. BELLMAN-FORDOVA METODA	26
3.3. PROBLEM KINESKOG POŠTARA	27
3.4. PROBLEM TRGOVAČKOG PUTNIKA	29
4. PRIMJENA HEURISTIČKIH METODA	31
4.1. KONSTRUKTIVNE METODE	33
4.2. SPECIJALNE HEURISTIKE	34
4.3. METAHEURISTIKE	34
4.3.1. SIMULIRANO KALJENJE	36
4.3.2. GENETSKI ALGORITAM	38
4.3.3. ALGORITAM MRAVLJE KOLONIJE	40
4.3.4. USPOREDBA NA PRIMJERU PROBLEMA TRGOVAČKOG PUTNIKA	42
5. INTELIGENTNA TRANSPORTNA RJEŠENJA	43
5.1. INFORMIRANJE POŠTONOŠA	44
5.2. INTELIGENTNA PRIJEVOZNA SREDSTVA	46
5.3. PRIMJENA NA ENTITET	47
5.4. NOVA RJEŠENJA	49
6. MODELIRANJE DOSTAVNIH RAJONA	53
6.1. UTJECAJNI ELEMENTI MODELIRANJA	56
6.2. MODEL STATIČKOG KOMBINACIJSKOG RAJONA	57
6.3. MODEL DINAMIČKOG KOMBINACIJSKOG RAJONA	66
7. ZAKLJUČAK	68
LITERATURA	70
POPIS SLIKA	72
POPIS TABLICA	73
METAPODACI	74
IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST	75

1. UVOD

Na najvišoj razini znanstvenih razmatranja promet predstavlja fenomen svakodnevno prisutan, uočljiv, značajan i nužan za svakodnevni život. Tehnologija prometa i transport je još uvijek mlada i nedovoljno istražena znanstvena disciplina sa neupitno održivom i svijetlom budućnosti s obzirom na ekspanziju tehničko-tehnološkog razvoja tijekom 21. stoljeća.

Niže razine istraživanja približavaju i pojašnjavaju promet stručnjacima iz drugih znanstvenih područja i krajnjim korisnicima te podižu svijest o ukupnom značaju. Promet je općenito definiran kao sustav, proces i usluga kojim se obavlja prijevoz ili prijenos ljudi, roba i informacija korištenjem mreže prometnica sa svrhom obavljanja korisnih gospodarskih, društvenih i drugih aktivnosti od točke A do točke B.¹

Supstrat prijevoza čine pojedini objekti prijevoza (čovjek, pošiljka, informacija). Procesom indukcije prilikom sklapanja ugovora sa davateljem prometne usluge, kojim davatelj postaje odgovoran za zaštitu i sigurnost, supstrat prijevoza postaje transportirani entitet prijevoza. Skup transportiranih entiteta zajedničkih obilježja adaptira se prema odabranoj prometnoj grani/modu, prometnom entitetu i prometnici. Prometni entiteti su prijevozna sredstva koja koriste i zauzimaju dio prometnice u prostorno-vremenskom okviru. Niz prometnih entiteta čini organizirani prometni tok koji se uz adekvatne razmake kreće prometnicom s ciljem minimalne vjerojatnosti pojave incidentne situacije. Ovakav poopćeni model funkcije prometnog sustava opisuje svaki prometni sustav, no nedovoljno za rješavanje sveobuhvatnog prometnog problema jer prometni modovi imaju svoje specifičnosti.

Poštanski promet je sustav, proces i usluga prijenosa informacije između korisnika. Informaciju priopćava pošiljatelj iz točke A korištenjem kapaciteta poštanske mreže kao poruku za primatelja u točki B. Informaciju davatelj poštanskih usluga zaprima kao poštansku pošiljku adresiranog i konačnog oblika – stanje pošiljke mora biti istovjetno i nepromijenjeno u trenutku prijma i u trenutku uručenja. Iz razloga što je osnovna funkcija poštanskog prometa priopćiti poruku između dvije fizičke i/ili pravne osobe bez saznanja što je sadržaj/supstrat prijevoza, premda se radi o fizičkom prijevozu, osnovni cilj je prijenos navedene informacije.

¹ Bošnjak, I., Badanjak, D.: Osnove prometnog inženjerstva, Sveučilište u Zagrebu, 2005., str.17

Poštanski promet ima četiri specifičnosti u odnosu na ostale prometne grane:

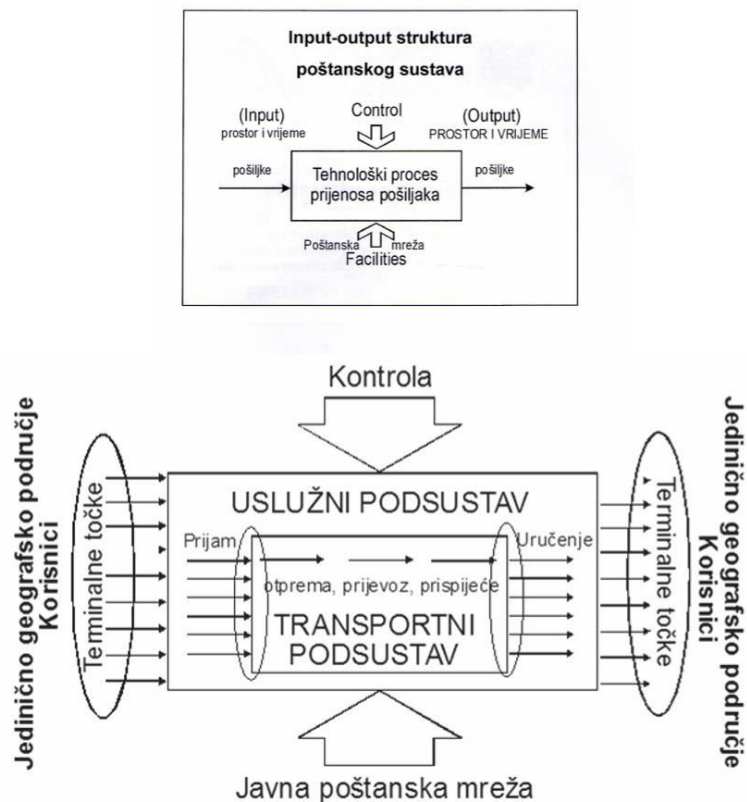
- Nema vlastitu transportnu infrastrukturu – ali ima posebna tehnička sredstva
- Pokriva cjelokupni teritorij – fizički kontakt poštonoše sa gotovo svim korisnicima na svijetu – 3% svjetskog stanovništva nema pristup poštanskim uslugama
- Mjerenje učinka u komadima, ne u tonama/km
- Za razliku od transporta (prijevoz ljudi, robe) prenosi informacije, za razliku od informacijsko-komunikacijskog prometa - informacija je u materijalnom obliku

Osnovni omogućivač (engl. *enabler*) poštanskog prometa je poštanska mreža. Općenito, mrežu čini skup čvorišta i međusobnih veza. Elementi poštanske mreže su ljudski resursi, poštanski objekti u obliku terminalnih i tranzitnih čvorišta (poštanski uredi, poštanska središta i druge pristupne točke) te tehnička sredstva. Poštanska mreža može biti javna ili autonomna. Javna poštanska mreža prema definiranim zemljopisnim područjima se dijeli na područje dostavnog rajona², poštanskog ureda, poštanskog središta te područja nacionalne, europske i međunarodne poštanske mreže.

Svaki sustav je dio većeg sustava, definirane strukture/ustroja elemenata i veza sa unaprijed zadanim željenim ponašanjem sustava. Poštanski sustav je, osim prometnog, također i dio komunikacijskog, sustava javnih usluga (*Service of General Economic Interest* – SGEI), gospodarskog i novčarskog sustava. Problem optimizacije sustava se očituje u različitim aspektima razmatranja. Tri su osnovna gledišta: tehničko-tehnološko, regulatorno i ekonomsko. Stoga je unaprijed zadani kriterij unapređenja bilo kojeg dijela poštanskog sustava, uz obvezni holistički pristup optimizacije, pronaći prihvatljivo rješenje korištenjem postojeće tehnologije koje će biti odobreno od strane regulatornih tijela te se očitovati kroz buduće pozitivne ekonomske rezultate.

Poopćeni input-output model prikaza poštanskog sustava, prilagođen iz poopćenog modela svakog prometnog sustava prikazan je slikom 1.

² Dostavni rajon je područje poštanskog ureda na kojem poštonoša obavlja dostavu. Više dostavnih rajona čini dostavno područje poštanskog ureda.



Slika 1. Poopćeni input-output prikaz poštanskog sustava

Izvor: [16]

Datum preuzimanja: 30.03.2015.

Tehnologija poštanskog prometa predstavlja znanstveno upravljanje i konstantnu optimizaciju pet tehnoloških procesa:

- ✓ prijam pošiljaka u poštanskim uredima i ostalim pristupnim točkama,
- ✓ koncentracija pošiljaka otpremom prema nadležnom poštanskom središtu,
- ✓ prijevoz pošiljaka iz otpremnog prema odredišnom poštanskom središtu,
- ✓ prispjeh pošiljaka u odredišno poštansko središte i difuzija prema odredišnim poštanskim uredima,
- ✓ uručenje pošiljaka primateljima

Uz znanstveni pristup tehnologija poštanskog prometa predstavlja i praktičan pristup rješavanju poštanskih problema. Tri su različite tehnologije prijenosa, ujedno i tri različita tipa poštanskih usluga: kurirska, ekspresna i univerzalna poštanska usluga. Kurirska tehnologija podrazumijeva preuzimanje pošiljke na adresi pošiljatelja te izravan prijenos i uručenje primatelju na adresi korištenjem javne prometne mreže.

Ekspresna tehnologija podrazumijeva preuzimanje pošiljke od na adresi pošiljatelja te prijenos kroz autonomnu mrežu i uručenje primatelju. Univerzalna tehnologija podrazumijeva preuzimanje pošiljke u pristupnim točkama te prijenos kroz javnu poštansku mrežu i uručenje primatelju. Kod kurirske usluge pošiljke se ne grupiraju (omasovljavaju), kod ekspresne dio pošiljaka, a kod univerzalne usluge sve. Također, s obzirom da je realno vrijeme u poštanskom prometu $D + x$ (D – dan prijma, x – dan uručenja), univerzalna usluga je najsporija, a kurirska najbrža. Zaključno, brzina prijenosa i omasovljavanje pošiljaka tehnološki su obrnuto proporcionalne veličine. Međutim važno je razlikovati da poštanske pošiljke nisu poštanske usluge.

1.1. PROBLEM I PREDMET RADA

Problem rada predstavlja istraživanje tehnološke faze uručenja u odvijanju poštanskog prometa. Uručenje čini završnu i najskuplju tehnološku fazu te sa korisničkog aspekta osnovni faktor mjerenja kvalitete poštanskih usluga.

Predmet rada proizlazi iz postavljenog problema rada kojim se istražuju osnovni i sporedni čimbenici koji utječu na realizaciju dostave i isporuke poštanskih pošiljaka. Prometno-tehnološka optimizacija obuhvaća analizu strukture suvremenih poštanskih pošiljaka, analizu postojećeg stanja tehnološke faze uručenja te prijedloge novih pristupa rješavanju problema korištenjem suvremenih transportnih alata. Istaknuti će se važnost predradnji za uspješno odvijanje tehnološke faze u smislu organizacijsko-tehnoloških mjera kao i koordiniranosti sa ostalim fazama.

1.2. SVRHA, CILJ I DOPRINOS

Svrha rada ogleda se u prikazu postojećeg stanja razmatrajući poštanski promet kao kompleksan, dinamičan i održiv prometni sustav. Informacija o prostorno-vremenskim značajkama uručenja poštanske pošiljke je poznata u trenutku prijma što dovodi do zaključka da se na kvalitetu poštanskih usluga itekako može utjecati

Cilj rada sastoji se u povećanju efikasnosti i efektivnosti navedene tehnološke faze poštanskog prometa. Reinženjering poslovnih procesa je u suvremeno vrijeme nedovoljno korišten alat za rješavanje problema, ponajviše zbog nedostatka edukacije i samoinicijativnosti djelatnika te povijesno gledajući češćih načina rješavanja poslovne problematike.

1.3. METODOLOGIJA

Metodologija rada proizlazi iz načina prikupljanja podataka kako bi se došlo do valjanih informacija za predviđeni predmet rada. Ovisno o dostupnosti podataka, korištenjem domaće i strane literature te ostalih primarnih i sekundarnih izvora podataka analizirati će se tehnološka faza uručenja bazirano sa više različitih aspekata, ujedno vanjskih čimbenika okoline koji utječu na poštanski sustav.

1.4. ANALIZA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

U okviru istraživanja provedenih kroz znanstvene i stručne radove drugih smjerova na Fakultetu prometnih znanosti postoje podaci o analizi dostave i/ili isporuke pošiljaka, tereta ili robe na određenim geografskim područjima. Potrebno je detaljnije istražiti relevantnost spomenutih analiza u odnosu na posebnosti poštanskog prometa s obzirom da ova problematika, ako je smatramo posebnom cjelinom u poštanskoj djelatnosti, još uvijek nije dovoljno istražena.

1.5. STRUKTURA

Struktura rada definirana je sadržajem koji proizlazi iz naslova rada. Sadržajem će se obuhvatiti širok spektar alata korištenih u svakodnevnom obavljanju poštanskih usluga, detaljna analiza istih te moguće supstitucije novim i tehnološki kvalitetnijim rješenjima.

Promet je multidisciplinarna znanost koja se u svom istraživanju pored vlastitih metoda služe i metodama i saznanjima drugih znanstvenih disciplina, ali rezultate istraživanja interpretiraju na poseban način, različito od drugih. Polazeći od općih inženjerskih znanja i spoznaja iz srodnih područja prometni inženjeri sustavno identificiraju/objašnjavaju i rješavaju prometne probleme u svojoj domeni. Stečene spoznaje nakon znanstvene validacije te sustavske integracije postaju koherentni dio prometnog inženjerstva kao samostalne discipline.³

³ Bošnjak, I., Badanjak, D.: Osnove prometnog inženjerstva, Sveučilište u Zagrebu, 2005., str.3

2. OSNOVNI I DODATNI ČIMBENICI URUČENJA

Uručenje (engl. *delivery, last mile transport, final mile transport*) predstavlja završnu tehnološku fazu odvijanja poštanskog prometa. Posebnost uručenja se ogleda u činjenici izravnog kontakta poštanskog operatora sa primateljem unutar uslužnog podsustava. Sa vremenskog aspekta uručenje započinje nakon tehnološke faze prispjeća dolaskom zaključaka u odredišnu poštu, a završava uručenjem pošiljke primatelju.

Osim toga što čini osnovni kriterij mjerenja zadovoljstva korisnika poštanskim uslugama tehnološka faza uručenja je ujedno i najskuplji operativni dio naročito kod davatelja univerzalnih poštanskih usluga. Slika 2. prikazuje strukturu troškova poštanskog operatora prema tipu troška i detaljnu razradu operativnih troškova (prema tipu – posljednjih 20%).

Universal service providers' processes and cost structures

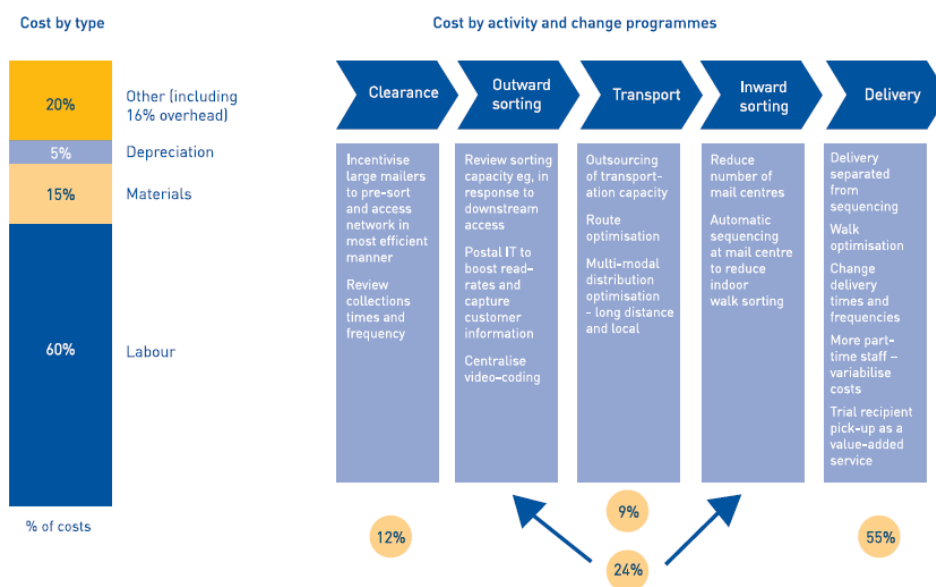


Figure 2.2

Slika 2. Struktura troškova davatelja poštanskih usluga

Izvor: [18]

Datum preuzimanja: 05.04.2015.

Često se u stranoj literaturi spominju 4 tehnološke faze kao aktivnosti gdje se troškovi otpreme i prispjeća razmatraju zajedno (24%), ekonomskim pristupom. U okviru Europske unije poštanska usluga je usluga koja se nudi na jedinstvenom tržištu i u osnovi se ne smatra primarno prometnom, već uslugom važnom za gospodarstvo u komunikacijskom sustavu te kao uslugom od općeg ekonomskog

interesa.⁴ Poštu nije moguće jednoznačno svrstati u jedan sustav što dovodi do različitih mišljenja i povećava kompleksnost, a time i važnost održivosti poštanske usluge koja uvijek čini oko 1% poslovnih aktivnosti govorili o broju zaposlenika, prihodima ili drugim ekonomskim čimbenicima. Inženjerski je potrebno razmatrati te dvije faze posebno uzimajući u obzir tehničko-tehnološke pokazatelje kao što je, primjerice, koeficijent manipulativnog umnožavanja (KMU).

$$KMU = \frac{X + Y}{Y}$$

X – ukupna količina pošiljaka prerađenih u primarnom procesu

Y – količina pošiljaka koja se ponovno prerađuje (sortira) u sekundarnom procesu

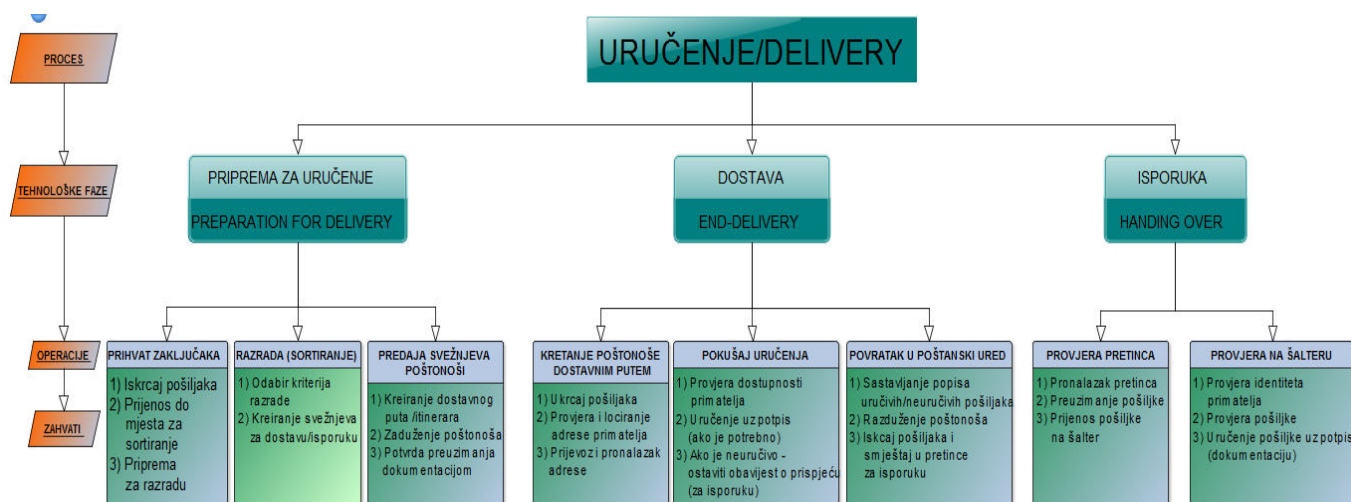
2.1. URUČENJE KAO PROCES

Postoje određeni problemi prilikom opisivanja i analize uručjenja kao izdvojenog tehnološkog procesa. Poštanski operatori imaju dosta slobode prilikom odabira organizacijskih mjera dostave i isporuke. Iz tog razloga se umjesto opisivanja procesa često dijeli prema veličini poštanskog ureda s dostavnim područjem. Uredi se tako dijele na male do 5 radnika, srednje od 5 do 50 i velike poštanske urede sa preko 50 radnika. U malim poštanskim uredima sa par dostavnih rajona jedna ili par osoba je zadužena za izvršenje kompletnog procesa što znači da jedna osoba može obavljati funkciju djeljača, poštonoše i isporučnog radnika. Ovisno o dostupnom prostoru, analogno tome veličini poštanskog ureda, prispjeli zaključci iz odredišnog poštanskog središta se otvaraju u jednoj prostoriji ili više njih.

Uručenje pošiljaka za europski i međunarodni promet se obavlja nakon uvjetno obavljenog prijma. Davatelj u zemlji prijma će odraditi cijeli tehnološki proces unutar svoje nadležnosti, no o uručjenju pošiljke isključivo odlučuje odredišni davatelj u skladu sa važećim carinskim propisima.

U fazi uručjenja osnovni i krajnji cilj je obaviti razradu (sortiranje) pošiljke prema dostavnim rajonima i poštanskim pretincima, te ih dostaviti odnosno isporučiti krajnjem primatelju. Analiza poopćenog modela tehnološkog procesa se nalazi na slici 3. Tri su osnovne faze: priprema za uručjenje, dostava i isporuka.

⁴ http://ec.europa.eu/growth/single-market/services/index_en.htm ,
http://ec.europa.eu/transport/index_en.htm



Slika 3. Uručenje kao tehnološki proces

Izvor: izradio autor

Priprema za uručenje je svojevrsni nastavak obavljenog rada u tehnološkoj fazi prispjeća. Cilj prispjeća je zaključke u odredišnom poštanskom središtu otvoriti, pošiljke preraditi, kreirati optimizirane zaključke i difuzirati ih prema dostavnim poštanskim uredima. Unutar pripreme za uručenje tri su osnovne tehnološke operacije: prihvata zaključaka, razrada prema zadanim kriterijima te predaja svežnjeva poštunoša po definiranom itineraru.⁵ U male poštanske urede najčešće stiže 1 „S“ skupni zaključak sa svim pošiljkama zajedno neovisno o usluzi. U srednjim poštanskim uredima za očekivati je minimalno 2 zaključka, a u većim uredima ovisi o količini pošiljaka. Zaključci još mogu biti „V“ vrijednosni, „Z“ pismovni, „R“ preporučeni, „PV“ paketsko vrijednosni, „P“ obični paketski i „E“ ekspresni.

Način razrade pošiljaka ovisi o organizaciji svakog ureda posebno, naročito ako se radi o davatelju koji nudi univerzalnu, ekspresnu i/ili kurirsku uslugu. Jedan od mogućih je podijeliti pošiljke na prioritetne i neprioritetne, zatim unutar svake na dostavu i isporuku, te zatim po uslugama (obične, knjižene, uputnice, paketi, tiskanice, oštećene i prepakirane, ekspresne, kurirske i posebne). Posebne pošiljke su pošiljke čije uručenje uvjetuju posebni regulatorni propisi, kao što su sudska pismena, carinske, vojne i porto pošiljke. Porto pošiljke su pošiljke za koje poštarina još nije plaćena dijelom ili u cijelosti. Za očekivati je veću količinu neprioritetnih pošiljaka u poštanskom uredu jer poštanski promet, naročito kod pisama, u pravilu čini oko 90% neprioritetnih i 10% prioritetnih pošiljaka.

⁵ Itinerar poštunoše je put kojim poštunoša prolazi kroz dostavni rajon.

Svežnjevi dijela sortiranih pošiljaka se predaju poštonoši za dostavu, a ostale pošiljke se smještaju u poštanske pretince za isporuku. Itinerar poštonoše je određen obrascem koji se najčešće naziva Putni list. Jedan primjerak Putnog lista poštonoše se nalazi kod poštonoše, drugi i treći u poštanskom središtu i poštanskom uredu. Putni list poštonoše mora sadržavati naziv pripadajućeg poštanskog središta i ureda, datum početka primjene, naziv i broj rajona, tip prijevoznog sredstva korištenog za dostavu, redoslijed kretanja poštonoše, broj dostava tjedno ili dane kada se dostava obavlja, vrijeme polaska poštonoše na dostavu, vrijeme povratka poštonoše s dostave, oznaku poštanskog kovčežića i skupnog poštanskog kovčežića kojega poštonoša prazni (za obavljanje i faze prijma), crtež, prijeđeni put i ukupnu dužinu dostavnog rajona.

Osim Putnog lista u pripremi za uručenje osnovnu dokumentaciju o pošiljkama čine obrasci Pregled rada i Dostavna knjiga. Pregledom rada voditelj ureda i poštonoša dokumentiraju zaduženje pošiljaka za dostavu svakodnevno, a funkcija Dostavne knjige je voditi evidenciju o pošiljkama koje se prate tijekom prijenosa – knjižene, prioritetne, ekspresne i slično. Svojim potpisima poštonoša, voditelj ureda i drugi po potrebi akteri potvrđuju primitak, a poštonoša se dodatno zadužuje za uručenje navedenih pošiljaka.

Dostava pošiljaka se izvršava na adresi primatelja. Adresa može biti privatna kuća/dom, stan ili unaprijed dogovorena terminalna točka/poslovna prostorija. U pravilu se dostava izvršava redovno u definiranim vremenskim intervalima, premda se ovisno o situaciji mogu primijeniti žurne dostave ako se radi o posebnim primateljima, situaciji ili usluzi. Najčešće su takve dostave ugovorene posebnim sporazumom između poštanskog operatora i korisnika. Primatelji mogu biti fizičke i pravne osobe. Ako se radi o pravnim osobama pošiljke se uručuju ovlaštenim fizičkim osobama na adresi pravne, a u praksi se najčešće radi o opunomoćeniku i na taj način se može uručiti i na osobnoj adresi te fizičke osobe. Svaka fizička osoba također može imati svog opunomoćenike, primjerice pošiljka će se uručiti takvoj osobi kada je primatelj u zatvoru, pritvoru ili vojsci. Neke kategorije pošiljaka (označene vrijednosti do 500 kn) se mogu uručiti i ukućanima i rodbini iznad 15 godina. Dostava se može izvršiti iz ruke u ruku ili ubacivanjem pošiljke u kućni kovčežić ako se radi o običnim pošiljkama. Dostava može biti organizirana kao opća, poštonoša dostavlja sve pošiljke, ili specijalizirana, jedna dostava za obične, a druga za ostale pošiljke. Kućni kovčežić (sandučić) je primateljeva organizirana kutija u koju

poštonoša ubacuje dostavljene pošiljke. Premda uručenje potencijalno završava uspješnom dostavom ili ostavljanjem obavijesti o prispjeću, posao poštonoše nije gotov. Povratkom u poštanski ured poštonoša mora sastaviti popis uručivih/neuručivih pošiljaka, razdužiti zadužene pošiljke i neuručive pošiljke pripremiti za isporuku.

Isporuka je završna tehnološka faza uručjenja. Pošiljke za isporuku možemo podijeliti u dva tipa: poste-restante pošiljke predviđene za isporuku u poštanskom uredu te pošiljke neuspjelo uručene dostavom. Pošiljke predviđene za isporuku se mogu preuzeti u slijedećim rokovima:

- ❖ 24 sata – pošiljke sa živim životinjama
- ❖ 5 radnih dana – za pošiljke za koje je ostavljena obavijest o prispjeću pošiljke (neuručive dostavom)
- ❖ 7 radnih dana – ekspresne pošiljke
- ❖ 15 radnih dana - međunarodni paketi
- ❖ 30 kalendarskih dana – ako je pošiljka adresirana na poste restante.

Svaka prometna usluga, pa tako i poštanska, jest nematerijalna i neponovljiva. Svaki pokušaj uručjenja pošiljke je jedinstven, ali i prilika za potvrdu dosadašnjih saznanja o adresi primatelja ili ažuriranje zastarjelih informacija. Važno je napomenuti da primatelj uvijek može odbiti uručjenje. Davatelj poštanskih usluga isključivo zarađuje prijenosom, a s obzirom da ne zna sadržaj pošiljke, istu će u slučaju odbijanja uručjenja vratiti pošiljatelju. Vraćanje neuručenih pošiljaka je besplatno osim za pakete i vrijednosne pošiljke. Osim toga, davatelj može primiti za prijenos pošiljatelju pošiljke koje su uručene pogrešnom primatelju, ali ne može vratiti (besplatno) pošiljke koje su uručene odgovarajućem primatelju. Ako se pošiljka ne može uručiti ni primatelju, a ni pošiljatelju, dva puta mjesečno takve pošiljke se otpremaju u glavno poštansko središte. Ako se naknadno ne može doći do korisnika, davatelj komisijski uništava pošiljke ili ih daje na javnu aukciju. Novac dobiven od aukcije se čuva 3 godine i zatim zapisuje kao izvanredan prihod.

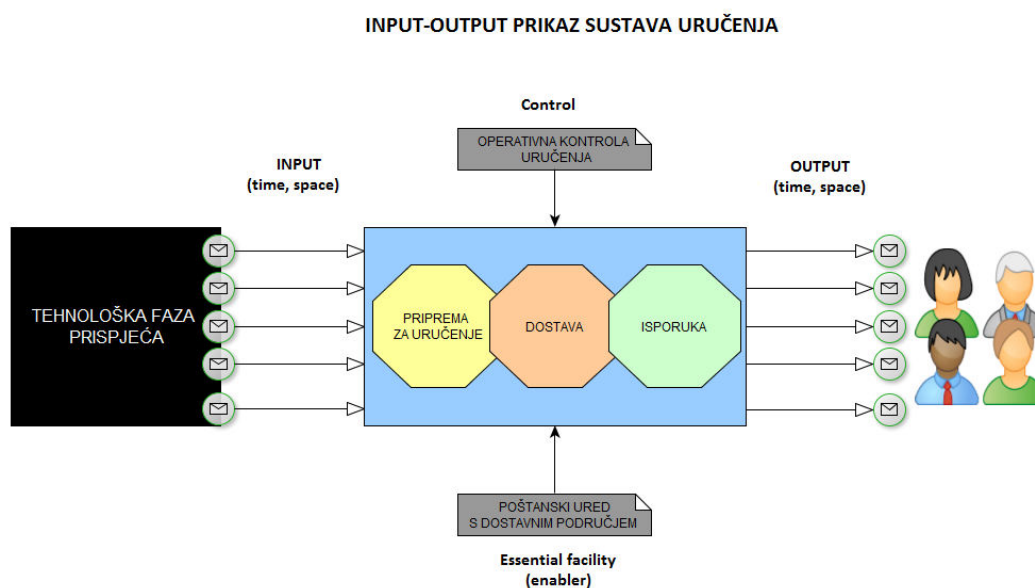
2.2. URUČENJE KAO SUSTAV

Poštanski promet je po već spomenutom dio više sustava. No u smislu analize i razumijevanja s ciljem buduće optimizacije i dobrote sustava potrebno ga je „izdvojiti“ i razmatrati posebno. Isto je potrebno napraviti sa tehnološkom fazom uručjenja te ju razmatrati neovisno o drugim fazama, uz stalni podsjetnik da

proučavanjem samo jedne tehnološke komponente, bez obzira na objektivnost i preciznost, nije moguće postići uspješno i učinkovito rješavanje cjelokupnog problema s kojim se poštanska djelatnost danas susreće – održivost i poboljšanje kvalitete poštanskih usluga.

Dva su metodološka pristupa razvoju općih predložaka sustavskog rješavanja problema: induktivni i deduktivni pristup. Induktivni pristup se bazira na prikupljanju informacija promatranjem, brojenjem, mjerenjem i slično. Na temelju analize i sinteze informacije te donošenjem utemeljenih zaključaka dolazi se do općenitih spoznaja koje su važeće za svaki problem sličan istraživanom. Deduktivni pristup podrazumijeva pretpostavku aksioma koji nisu dokazani, ali se mogu smatrati očiglednima. Korištenjem općenitih razmišljanja uz integraciju sa aksiomima izvode se pojedinačni zaključci za svaki primjer posebno. Pojednostavljeno, induktivni pristup istražuje cijelu klasu problema dok deduktivni pristup istražuje zakonitosti specifičnog zadanog problema.

Jedan od primjera deduktivnog metodološkog pristupa je poopćeni opis i model input-output sustava. Slikom 4. prikazan je model za tehnološku fazu uručenja.



Slika 4. Poopćeni model sustava uručenja

Izvor: izradio autor uz prilagodbu iz izvora [1]

U sustavu uručenja su pripadajuće tehnološke faze prikazane Vennovim dijagramima. Dio radnji koji se izvodi u pripremi za uručenje se može pripisati i fazi dostave, kao što je kreiranje dostavnog puta/itinerara. Također, pošiljke koje nisu uspješno uručene dostavom postaju dio faze isporuke. Nedvojbeno je pripadnost i

povezanost ovih tehnoloških faza, što je ujedno problem više prilikom jednoznačnog opisivanja elemenata uručenja metodološkim principom.

Prometno inženjerstvo se temelji na dva pristupa: sustavskom i konceptualno-funkcionalnom. Sustavskim pristupom pokušavaju se shvatiti skupine pojava cjelovito zajedno sa pripadajućom okolinom te se zatim korištenjem metoda teorije sustava približavaju egzaktnom opisu skupine pojava kao sustav. Konceptualno-funkcionalni pristup naglašava da prometni problemi nisu primarno vezani uz tehničke komponente sustava već za relaciju između elemenata sustava.

2.3. KORISNIČKI ZAHTJEVI

Prije utvrđivanja čimbenika koji uvjetuju kvalitetu uručenja poštanskih pošiljaka potrebno je uzeti u obzir mišljenje korisnika zbog kojih poštanske usluge uopće egzistiraju. U većini europskih zemalja nacionalno regulatorno tijelo (NRA) provodi istraživanja u obliku anketiranja o zadovoljstvu korisnika poštanskim uslugama s primarnim fokusom na univerzalnu uslugu. Ankete između ostalog sadrže i pitanja o zadovoljstvu korisnika uručenjem pošiljaka. U Hrvatskoj posljednje istraživanje o zadovoljstvu univerzalnom i kurirskom uslugom je provedeno 2008. godine za fizičke osobe, a 2010. godine za poslovne subjekte. Oba istraživanja nisu sadržavala pitanja o mišljenju, prijedlozima i kritikama korisnika na način obavljanja uručenja.

Stoga će za potrebe ovog poglavlja biti korišteni izvori iz drugih europskih i svjetskih zemalja. Poštanski sustavi su različiti i treba ih takve uvažavati, ali cilj univerzalne poštanske usluge je ponuditi aktivnost prijenosa pošiljke „svima pod istim uvjetima“. Određena pitanja i zaključci istraživanja kod korisnika poštanskih usluga sa drugih područja su relevantna i za hrvatske korisnike.

Istraživanje korisnika provedeno u SAD-u pokazalo je da, bez obzira na ekspanziju informacijsko-komunikacijskih usluga u zadnjem desetljeću, korisnici preferiraju informacije o popustima, novim proizvodima i općenito biltene dobivati na slijedeći način⁶:

○ Izravna pošta	31%
○ Dodaci u novinama	24%
○ Katalozi	18%
○ Oglasi u novinama	11%

⁶ Kljak T.: Automatizacija poštanskog prometa II, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014., str.14

- e-mail 10%
- Ništa od navedenog 6%

The Office of Communications, skraćeno Ofcom, nacionalno regulatorno tijelo zaduženo za poštanske usluge u Ujedinjenom Kraljevstvu, 2012. godine je provelo detaljno istraživanje o tehnološkoj fazi uručenja na njihovom području. Rezultati istraživanja su pokazali da nema razlike u preferencijama muških i ženskih korisnika, ali su značajna dva razlikovna obilježja: tip naselja i dob korisnika, prikazani tablicom 1. Podaci u tablici po tipu naselja i dobi korisnika ne obuhvaćaju sve rezultate anketiranja, već prikazuju za koju opciju je glasalo najveći broj korisnika.

Tablica 1. Analiza korisničkih zahtjeva u Ujedinjenom Kraljevstvu

	Tip naselja		Dob	
	URBAN	RURAL	16-34	55-74
Broj pošiljaka uručenih korisniku tjedno	3-4 – 16%	5-6 – 20%	1-2 – 35%	5-6 – 17%
	5-6 – 16%	10-15 – 13%	5-6 – 24%	11-15 – 15%
	1-2 – 15%	3-4 – 11%	7-9 – 12%	3-4 – 13%
Max. udaljenost do kovčežića (u m) koju je korisnik spreman prijeći	320 – 26%	320 – 19%	320 – 25%	320 – 22%
	160 – 16%	160 – 15%	1200 – 15%	160 – 20%
	800 – 15%	1600 – 13%	800 – 13%	500 – 10%
Zadovoljstvo lokacijom skupnih kovčežića	Zadovoljni – 88%	Zadovoljni – 93%	Zadovoljni – 87%	Zadovoljni – 85%
Mišljenje o alternativni kućne dostave u obliku skupnog kovčežića (bez neodlučnih): a) u ulici, uz najveću stambenu jedinicu b) na terminalu (kolodvor, trgovina, benzinska postaja)				
	Za – 10%	Za – 11%	Za – 13%	Za – 8%
	Protiv – 58%	Protiv – 60%	Protiv – 46%	Protiv – 67%
	Za – 5%	Za – 3%	Za – 8%	Za – 3%
	Protiv – 81%	Protiv – 90%	Protiv – 75%	Protiv – 90%
Mišljenje o broju pošiljaka koje će primati u slj. 3 godine	Isto – 63%	Isto – 67%	Isto – 50%	Isto – 70%
	Malo manje – 15%	Malo više – 18%	Malo više – 25%	Malo manje – 17%
Važnost D+1 usluge	Važna – 59%	Važna – 70%	Važna – 63%	Važna – 55%

Želje korisnika za porast kvalitete	Cijena – 27% Uručenje – 16%	Cijena – 22% Uručenje – 13%	Cijena – 25% Uručenje – 15%	Cijena – 30% Uručenje – 14%
Mišljenje o dostavi u poslijepodnevnim satima (18:00)	Anketa obuhvatila sve korisnike bez razlikovnih obilježja. 58% - mala, ali prihvatljiva neugodnost. 29% - veća neugodnost, ali bi se dugoročno prilagodili.			

Izvor: [21], datum preuzimanja: 08.04.2015.

Važan pokazatelj ankete je tip pošiljaka koji primatelji razlikovnih obilježja dobivaju na mjesečnoj bazi. Primateljima dobi 16-34 godine najčešće se uručuju računi (68%), dok oko 30% primatelja također dobiva i direct mail, poslovnu korespondenciju od strane državnih vlasti, osiguranja, banke i slično te e-commerce pošiljke. 82% primatelja dobi 55-74 također najviše zaprima račune, 70% direct maila i 58% poslovne korespondencije, ali i 45% pošiljaka od obitelji u obliku razglednica ili čestitki. To dovodi do već dobro poznatih mišljenja da e-commerce predstavlja jedan od budućih poštanskih usluga okrenutih mlađoj populaciji, računi, direct mail i važna dokumentacija će ostati otprilike isti, dok se očekuje sve pad obiteljskih pošiljaka. Urbano i ruralno područje se po tipu pošiljaka mogu poistovjetiti sa dobi korisnika, gdje je otprilike sličan odnos postotaka, te po ovom pokazatelju urban može predstavljati mlađu populaciju.

U međunarodnom prometu korisnici, prilikom odabira davatelja poštanskih usluga sa dobrim omjerom cijene i kvalitete uručjenja, najviše imaju problema sa politikom povrata poštanskih pošiljaka u slučaju neuručjenja, različitosti u cijeni međunarodne poštanske usluge između konkurentnih poštanskih operatora, specifičnim uslugama koje pojedini operatori nude te nedostatkom interoperabilnosti. Vremenske dostavne opcije koje prikazuje davatelj u zemlji prijma pošiljke se često ne poklapaju sa opcijama koje nudi davatelj u odredišnoj zemlji i to predstavlja opširan problem i jedan od ciljeva razvoja usluge od strane Svjetske poštanske unije.

Kao zanimljivost, istraživanja su pokazala da bi, premda im to nikako nije opcija koju žele, korisnici više vjerovali skupnim kovčezima na terminalu nego susjedima, te da su primatelji više ljuti kada dobiju oštećenu pošiljku nego kada se ista izgubi.

2.4. ČIMBENICI

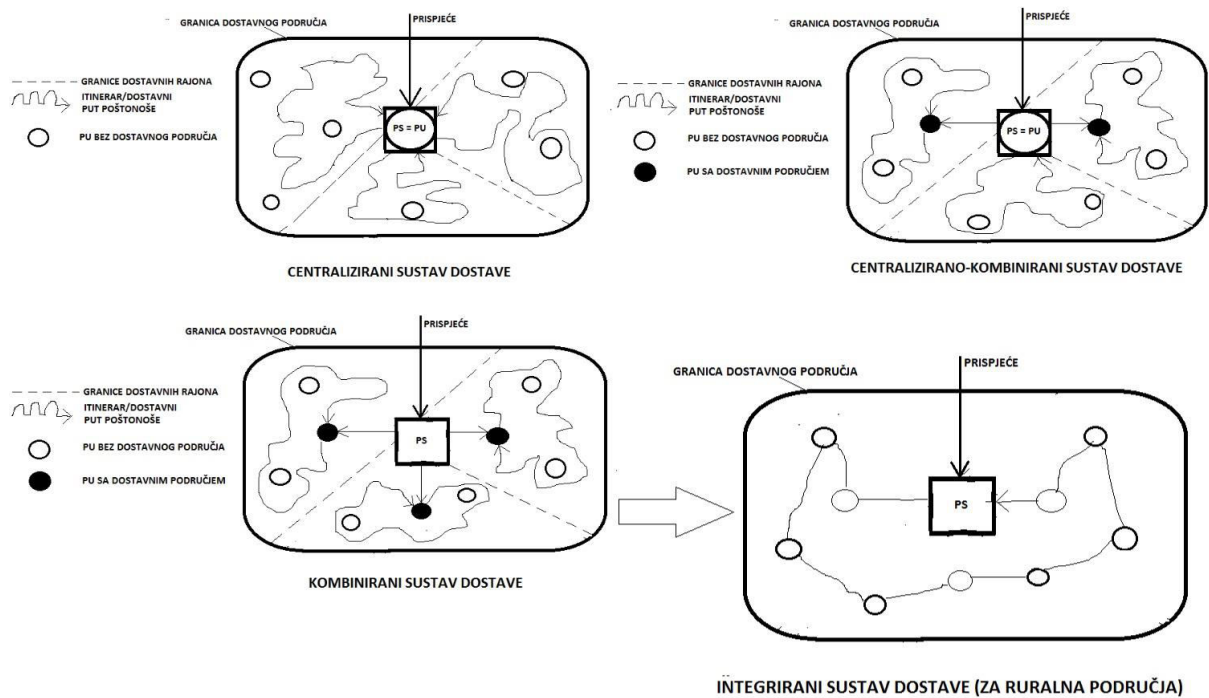
Poštanski promet kao sustav ima dva osnovna podsustava: uslužni i transportni. Uslužni čine tehnološke faze prijma i uručenja, a transportni ostale. Dok davatelji nastoje što više automatizirati procese unutar oba, zasad uslužni podsustav i dalje ipak većinom čini ljudski rad. Razlog tome je zadržavanje ljudskog kontakta sa korisnicima (pošiljateljima i primateljima) te činjenica da promet kao fenomen se ne može do kraja „robotizirati“.

Prilikom organizacije faze uručenja potrebno je razmatrati proces kroz tri osnovna gledišta - davatelj, poštunoša i primatelj. Efikasnu i efektivnu fazu uručenja čine osnovni čimbenici:

- Sustav dostave
- Razlikovna obilježja
- Sinergija uručenja sa ostalim tehnološkim fazama
- Ažurnost baze adresa
- Prednost dostave u odnosu na isporuku
- Prostorno-vremenska fleksibilnost dostave
- Statističke analize prometa
- Operativna kontrola uručenja
- Tumačenje Direktive od strane operatora
(za europski poštanski promet)

Naročito kod davatelja univerzalnih usluga, svi poštanski uredi nemaju dostavna područja. Određene pristupne točke se koriste radi poštivanja regulatornih propisa o gustoći prema broju stanovništva za obavljanje faze prijma. Model sustava dostave određuje model dostavnih rajona prema kojem se formiraju dostavni putevi poštunoša. Sustave dostave dijelimo na statičke i dinamičke. Statički sustavi prevladavaju, unutar istih dostavni rajoni i itinerari poštunoša su unaprijed definirani i nepromjenjivi. Primjeri statičkih sustava su prikazani slikom 5. Osim navedenih postoje potpuni i parcijalni decentralizirani statički sustavi dostave, ali se rijetko koriste. Više o takvim sustavima može se pronaći u literaturi.⁷

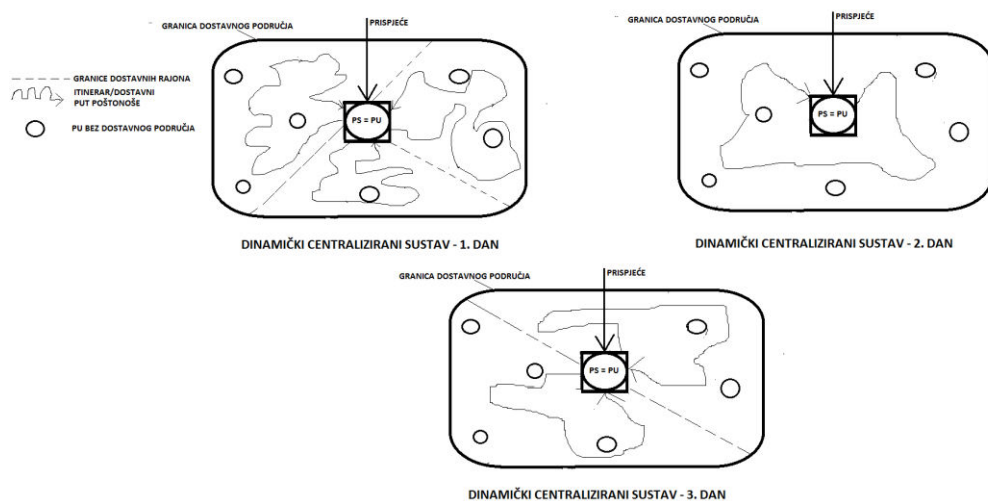
⁷ Bošnjak, I.: Tehnologija poštanskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999., str.171



Slika 5. Statički sustavi dostave

Izvor: izradio autor

Kod dinamičkih sustava itinerar poštunoše je različit svakodnevno, ovisno primarno o lokaciji primatelja. Svaki tip statičkog sustava može biti modeliran kao dinamički sustav bez promjene osnovne strukture dostavnog područja, odnosno nadležnog područja odredišnog poštanskog središta. Primjer centraliziranog dinamičkog sustava dostave nalazi se na slijedećoj slici.



Slika 6. Primjer dinamičkog sustava dostave

Izvor: izradio autor

Tri su skupine razlikovnih obilježja koje utječu na uručenje: tip usluge operatora, tip naselja te tip geografskog područja. Kurirska usluga, s obzirom da ima najkraći rok prijenosa, je i najteža za organizaciju uručjenja. Ako davatelj nudi, osim kurirske, ekspresnu i/ili univerzalnu poštansku uslugu, poželjno je planirati integriranu dostavu zbog smanjenja ukupnih troškova omasovljavanjem pošiljaka uz adekvatnu kontrolu i poštivanje regulatornih propisa. Naselja se dijele na urbana i ruralna. Ruralna područja predstavljaju znatno veći problem zbog odnosa geografskog područja i strukture stanovništva koji žive na istom. Često se na određenom dostavnom rajonu nalazi mali broj stanovnika koji su udaljeni po par kilometara jedan od drugog. Zbog nepristupačnosti terena i rijetke naseljenosti planinska područja su, prema dostupnim izvorima, veći dostavni problem u odnosu na otoke, što dokazuje Hellenic Post izvješćem da 7% stanovništva u Grčkoj nema petodnevnu dostavu, primarno stanovnici planinskih područja.⁸

Sve poštanske pošiljke ne prolaze kroz kompletni tehnološki proces, ali sve moraju biti zaprimljene i uručene. Prijam ima važnu ulogu u prepoznavanju primatelja i adekvatnom usmjeravanju pošiljke prema odredišnom dostavnom poštanskom uredu. Usklađeni rad unutar svih faza kroz koje pošiljka prolazi prije uručjenja uvjetuje predviđeno vrijeme prijenosa informacije. Prilikom poboljšanja kvalitete poštanskih usluga samom optimizacijom faze uručjenja ne znači nužno da će usluga biti obavljena u kraćem vremenskom roku ako ostale tehnološke faze nisu usklađene. Sinergija svih faza stoga čini važan čimbenik kako uručjenja, tako i kompletnog tehnološkog procesa.

Baza adresa je osnovni resurs pošte. U odnosu na popise stanovništva, koji se primjerice u Hrvatskoj rade svakih deset godina, davatelj univerzalnih poštanskih usluga pet dana u tjednu provjerava na cjelokupnom zemljopisnom području dostupnost svih stanovnika. Ažurni podaci o primateljima u situacijama kao što je slanje pošiljke dostavom kada određena pravna osoba ima pretinac u poštanskom uredu ili nadoslanje na novu adresu (engl. *remailing*) zbog preseljenja primatelja na novu adresu su nužni radi smanjenja pošiljaka koje se moraju uručivati dvaput i samim time povećavaju ukupne operativne troškove.

Obradom korisničkih zahtjeva tehnolog poštanskog prometa može donijeti zaključak da, bez obzira na sve veći rast skupnih kovčežića, poštanskih automata i

⁸ Project team Universal Service of CEPT, Implementation Guide Universal Service, str. 25

slično korisnici i dalje žele osnovno – dostavu na kućnu adresu. Kao prilog tome, u prošlosti je 2/3 pošiljaka uručivano isporukom, a 1/3 dostavom. Danas je taj odnos obrnut u korist kućne dostave.

Fizičke osobe danas imaju različite radne smjene koje više nisu fiksnih termina. Za očuvanje povjerenja i prilagodbu suvremenim potrebama korisnika davatelji poštanskih usluga moraju ponuditi prostornu-vremensku fleksibilnost uručjenja pošiljaka. Barem dvije opcije primatelji moraju imati na raspoložanju što se tiče mjesta uručjenja, od kojih jednu čini dostava na kućnu adresu, a drugu isporuka preko šaltera, poštanskih 0/24 automata ili u prostorijama koji nisu primarno zadužene za poštansku uslugu, ali sporazumno je moguće uručiti pošiljke na tim lokacijama (benzinske postaje, lokalne trgovine ili druge prostorije poznate i usput korisnicima). Vrijeme uručjenja bi, primarno važno zbog očuvanja kvalitete dostave na kućnu adresu, također trebalo biti ponuđeno kroz dvije opcije, primjerice jutarnju oko 9 i poslijepodnevnu oko 16-17 sati. Jedan od pristupačnijih način provjere odgovarajućeg vremena jest slanje SMS poruke primatelju sa ponuđenim opcijama dostave. Većina korisnika redovito provjerava svoje obavijesti, a premda nekad nisu u mogućnosti odgovoriti na poziv za odgovor na SMS poruku potrebno je nekoliko sekundi, a takva telekomunikacijska usluga s ekonomskog aspekta davatelju dugoročno može biti isplativa povećanjem kvalitete i % uručivosti pošiljaka.

Vođenjem statistike o primateljima, njihovim preferencijama kroz tipove i broju pošiljaka koje primaju na tjednoj, mjesečnoj i godišnjih razini te rudarenjem podataka (engl. *data mining*) poštanski operator može prikupiti značajne informacije i predviđati potražnju, promet i optimizirati sustav za buduće razdoblje. U poštanskom prometu na godišnjoj razini postoje vršna opterećenja u ljetnim mjesecima i za vrijeme blagdana kada najveći broj pošiljaka prolazi kroz prometne tokove. Analizom podataka, osim u smislu optimizacije ljudskih resursa, važno je usporediti kapacitete poštanskog ureda, samog poštunoše, prijevoznih i ostalih tehničkih sredstava u odnosu na broj pošiljaka koje treba pripremiti, te potom i uručiti.

Operativnom kontrolom uručjenja poštanski tehnolog prati proces od početka do kraja i uspoređuje planirani tijek istog u odnosu na realno stanje na prometnicama. Pravilnom i organiziranom kontrolom moguće je na vrijeme reagirati u slučaju nepredviđenih situacija i pronaći odgovarajuću alternativu.

Poštansku Direktivu operateri univerzalne usluge diljem Europe tumače različito kroz dva čimbenika: frekvenciju dostave i razloge iznimki za dostavu. Većina

operatora obavlja petodnevnu dostavu, ali postoji deset zemalja (Švicarska, Njemačka, Velika Britanija, Turska, Norveška, Malta, Latvija, Francuska, Danska i Belgija) koji nude šestodnevnu dostavu. No jedino Latvija od svih davatelja, računajući i one s petodnevnom dostavom, dostavlja poštu više nego jednom dnevno na cjelokupnom teritoriju države. Primjerice u Estoniji je ova usluga dostupna jedino u urbanim područjima, a u Poljskoj je operativna odluka lokalnih menadžera određenih područja. U devet država je NRA primijetio razlike u frekvenciji dostave u urbanim i ruralnim područjima. Svaka država Europske unije ima korisnike koji nemaju petodnevnu dostavu i smatraju se iznimkama u dostavi. Razlozi variraju od države do države i mogu biti geografski, sigurnosni zbog neprohodnih prometnica, demografski – rijetko naseljena područja, ekonomski, a u određenim država i povijesni – tradicija i navike korisnika. Većinom se na područjima takvih korisnika nalaze izdvojeni instalirani skupni kovčežići.

Dodatni čimbenici koji mogu uvjetovati kvalitetu uručjenja su educiranost dostavljača, tip primatelja s obzirom da su fizičke osobe globalno više udaljene jedan od drugog nego pravne koje su najčešće u poslovnim kompleksima, kod davatelja univerzalnih usluga uručjenje neprioritetnih pošiljaka čiji rokovi nisu propisani Direktivom i postupak s pošiljakama koje su predane na prijenos od strane drugih davatelja pristupom mreži (engl. *outsourcing*) te kultura i navike primatelja na imenovanom dostavnom području.

3. PRIMJENA MATEMATIČKIH METODA

Matematičke metode u prometu čini skup više znanstvenih disciplina kao što su operacijska istraživanja, klasična matematika, teorija grafova i teorija odlučivanja. Za dobro strukturirane probleme moguće je definirati model i egzaktnom metodom postaviti skup „dobrih rješenja“ unutar kojih se, ovisno o traženim parametrima, traži optimalno rješenje.

Optimizacija predstavlja određivanje vrijednosti promjenjivih veličina (varijabli odlučivanja) uz unaprijed definirana ograničenja (uvjete) sa svrhom dostizanja optimalne/najpovoljnije vrijednosti funkcije cilja kroz kriterij: maksimalnu korisnost ili minimalni trošak resursa. Osim jednog, kriterij optimizacije može činiti i minimiziranje jednih vrijednosti uz istovremenu maksimizaciju drugih. Grana matematike koja se bavi takvim tipom optimizacije realnih sustava naziva se linearno programiranje.

$$f(x) = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad f(x) - \text{funkcija cilja (min ili max)}$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad x_1, x_2, \dots, x_n - \text{varijable odlučivanja}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \quad b_1, b_2, b_3 - \text{ograničenja (uvjeti)}$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \dots + a_{3n}x_n = b_3$$

Tipičan primjer u prometu predstavlja transport istovrsne robe iz više ishodišta u više odredišta, u literaturi nazvan klasični problem transporta.⁹ Ishodišta i odredišta imaju unaprijed definiranu ponudu i potražnju količine robe zajedno sa jediničnom cijenom (C_{nn}) transporta, prikazane tablicom 2.

Tablica 2. Primjer klasičnog problema transporta

ISHODIŠTA	ODREDIŠTA				PONUDA
	O1	O2	O3	O4	a_j
I1	$C_{11}=5$	12	1	4	30
I2	7	8	14	6	25
I3	15	4	2	7	35
POTRAŽNJA b_j	10	20	20	40	90

Izvor: [10], datum preuzimanja: 22.04.2015.

Nepoznate su količine robe koje će se prevoziti na svakoj I_n - O_n liniji. Cilj optimizacije je, s obzirom na jediničnu cijenu transporta, svu robu prebaciti u tražena

⁹ Pašagić, H.: Matematičke metode u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003., str.2

odredišta i zadovoljiti potražnju uz minimalne troškove. Za primjer matematički model glasi:

$$f(x) = \min(5x_{11} + 12x_{12} + x_{13} + 4x_{14} + 7x_{21} + 8x_{22} + 14x_{23} + 6x_{24} + 15x_{31} + 4x_{32} + 2x_{33} + 7x_{34})$$

uz ograničenja:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 30$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 10$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 25$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 20$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 35$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} = 20$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} = 40$$

U poštanskom prometu ne radi se o prijevozu istovrsne robe. Svaka pošiljka je jedinstvena i stoga ovaj pristup ne pridonosi poboljšanju kako uručenja tako i ostalih tehnoloških faza. Broj varijabli koje utječu na sustav uručenja je prilično velik te je formiranje modela uručenja kao problema klasičnog transporta kompleksno i vremenski neisplativo.

Tri su elementa koji se mogu optimizirati unutar poštanske mreže: tokovi, kapaciteti i topologija. Sloboda optimizacije topologije mreže je ograničena već postojećim lokacijama prometnica, ostalih zgrada, regulatornim propisima i slično. Kapaciteti davatelja su relativno fiksni na godišnjoj razini stoga veća maksimizacija produktivnosti ili minimalizacija troškova nije moguća. Tokovi uručenja pošiljaka mogu biti fiksni ili adaptivni ovisno o planu usmjeravanja pošiljaka, opterećenju ili prioritetima i čine obećavajuću priliku za optimizacijom i poboljšanjem kvalitete.

Matematičke metode se dijele u četiri skupine:

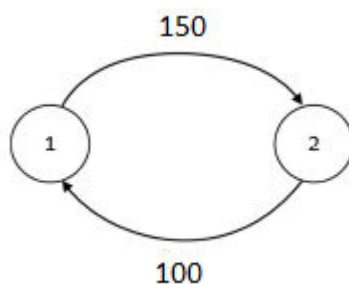
- Analitičke – pronalazak rješenja u „zatvorenom“ obliku
(primjer izračun površine teretnog prostora prijevoznog sredstva)
- Numeričke – prijevod problema u matematički jezik – linearno, nelinearno, cjelobrojno, stohastičko i dinamičko programiranje, teorija grafova
- Matematičko-statističke – modeli vjerojatnosti, deskriptivne i inferencijalne statistike, podvorbeni modeli
- Približne (aproksimativne) – koriste se kada analitičke metode nisu dostupne/moguće.

Teorija grafova je znanstvena disciplina i grana matematike koja svoju primjenu značajno pronalazi i u prometnim sustavima. Jednostavnost strukture grafa omogućava da praktičan problem dostave unutar tehnološke faze uručenja preslikamo u graf i primijenimo dokazane teoreme i algoritme za itinerar poštunoše

po dostavnom rajonu. Dio ili cjelokupnu poštansku mrežu, radilo se o europskoj poštanskoj mreži, dostavnom području poštanskog ureda ili dostavnom rajonu moguće je prikazati korištenjem grafa.

Graf je skup čvorova (vrhova, čvorišta) i međusobnih linija (grana, veza, bridova). Ako linija x povezuje čvor a i čvor b nalazeći se između istih, kaže se da su a i b susjedni i incidentni liniji x , te da je x incidentan čvoru a i čvoru b . Broj linija koje su incidentne čvoru naziva se stupnjem ili valencijom vrha. Ako je početno-završni čvor linije isti, takvu liniju nazivamo petljom. Ako su dva čvora povezana sa dvije ili više linija takve linije nazivamo višestrukima.

Linije mogu biti usmjerene (jednosmjerne i dvosmjerne) ili neusmjerene. Ako su sve linije u grafu usmjerene, tada takav graf zovemo usmjereni graf (digraf), u suprotnom se radi o neusmjerenom. U usmjerenom grafu, u slučaju dvosmjerne linije, dva smjera se računaju posebno kao dvije jednosmjerne, obrnute linije. Realna je prometna situacija da put u jednom smjeru između dvije lokacije (čvora) nije jednak ovisno o smjeru kretanja.



Slika 7. Zapis dvosmjernog težinskog grafa

Izvor: izradio autor

Grafovi se dijele na jednostavne, multigrafove i pseudografove. Jednostavni graf je graf koji ne sadrži petlje ni višestruke bridove. Multigraf je graf koji „dozvoljava“ višestruke bridove, ali „ne dozvoljava“ petlje. Pseudograf je (multi)graf koji „dozvoljava“ višestruke petlje.¹⁰

¹⁰ Carić, T: Optimizacija prometnih procesa, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2013., str.6



Slika 8. Tipovi grafova

Izvor: [5]

Datum preuzimanja: 22.04.2015.

Kada se svakoj liniji pridruži nenegativna vrijednost graf postaje težinski. Vrijednost linije može označavati udaljenost, vrijeme, jedinični trošak, količinu, kapacitet, ovisno o strukturi problema. Težinska vrijednost koristi se za kreiranje matričnog prikaza grafa matricom susjedstva. Osim matricom susjedstva, graf je moguće prikazati i matricom incidencije te matricom veza.

Cilj korištenja teorije grafova je pronalaz najkraćeg puta kroz mrežu. Jedan čvor se definira kao početni, te se raznim algoritmima traži optimalno rješenje prolaska do određenog čvora ili svim čvorima/svim linijama te povratak u početni (ovisno o algoritmu i značajkama grafa).

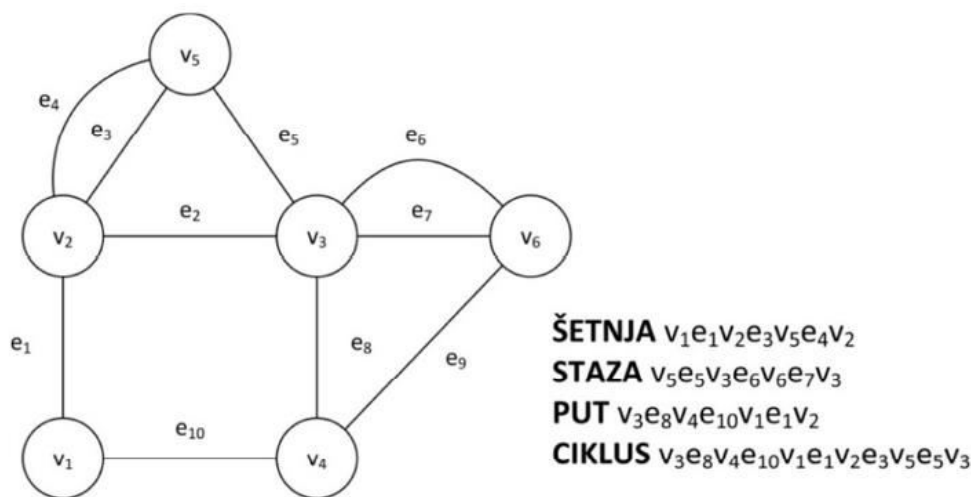
Gibanje po grafu definirano je sa četiri osnovna pojma:

Šetnja – kronološki niz čvorova i linija, npr. $W = v_0 e_1 v_1 e_2 v_2$

Staza – ako su sve linije različite u šetnji, W se naziva stazom

Put – ako su sve linije i čvorovi različiti u šetnji

Ciklus – ako su sve linije i čvorovi različiti osim početno-završnog



Slika 9. Gibanje po grafu

Izvor: [5]

Datum preuzimanja: 22.04.2015.

Dvije su mogućnosti prikaza dostavnog područja poštanskog ureda u obliku grafa poštanske mreže:

- Linije predstavljaju ulice, a čvorovi tranzitne točke između ulica (raskrižja) → za statičke dostavne rajone
- Čvorovi predstavljaju adrese primatelja, skupne i obične (za prijam) poštanske kovčežice, a linije ulice koje ih povezuju → za dinamičke dostavne rajone

Linije na rajonu mogu biti dvosmjerne ili jednosmjerne. Više o modeliranju i optimizaciji rajona je u poglavlju 6.

Određeni algoritmi matematički pronalaze rješenja najkraćeg prolaska kroz graf između čvorova. Nastavkom su spomenuti samo neki, a više ih se može pronaći u literaturi.¹¹

3.1. DIJKSTRIN ALGORITAM

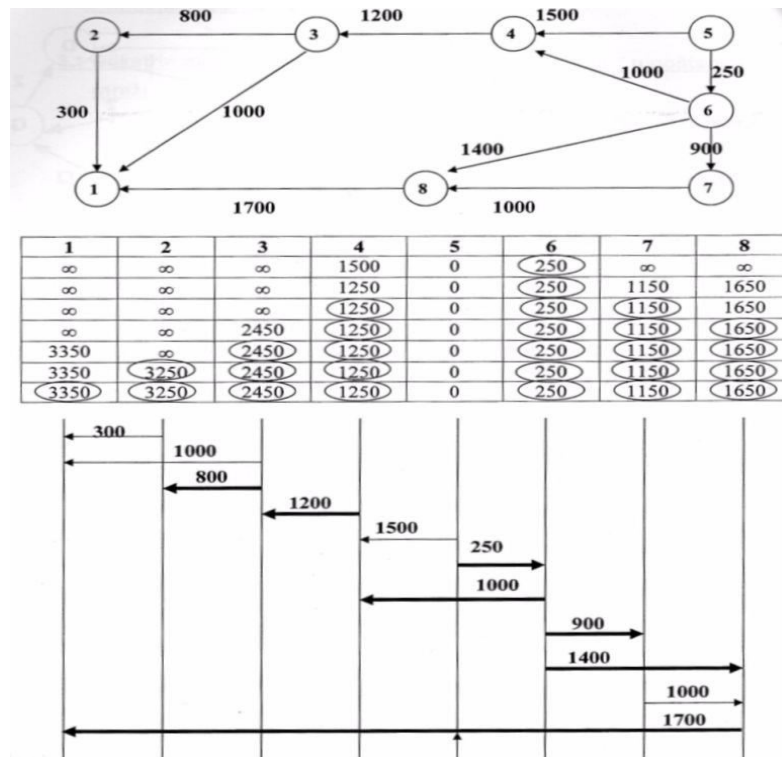
Nizozemski znanstvenik Edsger Wybe Dijkstra 1956. godine osmislio je algoritam koji pronalazi najkraći put između dva čvora definirana kao početni/završni u mreži ili početnog čvora prema svim ostalima. Jednim izvršenjem algoritma moguće je pronaći oba rješenja. Algoritam se izvršava kroz četiri koraka:

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Shortest_path_problem

1. Definirati početni čvor i dodijeliti mu indeks 0 - nulta udaljenost
2. Otvoriti jedan od susjednih čvorova, dodijeliti mu privremeni indeks ovisno o udaljenosti, drugi čvorovi su i dalje „nepoznati“
3. Postupno otvarati sve druge čvorove i provjeravati indekse, u slučaju pronalaska manje udaljenosti do već definiranog čvora, promijeniti indeks – traži se *minimalni* stalni indeks za svaki čvor.
4. Ispisati put do završnog čvora/čvorova

Svaka linija između čvorova određena je težinskom vrijednosti koja može predstavljati različite vremensko-prostorne čimbenike ovisno o strukturi problema. Put između definiranih početno-završnih čvorova se može sastojati od jedne ili više linija.

Dijkstrin algoritam je primjenjiv kod uručenja kurirske pošiljke ili žurne dostave. Završni čvor predstavlja adresu ili ulicu primatelja, a početni čvor može biti adresa pošiljatelja ili definirana tranzitna točka prikupljanja pošiljaka ovisno o organizaciji tehnološkog procesa davatelja. Primjer izvođenja algoritma je na slijedećoj slici i minimalne udaljenosti od čvora 5 do svih drugih čvorova – primjerice jedan dan primatelj može biti čvor 4, a drugi čvor 1 itd.



Slika 10. Dijkstrin algoritam

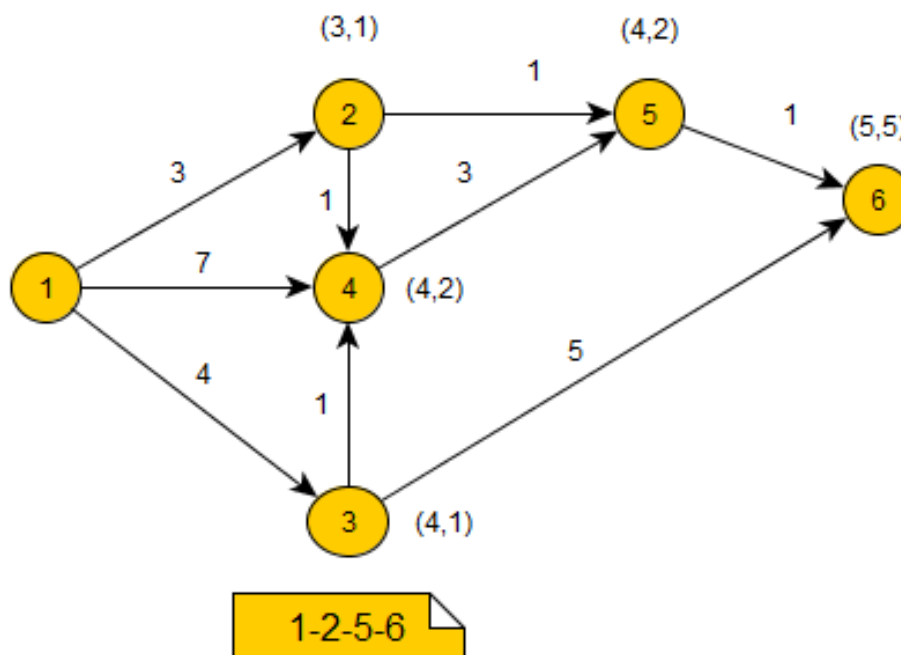
Izvor: [8]

Datum preuzimanja: 23.04.2015..

3.2. BELLMAN-FORDOVA METODA

Najčešće se čvorovi numeriraju tako da svaki čvor dobije broj nakon svojih prethodnika. Za Dijkstrin algoritam to nije nužno premda se i prilikom izvođenja tog algoritma radi jednostavnosti, a i zbog činjenice da se kod realnih prometnih problema radi o usmjerenim grafovima, napravi isto. Za korištenje Bellman-Fordove metode nužno je čvorove numerirati na način da ni jedan čvor ne nosi redni broj manji od čvora koji dovodi liniju u isti, znači metoda je primjenjiva samo na usmjerenim grafovima. Koraci metode su:

1. Početni čvor označiti sa vrijednosti 0
2. Postupno otvarati i etiketirati svaki čvor
(min.udaljenost od početnog čvora, broj prethodnog čvora)
3. Ispis najkraćeg puta.



Slika 11. Bellman-Fordova metoda

Izvor: [10]

Datum preuzimanja: 23.04.2015.

U usporedbi sa Dijkstrin algoritmom Bellman-Fordova metoda daje iste rezultate, ali na pojedinim usmjerenim grafovima koji imaju manje čvorova brže se dođe do optimalnog rješenja.¹²

¹² Hübler, A., Kletter, R., Werner G.: Shortest path algorithms for graphs of restricted In-Degree and Out-Degree, Journal of Information Processing and Cybernetics, 1982., str. 143

3.3. PROBLEM KINESKOG POŠTARA

Prethodni algoritmi su korisni kod određivanja najkraćeg puta za jednu poštansku pošiljku. Kod univerzalne i ekspresne poštanske usluge poštonoša iz početne lokacije mora dostaviti veći broj pošiljaka na više lokacija. Ako se radi o statičkim/stalnim dostavnim rajonima poštonoša svakako mora proći kroz sve ulice bez obzira ima li pošiljke za iste. Problem itinerara poštonoše kako bi obišao sve ulice, vratio se u poštanski ured i pritom prešao što manji put naziva se problem kineskog poštara, prema kineskom matematičaru Kwan Mei-Ko koji je prvi proučavao takav matematički problem 1962. godine.

Za razliku od Dijkstrin algoritma i Bellman-Fordove metode, problem kineskog poštara se bavi rješavanjem neusmjerenog grafa. To znači da svakom linijom poštonoša mora imati mogućnost proći od jednog čvora do drugog u oba smjera, koja moraju biti jednake težinske vrijednosti.

Za rješavanje problema kineskog poštara potrebno je razumjeti slijedeće teoreme i definicije:

Teorem 1. Povezan graf je Eulerov¹³ ako su mu svi čvorovi parnog stupnja – incidentni sa parnim brojem linija. Povezan graf je graf u kojem za svaka dva čvora postoji linija iz jednog u drugi.

Teorem 2. U svakom je grafu broj čvorova neparnog stupnja je paran broj.

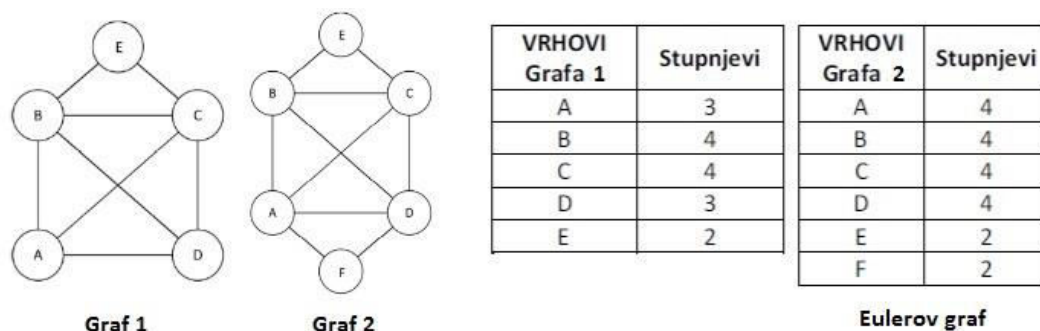
Definicija 1. Eulerova staza Eulerovog grafa je staza koja prolazi svakom linijom i sadrži svaku liniju točno jednom.

Definicija 2. Eulerova tura je zatvorena Eulereva staza

Definicija 3. Graf G je Eulerov ako dopušta Eulerovu turu.

Ako svaki čvor ima paran broj incidentnih linija (parni stupanj), graf je Eulerov, najkraći put prolaska svim linijama je Eulerova tura – zatvorena Eulerova staza, te je moguće posjetiti svaku liniju samo jednom i vratiti se u početni čvor. Najkraći put čini zbroj težinskih vrijednosti svih linija. U slučaju da graf nije Eulerov, poštonoša će za prolazak svim linijama morati kroz određene linije proći više puta.

¹³ Leonhard Euler, prvi znanstvenik koji je prikazao geografske lokacije i poveznice kao „graf“.



Slika 12. Određivanje Eulerovog grafa

Izvor: [5]

Datum preuzimanja: 23.04.2015.

Kod problema kineskog poštara linije predstavljaju ulice, a čvorovi mjesto gdje poštomoša prelazi iz jedne ulice u drugu (raskrižje). U slučaju kada određeni čvor ili čvorovi nemaju paran broj incidentnih bridova potrebno ih je „pretvoriti“ u parne dodavanjem umjetnih bridove. Na taj način graf postaje Eulerov i moguće je prolaskom kroz graf vratiti se u početni čvor.

Teorem 2. može se dokazati na slijedeći način: svaka linija ima dva kraja, i čini dva stupnja nekih čvorova. Broj stupnjeva je dvostruki broj linija u grafu, a dvostruki broj parnih i/ili neparnih linija je uvijek paran broj. Kako broj stupnjeva mora biti paran, broj čvorova sa neparnim stupnjem je uvijek 2, 4, 6 itd., što se može vidjeti i na slici 11. Navedeni teorem je bitan zbog broja mogućih povezivanja čvorova neparnih stupnjeva dodavanjem umjetnih linija.

Tablica 3. Broj čvorova neparnog stupnja u odnosu na broj mogućih povezivanja

Broj čvorova sa neparnim stupnjem	Broj mogućih povezivanja parova čvorova umjetnim linijama
2	1
4	$3 \cdot 1 = 3$
6	$5 \cdot 3 \cdot 1 = 15$
8	$7 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 1 = 105$
n	Umnožak svih neparnih brojeva koji prethode n.

Izvor: [6], datum preuzimanja: 23.04.2015.

Povezivanjem čvorova neparnih stupnjeva graf postaje Eulerov te ga je moguće riješiti. Broj mogućih povezivanja otkriva broj kombinacija i ovisno o odabranoj moguće je optimizirati itinerar poštunoše. Kriterij koju kombinaciju odabrati je minimalna težinska vrijednost između dva čvora sa neparnim stupnjem. Algoritam koji rješava problem kineskog poštara sastoji se od slijedećih koraka:

1. Prebroji sve čvorove neparnog stupnja
2. Prebroji sva moguća povezivanja parova čvorova neparnog stupnja
3. Pronađi povezivanje vrhova s najmanjom težinskom vrijednosti umjetnih linija (težinska vrijednost umjetne linije mora biti jednaka stvarnoj – neusmjereni graf)
4. Na originalni graf dodaj odabrane umjetne bridove – kreiraj Eulerov graf
5. Kreiraj Eulerovu turu - put
6. Ispiši put i ukupnu težinsku vrijednost ture – zbroj težinskih vrijednosti svih linija

Ako se radi o grafu koji je sam po sebi Eulerov, algoritam kreće od koraka 5. Graf koji je Eulerov je idealan za rješavanje problema kineskog poštara.

3.4. PROBLEM TRGOVAČKOG PUTNIKA

Za razliku od problema kineskog poštara koji postavlja pitanje: „Kako obići sve linije na grafu i vratiti se u početni čvor?“ problem trgovačkog putnika stavlja obrnuti fokus: „Kako obići sve čvorove samo jednom i vratiti se u početni?“, uz uvjet prelaska minimalnog puta te da se od svakog čvora može doći direktno do svakog drugog čvora (ne preko drugog). Problem se smatra NP-teškim (engl. *Non-deterministic Polynomial-time hard*) problemom jer bi pronalazak egzaktnog matematičkog rješenja i uz računalnu pomoć jako dugo trajao. I kod ovog problema postoje definicije, prema autoru problema, matematičaru Williamu Rowanu Hamiltonu:

Definicija 1. Hamiltonov put na grafu je put koji posjećuje jednom sve čvorove.

Definicija 2. Hamiltonov ciklus na grafu je ciklus koji posjećuje jednom sve čvorove i završava u početnom čvoru.

Definicija 3. Graf se smatra Hamiltonov ako sadrži Hamiltonov ciklus.

Direktna veza između Eulerovog i Hamiltonovog grafa nije dokazana. U općenitom slučaju broj mogućih ciklusa u grafu je: $(n-1)!$. To znači da primjerice ako se radi o pet čvorova, broj mogućih ciklusa je $4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$ ciklusa. Postoje detaljnije varijacije, primjerice ako Hamiltonov graf se prikaže težinskom matricom susjedstva

te ista poprimi zrcalni oblik po dijagonali (gornji i donji trokut su obrnuto preslikani) onda je broj ciklusa $(n-1)!/2$. Općeniti slučaj također se postavlja kao neusmjeren graf, što znači da je put između dva čvora jednak u oba smjera.

Primjenjivost problema trgovačkog putnika prilikom uručenja poštanskih pošiljaka je u drugačijem aspektu razmatranja dostave. Ako bi čvorovi predstavljali adrese primatelja, skupne i obične poštanske kovčežiće (za istovremeno obavljanje prijma), pod uvjetom da se od svakog čvora može doći do svakog drugog kroz jedinstvene linije, onda je moguće na taj način modelirati dinamičke dostavne rajone i tražiti optimalan - najkraći put.

Zaključno, primjena matematičkih metoda daje optimum. Ali, često se od matematičkih metoda odustaje zbog neprihvatljivog vremena rješavanja problema, lošu strukturiranost realnog problema i nemogućnost adekvatne transformacije u matematički jezik i nedostatka ili nepouzdanosti dobivenih podataka. Većina realnih problema, tako i problem uručenja u poštanskom prometu, su kompleksne strukture s većim brojem raznih ograničenja što dovodi do nemogućnosti formuliranja preciznog matematičkog modela. Problemi iz prakse sadrže i određenu dozu vanjskih utjecaja, vjerojatnosti, subjektivnih odluka – čovjek (radnik, korisnik) je i dalje osnovna utjecajno-interesna skupina u poštanskom prometu, zadovoljavanja više od jednog traženog cilja. Stoga se u većoj mjeri koriste metode navedene u nadolazećem poglavlju koje nisu optimalne, ali su blizu istih i u prihvatljivom vremenskom roku daju približno dobro rješenje.

4. PRIMJENA HEURISTIČKIH METODA

Sredinom šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, prateći razvoj računalstva i operacijskih istraživanja kao posebnog podpodručja matematike, razvile su se heuristike - alternativne metode rješavanja realnih nestrukturiranih problema. Za razliku od matematičkih heurističke metode ne garantiraju optimalno rješenje jer ne koriste klasične, formalne procedure rješavanja već implementacijom pravila baziranoj na logici i intuitivnom razmišljanju, oponašajući ljudsko mišljenje i iskustvo brže dolaze do rješenja.

Naziv „*heuriskein*“ preuzet iz grčkog jezika znači „pronaći, otkriti“. Poznati uzvik „Eureka“ grčkog fizičara Arhimeda predstavlja prošlo vrijeme istog glagola.¹⁴ Premda nesvjesno, heuristike koristimo svakodnevno. Prilikom planiranja putovanja u inozemstvo, odlaska do centra grada, na posao i slično odluku o odabiru puta, prijevoznog sredstva i vremena polaska donosimo bez proračuna, analitičkih metoda ili formulacija/strukturiranja matematičkog problema. Takvu odluku donosimo korištenjem logičnih, zdravorazumskih procjena. Na istom principu se temelje heurističke metode.

Da bi procjena postala metoda ipak je potrebno definirati sustavni postupak kako bi pojedini problem postao rješiv korištenjem računala. Kao tip tehničke metode heuristika pokušava otkriti neka „dobra, prihvatljiva rješenja“ koja su bliska optimalnom. Svoju osnovnu prednost u odnosu na matematičke metode predstavljaju u razumnom vremenu dolaska do rješenja. U prometu i logistici svakodnevno se javljaju realni, posebni, loše strukturirani problemi koji traže brzo rješenje, a heuristike imaju sposobnost ponuditi prihvatljivo rješenje. Nedostatak metoda je u činjenici da ne postoji garancija da će ponuđeno rješenje biti optimalno i samom metodom se ne može odrediti koliko je rješenje blizu optimalnog. Premda su u početku bile podcijenjene, danas inteligentno postavljene heuristike imaju mogućnost ponuditi zadovoljavajuća rješenja koja naknadnom analizom mogu biti uspoređena kao vrlo bliska optimalnom.

Osnovni kriteriji koje metoda treba zadovoljiti su jednostavnost, razumljivost, robusnost (otpornost na minimalne promjene parametara tako da cjelokupno rješenje nije drastično drugačije), interaktivnost u smislu utjecaja korisnika na proces

¹⁴Stanković, R.: Logistika i transportni modeli, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014., str. 6

donošenja rješenja, mogućnost stvaranja više od jednog „dobrog“ rješenja i interoperabilnost sa geografskim informacijskim sustavom (GIS).

GIS je računalni sustav korišten za kreiranje, spremanje, analizu, izmjenu i prikaz geografskih čvorova i linija sa pridruženim važnim informacijama ovisno o potrebi. Sustav omogućava korisniku stvaranje upitnika za pretraživanje geografskih prostornih lokacija kroz tražene informacije koje mogu biti naknadno uređivane/ažurirane. Kombinirano sa heurističkim metodama potencijalno se mogu stvoriti uštede prilikom odabira ukupnog broja prijevoznih sredstava, smanjenje ukupnih troškova goriva i vremena prijevoza.

Kao i kod matematičkih metoda definirani sustavni postupak se očituje u obliku algoritma. Svaki algoritam sadrži broj elementarnih operacija koje treba izvršiti. Algoritme možemo podijeliti na „dobre“ i „loše“ sa aspekta kompleksnosti računalnog rješavanja. Dobri algoritmi su tzv. polinomski, a loši nepolinomski (NP problemi, kao primjer naveden problem trgovačkog putnika u prošlom poglavlju). Ako je ukupan broj elementarnih operacija koje algoritam treba izvršiti primjerice $B = 3n^5 + 2n^3$, gdje n predstavlja broj čvorova, pojednostavljeno se kaže da algoritam zahtijeva za izvršenje n^5 vremena uz pretpostavku da svaka operacija zahtijeva 1 jedinicu vremena – sekunda, minuta ili sl. Algoritmi koji zahtijevaju n^x vremena se smatraju dobrim/polinomskim algoritmima, što je x manji – to je algoritam bolji s aspekta kompleksnosti računalnog rješavanja.

Loši/nepolinomski algoritmi imaju eksponencijalnu funkciju kompleksnosti računalnog rješavanja. To su algoritmi za čije izvršenje je potrebno X^n ili $n!$ vremena. Realni problemi su velikih dimenzija - velikog broja čvorova i linija, a heurističke metode efikasnije s obzirom na vremenski limit funkcioniraju kroz dobre, polinomske algoritme.

Heurističke metode se dijele u tri skupine:

- A. Konstruktivne heuristike
- B. Specijalne heuristike
- C. Opće heuristike/metaheuristike

4.1. KONSTRUKTIVNE METODE

Konstruktivne heuristike stvaraju samo jedno rješenje zadanog strukturiranog problema s ciljem bliskosti optimumu. Najčešće su jednostavne strukture i grade rješenje od samog početka odabirom i spajanjem dijelova u smislenu cjelinu. Konstruktivne metode se koriste za probleme s polinomskom funkcijom kompleksnosti rješavanja u odnosu na vrijeme. U većini slučajeva jednostavno je provjeriti da li konstruktivne heuristike daju dobre, približno optimalne rezultate. Dva su osnovna principa konstruktivnih metoda:

- Pohlepni (engl. greedy) pristup
- Iterativna lokalna pretraga

Pohlepni algoritmi dolaze do cjelovitog rješenja tako da u svakom koraku postupka dodjeljuju vrijednost jednoj varijabli odluke koje maksimalno (pohlepni odabir) doprinosi ukupnoj funkciji cilja, tzv. „lokalni optimum“. Nakon što je varijabli dodijeljena vrijednost, više se ista nikad ne mijenja. Prednosti algoritma se ističu kroz jednostavnost implementacije pravila za dodjelu vrijednosti varijablama, brzini i širokoj primjeni prema više problema. Osnovni nedostaci algoritma su nužnost izvođenja do kraja kako bi se došlo do konačnog rješenja i činjenici da lokalni optimum ne dovodi do „globalnog optimuma“. To znači da, premda sve varijable imaju maksimalnu vrijednost, ukupno rješenje nije nužno optimalno.

Iterativna lokalna pretraga je metoda koja pretražuje susjedne čvorove u grafu s ciljem pronalaska globalnog optimuma. Prednosti metode su jednostavnost, robusnost/otpornost i efikasnost. Temeljna ideja metoda jest da globalni optimum se potencijalno nalazi u blizini lokalnih optimuma i moguće ga je brzo pronaći. Potraga za rješenjima u blizini lokalnih optimuma kod susjednih čvorova na grafu naziva se intenzifikacija.¹⁵ Svakom ponovljenom pretragom/iteracijom metoda generira niz rješenja i prema zadanom kriteriju u odnosu na lokalni optimum popravljiva ukupno rješenje funkcije cilja.

Osnovni nedostatak metode jest da algoritam može završiti upravo u lokalnom optimumu kada se ne može pronaći rješenje koje daje bolju vrijednost funkcije cilja. Korištenjem operatora poboljšanja koji brišu određene bridove funkcije cilja (puta) između čvorova i prespajaju ih na drugačiji način te bijegom iz lokalnog optimuma

¹⁵ Carić, T: Optimizacija prometnih procesa, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2013., str.32.

popravlja se ukupno rješenje. Bijeg iz lokalnog optimuma se naziva diverzifikacijom gdje algoritam proceduralno i namjerno kvari ukupno rješenje kako kod slijedeće iteracije ne bi došlo do zaustavljanja algoritma u lokalnom optimumu. Modifikacija rješenja može imati i negativan učinak jer svjesnim kvarenjem rješenja moguće je da algoritam neće prepoznati globalni optimum u blizini lokalnog ili će ponovno završiti u jednom od lokalnih optimuma.

Općenito, konstruktivne metode se najčešće primjenjuju kao početna rješenja za rasprostranjenije i adekvatnije heurističke metode – metaheuristike.

4.2. SPECIJALNE HEURISTIKE

Specijalne heuristike se izrađuju za posebne optimizacijske probleme uvažavajući specifičnosti svakog. Svaki NP-teški problem ima barem jednu specijalnu heurističku metodu koja ga rješava, ali se ista ne može primijeniti za niti jedan drugi problem neovisno o sličnosti strukture istih. Pojavom heuristika stručnjaci su se u pravilu na početku najviše bavili ovim metodama.

Specijalne heuristike za svaki problem imaju posebnu funkciju cilja, poznatu i pod nazivom funkcija procjene ili funkcija heuristika. Funkcije heuristike su danas sastavni dio i svih algoritama baziranih na metaheurističkim metodama.

4.3. METAHEURISTIKE

Općenite heurističke metode koje se mogu primijeniti za više problema optimizacije, bez obzira na potencijalnu posebnost pojedinačnih struktura problema, nazivaju se opće heuristike ili metaheuristike. Zbog široke primjene popularnost metoda se značajno povećala kroz proteklih dvadeset godina i posvećena im je posebna pažnja naročito u procesu transporta.

Pojam metaheuristika je uveo Fred Glover 1986. godine nakon pojave prvih metoda početkom istog desetljeća. Proces metode počinje od potencijalnog rješenja najčešće dobivenog upravo od konstruktivnih heurističkih metoda kojeg zatim iterativno poboljšavaju. Metaheuristike nemaju jamstvo optimalnosti, a mogu se izvoditi kroz unaprijed definirani broj iteracija. Bitna značajka metaheuristika je korištenje strategije za pronalazak globalnog optimuma koje u pojedinim koracima dozvoljavaju prihvaćaju lošije funkcije cilja (iz specijalnih metoda) kako bi se metoda usmjerila na područje drugih dobrih rješenja i ostvario bijeg iz lokalnog optimuma. S obzirom da je vrlo često iterativna lokalna pretraga dio metaheurističke metode,

metaheuristike pokušavaju pronaći balans između dvije značajke: diverzifikacije i intenzifikacije.¹⁶ Pojednostavljeno, intenzifikacija istražuje područja grafa blizu lokalnih optimuma, a diverzifikacija istražuje što veći prostor na grafu u smislu potrage za globalnim optimumom koji može, ali i ne mora, se nalaziti u susjednom području lokalnog optimuma. Često su navedena dva mehanizma kontradiktorna što predstavlja i glavni nedostatak metaheurističkih metoda – stalna potreba za podešavanjem pojedinih parametara jer o tome ovisi efektivnost ukupnog rješenja.

Nadahnuće većina metaheuristika je pronašla u prirodnim optimizacijskim procesima gdje spoznaje iz istih implementiraju/simuliraju kao, primjerice, transportni problem. Različite su podjele metoda, a neke su prikazane tablicom 4.

Tablica 4. Podjela metaheuristika

Prema inspiraciji prirodnim procesom		Prema korištenju memorije	
<u>Inspirirane</u>	<u>Neinspirirane</u>	<u>Sa korištenjem</u>	<u>Bez korištenja</u>
Simulirano kaljenje (SK)	Greedy	Tabu pretraživanje (TR)	Iterativna lokalna pretraga (ILS)
Genetski algoritam (GA)	randomized	- kratkoročno	GRASP
Algoritam mravlje kolonije (ACO)	adaptive search procedure (GRASP)	- dugoročno	SK
Prema određenosti		Prema cjelokupnosti rješenja	
<u>Stohastičke</u>	<u>Determinističke</u>	<u>Osnova prema populaciji</u>	<u>Osnova prema pojedinačnom rješenju</u>
SK, GA, GRASP	TR, ILS	GA, ACO	ILS, SK

Izvor: [6], datum preuzimanja: 11.05.2015.

Prilikom izrade algoritma važna su dva koncepta: prikazivanje/kodiranje rješenja, kada se radi o problemima transporta najčešće se koristi vektor permutacija, te definiranje prikladne funkcije cilja, često preuzete i/ili prilagođene iz specijalnih heuristika za pojedini optimizacijski problem.

¹⁶ Carić, T: Optimizacija prometnih procesa, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2013., str.30.

4.3.1. SIMULIRANO KALJENJE

Simulirano kaljenje (engl. *Simulated annealing*) je jedna od prvih predloženih heurističkih metoda za rješavanje kombinatornih optimizacijskih problema. Temelji se na Metropolisovom algoritmu razvijenom pedesetih godina prošlog stoljeća za opis termodinamičkog procesa kaljenja. Kaljenje je proces toplinske obrade elementa čiji atomi zagrijani na visokoj temperaturi se gibaju. Naglim spuštanjem temperature atomi postaju „zarobljeni“ i formiraju određenu strukturu, tzv. energetske lokalni optimum. Sporijim i uravnoteženim hlađenjem/kaljenjem atomi imaju dovoljno vremena formirati pravilnu rešetkastu strukturu, drugim riječima energetske globalni optimum.

Opis termodinamičkog procesa može se prikazati i kao optimizacijski problem. Prikazivanjem stanja elementa kao izvedivog rješenja uz energetske lokalne i globalne optime gdje energija predstavlja funkciju cilja, implementaciju algoritma uz tumačenje naglog (brzog) spuštanja kao početno rješenje dobiveno konstruktivnom metodom i sporog hlađenja kao simulaciju kaljenja problem se „prevodi“ kao optimizacijski. Kod fizičkih elemenata podaci o svojstvima elemenata i optimalnim temperaturama su unaprijed poznati. Optimizacijski problem razmatra temperaturu kao osnovni „parametar“ koji kontrolira kaljenje što znači da će broj koji određuje parametar kaljenja u smislu početne i završne temperature, broj iteracija koje će algoritam izvršiti i odabir trenutka kada će završiti iste ključni za pronalazak kvalitetnog rješenja problema. Iz istih razloga simulirano kaljenje ima stalnu potrebu prilagodbe temperature posebnom optimizacijskom problemu što ujedno predstavlja i najveći nedostatak ove metode.

Pojednostavljeno, algoritam simuliranog kaljenja je prikazan pseudokodom na slici 13. Početno rješenje s uz definirani broj k iteracija formira početnu i završnu temperaturu T_0 i T_n . Nakon svake iteracije trenutno rješenje (put) s' po trenutnoj temperaturi T_i se uspoređuje sa susjednim rješenjem s'' i popravljiva funkcija cilja. Važan je termin „termodinamička ravnoteža“ kojim se lošija rješenja susjednih čvorova prihvaćaju na višim temperaturama češće radi diverzifikacije, a na nižim temperaturama rijetko, te na završnoj ne prihvaćaju zbog intenzifikacije. Funkcija koja određuje kada će susjedno rješenje biti prihvaćeno ili ne u pseudokodu nazvana *VjerojatnostPrihvatanja* predstavlja vjerojatnost određenu prema Boltzmannovoj distribuciji:

$$p = e^{-\frac{\Delta E}{T_i}} \quad \Delta E - \text{razlika u funkciji cilja trenutnog } s' \text{ i susjednog rješenja } s''$$

Vjerojatnost p se uspoređuje sa slučajno generiranim brojem vrijednosti između 0 i 1. Ako je slučajno generirani broj manji ili jednak p , rješenje se prihvaća i prenosi u drugu iteraciju. S većom temperaturom veće su šanse za prihvatanjem rješenja. Na kraju iteracije izvršava se funkcija za smanjenje temperature i kreće u novu. S obzirom da algoritam nema rezultate iz prošlih iteracija osim one sa najboljim rješenjem uz trenutnu, simulirano kaljenje spada u metaheurističke metode bez korištenja memorije.

```

1: procedure SA(s, n, k)
2:    $i \leftarrow 1$ 
3:    $T_0 \leftarrow \text{PocetnaTemperatura}(s)$ 
4:    $T_n \leftarrow \text{ZavrснаTemperatura}(s)$ 
5:    $T_i \leftarrow T_0$ 
6:    $s' \leftarrow s$ 
7:   repeat
8:     for  $j = 1 \rightarrow k$  do
9:        $s'' \leftarrow \text{SusjednoRjesenje}(s')$ 
10:      if  $f(s'') < f(s')$  then
11:         $s' \leftarrow s''$ 
12:      else
13:         $p \leftarrow \text{VjerojatnostPrihvatanja}(s', s'', T_i)$ 
14:        if  $\text{Random}(0, 1) \leq p$  then
15:           $s' \leftarrow s''$ 
16:        end if
17:      end if
18:    end for
19:     $i \leftarrow i + 1$ 
20:     $T_i \leftarrow \text{Ohladi}(i, n, T_0, T_n)$ 
21:  until  $\text{UvjetPrekida}(i, n, T_i, T_n)$ 
22:  return  $s'$ 
23: end procedure

```

Slika 13. Pseudokod algoritma simuliranog kaljenja

Izvor: [6]

Datum preuzimanja: 12.05.2015.

Četiri elementa utječu na modeliranje algoritma: određivanje početno-završnih temperatura, program/funkcija hlađenja, broj iteracija i funkcija cilja. Svaki element detaljnim jednadžbama poboljšava algoritam za pojedini problem, između ostalih i problem trgovačkog putnika.¹⁷ Nakon svake iteracije može se dodatno koristiti iterativna lokalna pretraga koja dovodi do boljih rješenja, ali vremenski može biti preduga ovisno o problemu.

¹⁷Galić, A.: Metaheurističke metode problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima, Master Thesis, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.

4.3.2. GENETSKI ALGORITAM

Evolucijski algoritmi predstavljaju poseban skup heurističkih metoda. Genetski algoritam bazira se na Darwinovoj teoriji evolucije koja kaže da robusnije jedinke prilagođene okolišu i općenito situaciji koja ih okružuje vjerojatnije će opstati, uz primjenu prirodnog procesa odabira. Prvi računalni programi koji su simulirali procese evolucije su nastali u šezdesetim godinama prošlog stoljeća, ali su svoju znanstvenu primjenu u tehničkim područjima kroz razne algoritme pronašli prije 30-ak godina.

Za razliku od simuliranog kaljenja koja traži susjedni put trenutno odabranog rješenja genetski algoritam pretražuje skup rješenja unutar jedne nasumično kreirane populacije. Pseudokod genetskog algoritma prikazan je slijedećom slikom.

```
1: procedure GA( $n, g, p_x, p_m, elitizam$ )
2:    $P \leftarrow GenerirajPocetnuPopulaciju(n)$ 
3:    $Evaluiraj(P)$ 
4:    $s_{min} \leftarrow Najbolji(P)$ 
5:   for  $i = 1 \rightarrow g$  do
6:      $P^* \leftarrow \emptyset$ 
7:     for  $j = 1 \rightarrow n$  do
8:       if  $Random() < p_x$  then
9:          $r_1 \leftarrow SelektirajRoditelja(P)$ 
10:         $r_2 \leftarrow SelektirajRoditelja(P)$ 
11:         $P^*[j] \leftarrow Krizaj(r_1, r_2)$ 
12:      else
13:         $P^*[j] \leftarrow SelektirajRoditelja(P)$ 
14:      end if
15:      if  $Random() < p_m$  then
16:         $Mutiraj(P^*[j])$ 
17:      end if
18:    end for
19:     $P \leftarrow P^*$ 
20:     $Evaluiraj(P)$ 
21:     $s \leftarrow Najbolji(P)$ 
22:    if  $f(s) < f(s_{min})$  then
23:       $s_{min} \leftarrow s$ 
24:    end if
25:    if  $elitizam = true$  then
26:       $P[IndeksNajgoreg(P)] \leftarrow s_{min}$ 
27:    end if
28:  end for
29:  return  $s_{min}$ 
30: end procedure
```

Slika 14. Pseudokod genetskog algoritma

Izvor: [6]

Datum preuzimanja: 13.05.2015.

Za primjer problema trgovačkog putnika iz skupine $(n-1)!$ odabere se definirani broj rješenja - jedinki i formira skup – populacija. Često se za formiranje populacije koristi pohlepni pristup. Najbolja jedinka se spremi u varijablu s_{min} . Algoritam kreira prazan skup P koji će spremati potomke najbolje jedinke nastale križanjem, mutiranjem ili kopiranjem. Križanje je operator koji dijelove (čvorove) roditelja iz istog skupa populacije spaja u novu jedinku i sprema u prazan skup P . Do križanja će doći ako je slučajno generirani broj manji od parametra p_x koji može poprimiti vrijednost u rasponu 0-1. U suprotnom slučaju nepromijenjena jedinka će se kopirati u skup P . Nepromijenjena jedinka ili jedinka nastala križanjem može mutirati ako slučajno generirani broj je manji od vjerojatnosti mutacije p_m . Mutacija služi kako nakon više izvršenja križanja algoritam ne bi išao prema lokalnom optimumu, sve jedinke nisu slične, odnosno pridonosi različitosti rješenja. Zatim algoritam evaluacijom provjerava da li je pronađena najbolja nova jedinka. Elitizam je pravilo koje odlučuje da li će svaki put najbolja jedinka se prenositi u novi skup, jer često nova jedinka dobivena križanjem sadrži lošije čvorove oba roditelja, a uporabom elitizma značajno se pridonosi intenzifikacija i smanjuje diverzifikacija. Premda elitizam ubrzava pronalazak lokalnog optimuma, pravilnom uporabom značajno može poboljšati ukupnu učinkovitost algoritma. Kod problema trgovačkog putnika rješenja se prikazuju u obliku vektora cijelih brojeva, a elementi vektora su indeksi čvorova, s tim da su početno-završni indeks na početku izostavljeni, a kasnije se postupkom kodiranja dodaju. Pet elemenata utječe na dizajn genetskog algoritma:

- ❖ Funkcija dobrote
- ❖ Selekcija jedinki
- ❖ Elitizam
- ❖ Križanje
- ❖ Mutacija

Funkciju dobrote čini ukupna težinska vrijednost linija koje povezuju čvorove redoslijedom zapisanim u rješenju. Koristi se za ocjenu kvalitete jedinki u populaciji jer u genetskom algoritmu, po tom kriteriju, samo najbolji opstaju. Po funkciji dobrote selekcijom odabiru se jedinke korištenjem rulet-metode ili turnirske selekcije. Elitizam najčešće uklanja jednu najlošiju jedinku u populaciji po iteraciji. Križanje se najčešće obavlja posebnim operatorima PMX (engl. *Partially Matched Crossover*), OX (engl. *Order-based Crossover*) ili CX (engl. *Cycle Crossover*). Za mehanizam mutacije koriste se mutacije premještanja i zamjene gena te inverzije dijela kromosoma.

4.3.3. ALGORITAM MRAVLJE KOLONIJE

Metoda simulacije ponašanja kolonije mrava u prirodi (engl. *Ant Colony Optimization*) je mlađa metoda u odnosu na prethodne dvije, nastala 1992. godine. U kratkom vremenu razvile su se različite varijante metode za specifične kombinatorne probleme od kojih su se pojedine pokazale izuzetno djelotvornima. Optimizacija mravljom kolonijom je dio metoda kolektivne inteligencije (engl. *Swarm intelligence*) koje se općenito temelje na ponašanju životinja.

Sve varijante rade na principu stigmergije. Stigmergija je oblik komunikacije između pojedinih jedinki životinja, kao što su mravi, pčele, termiti i sl., gdje jedinke ne komuniciraju izravno već ostavljanjem tragova. Korištenjem feromona - kemijske supstance (oblik, osnova materije) ostavlja se trag drugim jedinkama koji isti pronalaze te potom i slijede. Zoološka istraživanja su pokazala da je vrsta argentinskog mrava korištenjem feromona sposobna pronaći najkraći put između mravinjaka i mjesta hrane.

Osnovna ideja prilagodbe procesa ponašanja mravlje kolonije optimizacijskim problemima jest uporaba algoritma kroz kreiranje umjetnih mrava. Mravi pretražuju prostor grafa u svim smjerovima i ostavljaju feromone koji svakom iteracijom lagano isparavaju. Mravi koji pronađu kraći put na istom će ostaviti više feromona tako da će se kroz vrijeme na najkraćem putu nalaziti najveći broj feromona.

Izvorno, algoritam mravlje kolonije je primijenjen na problemu trgovačkog putnika i metoda je nazvana mravlji sustav (engl. *Ant System*). Za razliku od stvarnih, mravi stvoreni algoritmom imaju sposobnost pamćenja što znači da mogu određivati udaljenosti između pojedinih čvorova. Također u prirodnom procesu snaga feromonskog traga onemogućava mravima nova istraživanja i pronalazak novih linija, što ih neće spriječiti za pronalazak najkraćeg puta, ali u algoritmu mogu dovesti do preranog završetka u lokalnom optimumu.

Feromoni kao težinska vrijednost linija se prikazuju kroz $n \times n$ matricu gdje n označava broj čvorova, a pojedini element matrice količinu feromona na pojedinoj liniji $i-j$. Tri su varijante mravljeg sustava: *Ant-density*, *Ant-quantity* i *Ant-cycle*. Razlikuju se po načinu ažuriranja količine feromona na pojedinoj liniji. *Ant-density* između čvorova dodaje konstantnu količinu feromona, *Ant-quantity* obrnuto proporcionalnu težinsku vrijednost linija, a kod *Ant-cycle* metode količina se dodaje tek nakon mrav izradi put kao rješenje pri čemu se na svaku liniju dodaje količina

feromona obrnuto proporcionalna ukupnom prijeđenom putu. *Ant-cycle* metoda se pokazala najboljom iz razloga što matricu ažurira kao globalni optimum cijelog prijeđenog puta, dok druge dvije metode matricu ažuriraju ovisno o vrijednostima pojedine linije – kao lokalni optimum. Pseudokod *Ant-cycle* metode prikazan je slikom 15.

```

1: procedure AS( $n, i_{max}, \alpha, \beta, \rho$ )
2:    $mravi \leftarrow InicijalizirajAgente(n)$ 
3:    $\eta \leftarrow InicijalizirajMatricuUdaljenosti()$ 
4:    $S \leftarrow KonstruirajPocetnaRjesenja(n, \eta)$ 
5:    $\tau \leftarrow InicijalizirajMatricuFeromona(S)$ 
6:    $s_{min} = Najbolji(S)$ 
7:   for  $i = 1 \rightarrow i_{max}$  do
8:     for  $j = 1 \rightarrow n$  do
9:        $KonstruirajRjesenje(mravi[j], \tau, \eta, \alpha, \beta)$ 
10:      if  $f(mravi[j]) < f(s_{min})$  then
11:         $s_{min} \leftarrow mravi[j]$ 
12:      end if
13:    end for
14:     $Ispari(\tau, \rho)$ 
15:     $Azuriraj(\tau, mravi)$ 
16:  end for
17:  return  $s_{min}$ 
18: end procedure

```

Slika 15. Pseudokod Ant-cycle metode

Izvor: [6]

Datum preuzimanja: 14.05.2015.

Nakon što se odredi n broj mrava i matrica težinskih vrijednosti linija odredi se n rješenja dobivenih nekom od konstruktivnih metoda. Konstruktivna rješenja pokreću matricu feromona. Broj iteracija određen je parametrom i_{max} . U svakoj iteraciji mravi donose odluku djelomično bazirano na prethodnim iteracijama, a djelomično na svom „vidu“. Najbolje globalno rješenje sprema se u varijablu s_{min} . Nakon svake iteracije poziva se funkcija *Ispari* koja simulira smanjenje količine feromona parametrom ρ . Nakon izvođenja svih iteracija algoritam ispisuje najbolje globalno rješenje.

Elementi dizajna algoritma koji utječu na njegovu djelotvornost su procedura konstruiranja rješenja u svakoj iteraciji, funkcija inicijalizacije feromona uvjetovana konstruktivnom heuristikom, metoda ažuriranja feromona u matrici i proširenja osnovnog algoritma. Za potrebe problema trgovačkog putnika većih dimenzija

najznačajnije varijante proširenja su elitistički mravlji sustav, mravlji sustav temeljen na rangiranju, max-min mravlji sustav i sustav mravlje kolonije.¹⁸

4.3.4. USPOREDBA NA PRIMJERU PROBLEMA TRGOVAČKOG PUTNIKA

Težinska vrijednost linije kod problema trgovačkog putnika može biti udaljenost, vrijeme, trošak, količina, kapacitet i sl. Može se i koristiti primjerice udaljenost kao težinska vrijednost, a trošak i vrijeme kao dodatni kriteriji i parametri algoritma. Različite modifikacije problema dovode do prilagodbe algoritama i mogu dati različite rezultate, a problem postaje još kompleksniji ako se u problem trgovačkog putnika uključi više vozila, o čemu će više biti riječ u poglavlju 6. Takvi problemi imaju svoje posebne skupove i mogu se pronaći na slijedećoj poveznici.¹⁹ Prema podacima iz literature, za određene skupove problema svi prilagođeni algoritmi daju iste rezultate, dok za druge rješenja po algoritmu se razlikuju do 2%. Za probleme malih dimenzija odstupanje nužno ne znači velike promjene, no za organizaciju dostavnog područja većeg broja dostavnih rajona može ukupno imati puno veći utjecaj na operativne troškove.

Važno je napomenuti da nije uvijek jednostavno procijeniti da li problem uručenja treba rješavati matematički ili heuristički. Ako matematički model ne predstavlja dovoljno svoj original, globalni optimum će biti daleko od stvarnog, adekvatnog rješenja. Heuristike su znatno fleksibilnije, često pronalaze rješenja u prihvatljivom vremenskom roku, ali nema procjene o kvaliteti rješenja ili o vremenu izvršavanje metode pod nepovoljnim uvjetima, koji se mogu pojaviti naknadno pod utjecajem regulatornih, ekonomskih, političkih, ekoloških ili drugih vanjskih čimbenika.

Jedan od mogućih pristupa jest uručenje pošiljaka na malom geografskom području, uz mali broj primatelja i minimalizmom utjecajno-interesnih čimbenika postaviti matematičkim modelom i rješavati matematičkim metodama. Najčešće je takva „idealna“ situacija vrlo rijetka, a s obzirom da se problem uručenja pojedinačne rute može razmatrati kao problem kineskog poštara ili problem trgovačkog putnika (što je NP-problem), heurističke metode kroz vremensku komponentu imaju prednost pri donošenju svakodnevnih, dinamičkih odluka.

¹⁸ Galić, A.: Metaheurističke metode problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima, Master Thesis, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012., str.73

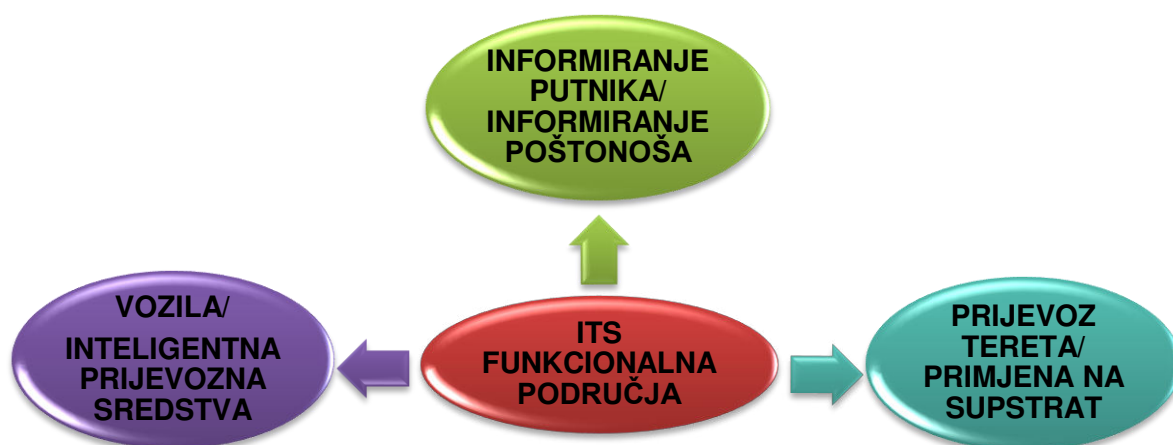
¹⁹ <http://w.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm>

5. INTELIGENTNA TRANSPORTNA RJEŠENJA

Inteligentni transportni sustavi (ITS) predstavljaju suvremeni način razmatranja prometnog sustava. Značajno poboljšanje u odnosu na klasični prometni sustav se dokazuje atributom „inteligentni“ što znači da ovakvi sustavi nisu statični i isto djeluju bez obzira na vanjske utjecaje, već se dinamičkim prikupljanjem podataka u realnom vremenu prilagođavaju trenutnoj situaciji te donose odluke bazirane na „fuzzy“ logici. Drugim riječima, uspijevaju pronaći adekvatno rješenje te funkcioniraju u trenucima kada odluka nije egzaktna (točna i sigurna), dobiveni podaci su dijelom neprecizni i/ili nepotpuni te koriste razmišljanja i zaključke bliže čovjeku nego stroju.

ITS se može definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadgradnja klasičnog sustava prometa.²⁰ Holistička nadgradnja podrazumijeva da su svi korisnici takvog sustava te njihovi prihvatljivi korisnički zahtjevi analizirani i sintezom implementirani u cjeloviti sustav.

Usluge ITS-a su definirane kroz 11 funkcionalnih područja u okviru međunarodne organizacije za normizaciju (ISO). Opširniji opis funkcionalnih opisa te pripadajućih usluga se može pronaći na slijedećem linku.²¹ Usluge tri područja su naročito primjenjive: informiranje poštunoša, inteligentna prijevozna sredstva i primjena na transportirani entitet (pošiljku). Nazivi područja su prilagođeni terminologiji poštanskog prometa.



Slika 16. Funkcionalna područja ITS-a prilagođena poštanskom prometu

Izvor: izradio autor uz prilagodbu iz izvora [3]

²⁰ Bošnjak, I.: Inteligentni transportni sustavi I, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006., str. 2

²¹ www.iso.org

Tri su razloga primjene ITS-a u svakom prometnom sustavu:

→ Novi aspekti i prostori rješavanja prometnih problema

→ Poboljšanje performanci i kvalitete jer vrijedi:

$$PI_{ITS} > PI_{KL}$$

$$QoS_{ITS} > QoS_{KL}$$

PI – indeks performanci, KL – klasični (pred ITS) prometni sustav

QoS – *Quality of Service*

→ Suvremeno projektiranje prometne infrastrukture – umjesto klasičnog principa *build only* primijeniti *build+ ITS*

Inteligentni transportni sustav koji se koristi za poboljšanje uručjenja poštanskih pošiljaka treba biti samoptimirajući i prilagodljiv. U suvremeno vrijeme korisnici poštanskih usluga sve više koriste *self-service* usluge (*pick up/drop off* terminale) te žele izbor o vremenu ili mjestu uručjenja pošiljke. S obzirom da takvi zahtjevi jedino mogu biti ostvarivi sustavom koji dinamički donosi pravovremene odluke potrebne su i nužne sve veće primjene inteligentnih transportnih sustava u bliskoj budućnosti.

5.1. INFORMIRANJE POŠTONOŠA

Inteligentni sustavi informiranja služe kako bi korisnici istog, u ovom slučaju poštonoše, prilikom pripreme i obavljanja dostave ili isporuke u realnom vremenu dobili informacije o vanjskim utjecajima koji utječu na poštanski sustav. Takvi utjecaji su dio proučavanja ergonomije u prometu, kao što je reakcija vozača na prometno zakrčenje, meteorološki uvjeti, stanje prometnica itd. Premda se najčešće asociraju sa javnim prijevozom i putnicima isti je princip primjenjiv na sve grane prometa.

Usluge koje nude davatelji ITS usluga unutar ovog funkcionalnog područja se nalaze na slici 17.



Slika 17. Usluge funkcionalnog područja informiranje putnika/poštonoša

Izvor: [3]

Datum preuzimanja: 15.05.2015.

Ovakve usluge su od visoke vrijednosti kod prilagodbe itinerara poštunoše ovisno o realnoj trenutnoj situaciji. Takve usluge mogu pružati:

- Statičke informacije – unaprijed poznate, zastarjele i nepromjenjive
- Dinamičke informacije – zaprimljene, obrađene i prikazane u realnom vremenu.

S obzirom da je promet nematerijalna i neponovljiva usluga tako i informacije trebaju biti svakodnevno ažurirane dinamičkim prikupljanjem. Nužna je adaptacija stvarnom stanju u prometu. Pružatelji usluga mogu biti javni ili privatni operatori.

Funkcija sustava predputnog informiranja je davanje informacija poštunošama o odabiru prijevoznog sredstva, rute, informacije o adresama na koje se pošiljke trebaju dostaviti i vrijeme polaska. Ovaj sustav se također može iskoristiti i za slučaj kad se radi o prijmu kurirske ili ekspresne usluge gdje pošiljke treba prikupiti na adresi pošiljatelja. Informacije bi trebale uključivati stanje prometnica, trenutne meteorološke uvjete, potencijalna mjesta parkiranja i ostale korisne stvari ovisno o zahtjevima.

Idealno je da inteligentni sustav informiranja ujedno uključuje predputno i putno informiranje, premda su česti primjeri odvojenih te često i nekompatibilnih sustava. Putno informiranje ima svrhu predložiti poštunoši bolju varijantu od predložene predputnim informiranjem u slučaju da ista postoji. Tu dolaze do izražaja neplanirani vanjski utjecaji na prometni sustav kao što su promjena meteoroloških uvjeta, protoka na određenoj prometnici, prometne nesreće, posebni događaji (razni festivali, utakmice, štrajkovi, turistička događanja itd.) koji utječu na standardno odvijanje prometa, promjena raspoloživih parkirnih mjesta i mnogi drugi.

Statičke i dinamičke informacije o mreži bi u principu trebale uključivati dvije mreže: javnu prometnu i poštansku. Statičke informacije se odnose na generalno stanje objekata koji služe kao terminalne ili tranzitne točke, dakle poštanski uredi iz kojih poštunoša odlazi te se vraća nakon dostave ili iste informacije o poslovnim prostorima/servisima gdje će se obavljati isporuka. Dinamičke informacije bi trebale uključivati broj slobodnih parkirnih mjesta u području ureda/poslovnog prostora i komunikaciju sa nadležnim osobljem radi sigurnosnih odobrenja kako se prilikom ulaska u iste objekte ne bi gubilo vrijeme na eventualne propuste.

Usluge rutnog vodiča i navigacije se mogu i ne moraju odnositi na putno i predputno informiranje. Također mogu biti dio inteligentnog prijevoznog sredstva. Takve usluge se isključivo bave najkraćim putem između dvije lokacije i bazirane su

na specifičnim algoritmima. Ovakvi inteligentni transportni sustavi daju informacije u kraćem vremenu od primjerice putnog informiranja, ali su isto tako ograničene jer ne uzimaju u obzir vanjske utjecaje. Primjeri takvih usluga su dinamički rutni vodič u vozilu (engl. *Dynamic In-vehicle Route Guidance*), integrirani multimodalni putni vodič, pješački ili biciklistički rutni vodič itd. Ovakve usluge su najčešće usredotočene na specifično prijevozno sredstvo poštunoše.

Za posljednji tip usluge dovoljno je spomenuti da treba postojati *back-up* sustav koji će nadzirati potencijalni *failure mode* sustava informiranja pomoću kojih tehnolozi optimiziraju rad poštanskih djelatnika.

5.2. INTELIGENTNA PRIJEVOZNA SREDSTVA

Prijevozna sredstva su osnovni prometni entitet prometne mreže. Postaju inteligentnima ugradnjom raznih instrumenta u postojeća vozila kao što su: uređaji za upravljanje vozilom, zaustavljanje, osvjetljavanje ceste, davanje svjetlosnih znakova, omogućavanje normalne vidljivosti, kretanje vozila unatrag, kontrolu i ispuštanje ispušnih plinova i spajanje vučnog i priključnog vozila. Premda današnja prijevozna sredstva prilikom kupnje već imaju ugrađen tip takvog sustava moguće je postojeći nadograđivati dodatnim pogodnostima. U pravilu se radi o cestovnim vozilima no ne treba ograničiti primjenu na samo jedan mod prijevoza.

Ovakvi sustavi se koriste ili kao pomoć vozaču ili postaju njegovom zamjenom prilikom vožnje. Integriraju se u postojeća vozila putem raznih aplikacija koje koriste internet kao resurs sa mogućnošću dostave dinamičkih informacija sustavu. Takve aplikacije se dijele u tri skupine koje su navedene tablicom 5. U pravilu se radi o M2M (engl. *machine to machine*) aplikacijama.

Tablica 5. Podjela aplikacija inteligentnih vozila i pripadajućih ITS usluga

APLIKACIJE INTELIGENTNIH PRIJEVOZNIH SREDSTAVA		
Upozoravanje vozača	Djelomična kontrola i podrška	Potpuno automatsko vođenje

Izvor: [3], datum preuzimanja: 15.05.2015.

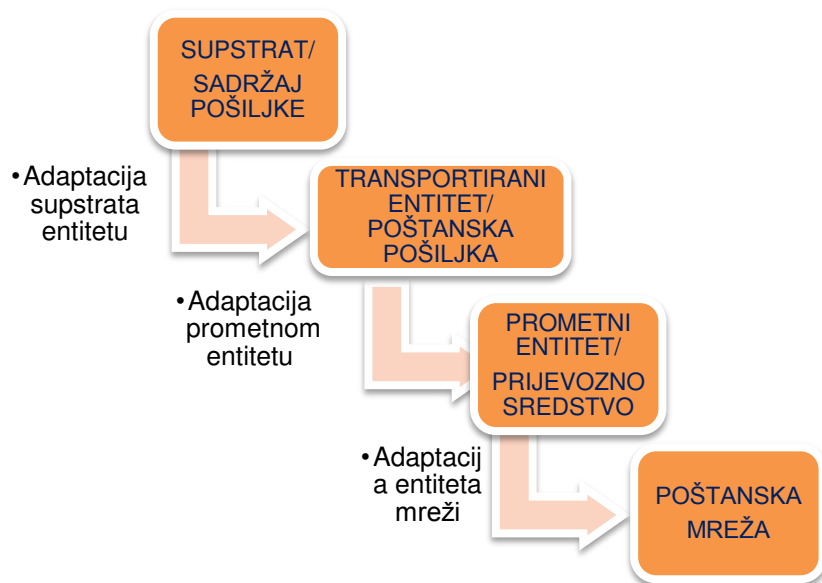
Usluge koje se mogu nuditi putem aplikacija se ne mogu klasificirati jednoznačno za jedan tip istih. Primjeri u ovom području su: poboljšanje vidljivosti, automatizirani procesi u vozilima, izbjegavanje i/ili sprečavanje sudara, sigurnosna upozorenja – držanje sigurnosnog razmaka od drugih vozila i/ili odobrenja prilikom prolaska kroz definirane tranzitne točke - terminali, granični prijelazi, carinski pregledi, inteligentna pomoć parkiranju, kontrola potrošnje goriva itd. Najveći broj ITS

rješenja dolazi upravo u ovom području te iz toga proizlazi potreba za interoperabilnosti aplikacija u najvećoj mjeri.

Inteligentni transportni sustavi koji se ugrađuju u vozila mogu biti autonomni, adaptivno zaključivanje se odvija isključivo bazirano na podacima u vozilu ili kooperativni, vozilo podatke razmjenjuje u suradnji sa instrumentima prometnice i/ili drugim vozilima. Nisu primarna potreba prilikom uručjenja poštanskih pošiljaka, no za obavljanje tehnološke faze prijevoza treba uzeti u obzir integraciju takvih usluga s aspekta sigurnosti, jer je tada najveća količina pošiljaka u jednom prijevoznom sredstvu između dva poštanska središta.

5.3. PRIMJENA NA ENTITET

Transportirani entitet u poštanskom prometu predstavlja poštansku pošiljku. Pojedinačne pošiljke se grupiraju te omasovljavanjem, zbog smanjenja troškova transporta, formiraju jedinični teret prilagođen prometnom entitetu te poštanskoj mreži. Razlozi za primjenom inteligentnih transportnih rješenja se ističu u poboljšanju učinkovitosti i djelotvornosti pripreme i uručjenja, povećanju sigurnosti poštonoša prilikom manipulacije poštanskim pošiljkama i zaštite entiteta te ekološkoj održivosti. Razni davatelji ITS usluga su područje prijevoza tereta (engl. *Freight transport*) iskoristili za ponudu prvih aplikacija jer općenito tržište nije zasićeno raznim rješenjima i stalnim inovacijama. Struktura poštanskog sustava se formalno može izraziti i na slijedeći način:



Slika 18. Prikaz adaptacije elemenata poštanskog sustava

Izvor: izradio autor

Atribut inteligencije u ovom području predstavljaju digitalna dokumentacija koja prati put pošiljke kroz jedno ili više prijevozno sredstvo, informacije o načinu rukovanja pošiljkama prilikom ukrcaja i iskrcaja iz prijevoznog sredstva, sučelja koja omogućuju praćenje prijevoza, interakciju sa drugim ITS sustavima za planiranje i kontrolu te izvor informacija o stanju pošiljke u realnom vremenu. ITS usluge su:

- Lokacija pošiljke na poštanskoj mreži
- Trenutno stanje i upravljanje opasnim/izdvojenim pošiljaka
- Lokacija pošiljke u prijevoznom sredstvu
- Automatska provjera dokumentacije
- Operativna kontrola tehnološke faze uručenja

Uslugu lokacije pošiljke na mreži nije nužno koristiti iz razloga što će se najvećim dijelom puta nalaziti u prijevoznom sredstvu poštunoše, a entitet pratimo kroz uslugu putnog informiranja. No može poslužiti kao provjera, svojevrsni *back-up*, a dodatne informacije koje se nadograđuju na putno informiranje su vrijeme ukrcaja/iskrcaja pošiljke iz vozila te značajno zaštitu protiv krađe i gubljenja poštanskih pošiljaka.

Izdvojene pošiljke zahtijevaju poseban tretman. Ako se radi o opasnim teretima potrebno ih je dodatno označiti i odvojiti od ostalih standardnih pošiljaka. Isto vrijedi i za pošiljke lomljivog sadržaja koje je potrebno je osigurati i posebnim materijalima kao što su dodatne trake, mreže ili posebni teretni prostor za njihov smještaj. ITS mogućnosti dolaze do izražaja prilikom praćenja takvih pošiljaka jer javljaju poštunoši početne fizičke veličine pošiljke (masa, dimenzije, ukupna količina u vozilu, tip pošiljke/omotnice/paketa, prioritarno/neprioritetno) uz jedinstveni ID broj svake pošiljke i usporedbu sa trenutnim stanjem pošiljke: svjetlost, vlaga, temperatura pošiljke u odnosu na prijevozno sredstvo i vanjske uvjete na prometnici.

Sustav lokacije pošiljke u prijevoznom sredstvu pokazuje x , y i z koordinate pošiljke u teretnom prostoru vozila. Korisno je ovaj sustav primijeniti prilikom pripreme za uručenje te povezati sa primjenom posluživanja u repu podvorbenih sustava. Ovdje možemo razmatrati pošiljke korisnicima koje treba poslužiti ovisno o lokaciji adrese koje se nalazi na itineraru poštunoše. Najčešće korištena logika sekvenciranja - slijeda stavljanja pošiljaka u prijevozno sredstvo (u podvorbenim sustavima izraz: pravilo izlaska iz repa poslužitelju) je LI-FO (engl. *Last In – First Out*), no mogu biti korištena i druga pravila kao što su SPT – *Shortest Processing Time* ili PRI – *Priorities*.

Slično kao i kod cestovnog prijevoza, dokumentacija i pošiljke putuju odvojeno u poštanskom prometu ako se radi o knjiženim pošiljkama. Usluga automatske provjere dokumentacije omogućava bržu provjeru dokumenata u digitalnom obliku uz slijedeće procese: provjera ispravnosti, urednosti i sravnjivanje, upis uručenih pošiljaka u dostavne knjige, upis paketa u knjiga prispjelih paketa s pripadajućim izvješćima, upis izgubljenih pošiljaka, popis neuručivih pošiljaka, eventualno dodatni zahtjevi primatelja kao što su zahtjevi za naknadu štete i povrat poštarine te definiranje roka čuvanja dokumentacije.

Kontrola ima temeljnu zadaću osigurati kvalitetu usluga uz uspješno i racionalno odvijanje tehnološkog procesa – u ovom slučaju uručenja. ITS sustav može kontrolu podijeliti na operativnu i na statističku. Operativna kontrola bilježi provjeru vremena i točnosti podjele po rajonima i pretincima, da li su sve pošiljke razrađene prema dostavi i isporuci te sigurnost i zaštitu. Statistička kontrola kvalitete prikazuje dosadašnje rezultate kroz uporabu sedam osnovnih i dodatnih alata upravljanja kvalitetom.

U budućnosti se predviđa da će „inteligentne pošiljke“ preuzeti veći dio drugih ITS usluga te će same određivati rutu do krajnjeg primatelja i to na način da će same birati mod prijevoza, tip prijevoznog sredstva i način rukovanja pošiljkom. Dokumentacija bi pratila pošiljke do završnog dijela u digitalnom obliku te se elektroničkim potpisom primatelja putem mobitela ili drugih terminalnih uređaja ispiše kao materijalni dokaz uručenja. Takve pošiljke trebaju imati sposobnost zaključivanja u neizrazitim promjenjivim uvjetima te da su u svakom trenutku svjesne svoje sadašnje lokacije i vanjskih utjecaja. Tehnologije koje se najčešće danas koriste za praćenje poštanskih pošiljaka su RFID, satelitske usluge i senzori detekcije kretanja. Cilj je obilježenost svake pošiljke, no realno je ekonomski isplativije skupno obilježavanje isporuke velike količine istovrsnih pošiljaka kao određen jedinični teret istog odredišta i na taj način djelomično utjecati na njihov put kretanja kroz mrežu.

5.4. NOVA RJEŠENJA

Inovacije inteligentnih transportnih rješenja su najčešće vezane uz prijevozna sredstva. Razlog tome je što proizvođači vozila unutar svoje organizacije u pravilu imaju odjel zadužen za istraživanje i razvoj. Ovo poglavlje daje primjere aktualnih ITS rješenja kod proizvođača automobila, ali i drugih proizvođača čija osnovna djelatnost nije promet te davatelja poštanskih usluga.

Volvo predstavlja svoje rješenje „*Roam Delivery Service*“ kojim primatelj postaje prijevozno sredstvo, a ne osoba. Ako primatelj nije na predviđenoj adresi uručnja, a prijevozno sredstvo je dostupno na istoj pomoću posebnih digitalnih ključeva, uz prethodnu obavijest i dopuštenje putem aplikacije instalirane na tabletu ili pametnom telefonu dostavljač dobiva privremeni kod za otključavanje prtljažnika vozila. Prtljažnik se otvara na kraći vremenski period te obavlja uručnje. Primatelj je u mogućnosti putem aplikacije konstatno pratiti tijek procesa, a privremeni kod je nakon obavljene usluge neiskoristiv za ponovno otvaranje vozila radi sigurnosti.

Ako se radi o dostavi veće količine poštanskih pošiljaka na unaprijed definiranoj geografskoj lokaciji, kao što je primjerice bulk mail – veći broj različitih tiskanica koji se trebaju uručiti u poslovnici trgovačkog centra, umjesto opremanja svake pošiljke RFID tehnologijom može se iskoristiti rješenje kao što je „*Intelligent plastic pallets*“ tvrtke Craemer. U ovom slučaju paleta je opremljena RFID tagom/transponderom te nadzire pošiljke cjelokupno. Palete su izrađene od posebne plastike koja ne propušta vlagu, ne može se saviti ili suziti i tako poboljšava proces ukrcaja i iskrcaja pošiljaka. S prednje strane ne sadrže nikakve dodatke te mali razmak između rupa za smanjenje vlastite nosivosti palete što povećava zaštitu pošiljaka od oštećenja. Palete su standardiziranih dimenzija te su do 20 kilograma lakše u odnosu na drvene palete.

U poštanskom prometu jedno od novih rješenja se bavi nadgradnjom postojećih poštanskih kovčežića. Nakon ubacivanja pismovnih pošiljaka u kovčežić primatelj je obaviješten e-mailom ili SMS-om o vremenu uručnja. Sustav je koristan u slučaju kada primatelj je odsutan par dana te se ne nalazi na adresi uručnja, no treba uzeti u obzir da postoje i druge usluge kojima primatelj može tražiti nadoslanje ili promjenu adrese uručnja što je brže i jeftinije rješenje od izgradnje sustava koji svoju pravu svrhu nema tijekom cijele godine.

Swiss Post nudi alternativu primatelju uslugom poštanskog kovčežića u digitalnom obliku. Sve pismovne pošiljke, uz prijašnju dozvolu i registraciju primatelja za korištenjem ove usluge, se skeniraju i slike omotnice pošiljaka se šalju primatelju putem e-maila ili Swiss Post aplikacije. Primatelj zatim bira koje pošiljke želi da mu se uruče u predloženom roku, a koje je nepotrebno uručivati (promotivni materijali, krivo adresirane pošiljke itd.). Na taj način primatelj ima fleksibilnost odluke koje pošiljke želi i ujedno sudjeluje u optimizaciji tehnološke faze uručnja davatelja koji ne troši

vrijeme i resurse na uručenje pošiljaka koje bi potencijalno postale neuručive jer bi primatelj odbio uručenje pošiljaka.

Australia Post je odlučila svoje poštanske pretince iskoristiti kao isporuku pošiljaka koje nisu uručene dostavom, ali i za prijam novih poštanskih pošiljaka (engl. *Pick-up/Drop-off Parcel Lockers*). S obzirom da je usluga dostupna 24 sata 7 dana u tjednu na taj način su poboljšali traženu univerzalnu poštansku obvezu petodnevne dostave svakom primatelju. Korisnik nakon registracije putem e-maila, SMS-a ili aplikacije dobija kod s kojim dobiva pristup otvaranju poštanskog pretinca te preuzimanja pošiljaka za uručenje, ali može i koristiti isti poštanski pretinac za prijam novih poštanskih pošiljaka koje kao pošiljatelj želi uručiti drugom korisniku.

U posljednje vrijeme značajno se govori o dronovima koji bi zamijenili poštonoše kod dostave. Premda tehnološki napredno rješenje, testirano kroz više djelatnosti naročito u SAD-u, regulatorni i ekonomski aspekt i dalje utječu na njihovu implementaciju ne samo u poštanskom sustavu. Pitanje privatnosti korisnika ostaje trenutno otvoreno i najveći razlog zašto dronovi još uvijek nisu dio poštanskih operatora. Usporedba kvalitete dostave sa dosadašnjim principom je upitna i predstavlja potencijalno istraživanje tehnologa u budućim poštanskim studijama.

Suvremeni inteligentni transportni sustavi dovode do modernizacije poslovanja u poštanskom prometu, no uvijek je potrebno razmisliti o ekonomskoj isplativosti ulaganja u takav projekt što se tiče dugoročne isplativosti i povratka investicije. Razvojni koncept inteligentnog transportnog sustava u poštanskom prometu obuhvaća mnogobrojne utjecajno-interesne skupine (engl. *stakeholders*) te stručnjake iz više znanstvenih područja. Stoga je potrebno u početnoj fazi projekta prilikom definiranja zahtjeva, specifikacija i operativnog koncepta kreirati model „što/kako“ kojim se traženi zahtjev povezuje sa nužnom ITS arhitekturom. Na taj način se dobije jasna slika realnosti svakog korisničkog zahtjeva.

Općenito, ITS, kao i ICT (informacijsko-komunikacijska rješenja) nisu osnovna djelatnost davatelja poštanskih usluga. Njihova primjena u poštanskom prometu ima dva cilja: na indirektnom povećanju potražnje korisnika za poštanskim uslugama korištenjem suvremenih tehnologija, gdje poštanske usluge postaju pristupačnije, te podizanje kvalitete obavljanja usluge, kako u uručanju tako i u drugim tehnološkim fazama/aktivnostima. Tehnolog poštanskog prometa neće raditi ITS rješenja, ali će značajno sudjelovati prilikom kreiranja korisničkih zahtjeva. Za izgradnju i

implementaciju takvih sustava su zaduženi stručnjaci koji se bave ITS područjem kao osnovnom djelatnošću.

ITS rješenja u poštanskom prometu trebaju biti univerzalna (neovisna o modu transporta) i interoperabilna jer „pošta“ integrira sve modove prijevoza te na taj način prihvaća prednosti svih prijevoznih sredstava i ujedno koristi sve oblike komunikacije unutar poslovanja (B2C, B2G, G2C i ostale), ali ovisno o situaciji. Analogno tome ITS nema gotovih rješenja, nego za svaku situaciju drugačije – konceptualno ovisno.

Prednosti ITS-a prilikom uručenja su: racionalizacija poštanske mreže, podizanje kvalitete poštanskih usluga, povećanje sigurnosti pravodobnog uručenja, ali i zaštite tajnosti priopćenja pošiljatelja primatelju. Sustav mora biti izgrađen tako da funkcionira bez obzira na daljnji razvoj tehnologije te je ITS najbolje implementirati putem reinženjeringa kao ispravak i napredak dosadašnje prakse.

6. MODELIRANJE DOSTAVNIH RAJONA

Organizacija dostavnih rajona ovisi o odabiru implementiranog sustava dostave, mogući tipovi su prikazani slikom 5. Svako poštansko središte može imati svoje dostavno područje, podijeliti isto na dostavna područja pripadajućih ureda i kombinacije istih. Ovisno o sustavu, poštanskim objektima su dodijeljeni dostavni rajoni. Primjena sustavne metodologije u dizajniranju dostavnih područja i rajona ne dominira u praksi. Većina zemalja koristi empirijsko-induktivne metode, drugim riječima dobra i loša iskustva iz prošlosti, učenje na pogreškama i repeticiju dobrih odabira. Pojedinačni i rijetki pokušaji znanstvenog pristupa s ciljem podizanja problema na višu tehnološku razinu zasad nisu pridonijeli praktičnoj primjeni te je ovakav pristup još uvijek na svom početku. S obzirom da bi optimizacija granica dostavnih područja poštanskih središta i ureda ujedno predstavljala reinženjering fizičke strukture cjelokupne poštanske mreže, prvotna i niža tehnološka razina je modeliranje dostavnih rajona.

Dostavni rajoni prema fizičkoj strukturi mogu biti statički/svakodnevni i dinamički/adaptivni. Prema tipu pošiljaka dijele se na: pismovne, paketske, novčarske, tiskovne, ekspresno-kurirske i kombinacijske. Na dostavnim rajonima pošiljke mogu uručivati jedan ili više poštonoša. Kategorizacija rajona i korišteni tipovi ovise o preferencijama svakog davatelja posebno. Oblikovanje rajona i prilagodba vanjskim utjecajima okoline kao što su izgradnje novih objekata, rekonstrukcija prometnica, političko-regulatorno-ekonomske odluke, promjena kulture i navika korisnika predstavlja stalnu zadaću poštanskih tehnologa. Jednom definirani dostavni rajoni ne mogu biti trajni. Reinženjering statičkih dostavnih rajona je nužan prema literaturi²² svakih dvije do pet godina.

Način organizacije rajona u velikoj mjeri utječe na ukupne troškove uručjenja zbog angažiranja većeg broja poštonoša, prijevoznih sredstava i broja izlazaka na dostavu. Važna činjenica jest da većina pošiljaka ne prolazi kroz cjelokupni „end-to-end“ tehnološki proces kroz svih pet tehnoloških faza. Svaka pošiljka traži obavljanje početno-završne faze prijma i uručjenja, no samo aproksimativno 30% pošiljaka odlazi u mrežu prema drugim poštanskim središtima i uredima. Većina pošiljaka koristi parcijalne itinerare prolaska kroz mrežu. Distribucija prometa u poštanskoj mreži prikazana je pojednostavljenim modelom na slici 19.

²² Bošnjak, I., Kavran, Z., Matijević, D. : Design of delivery areas of public postal operator by applying AHP model, *Promet- Traffic- Traffico*, Vol. 17, 2005., str. 77-85



Slika 19. Distribucija prometa u mreži

Izvor: [16]

Datum preuzimanja: 28.05.2015.

Model distribucije dokazuje da svaki poštanski ured s dostavnim područjem, a u minimalnom slučaju barem pripadajuće poštansko središte bi trebalo biti zaduženo za organizaciju uručenja na svom području kako bi se ostvarila ujednačenost učinkovitosti i djelotvornosti sa opterećenjem poštunoša i troškovnim ograničenjima. Dvije su osnovne ideje znanstvenog pristupa modeliranju rajona:

- ✓ Informacija o željenoj adresi uručenja je poznata već u trenutku **prijma**
- ✓ Reinženjering logičke strukture postojećih dostavnih rajona korištenjem statistike kao temeljne baze podataka – omogućivača (engl. *enabler*)

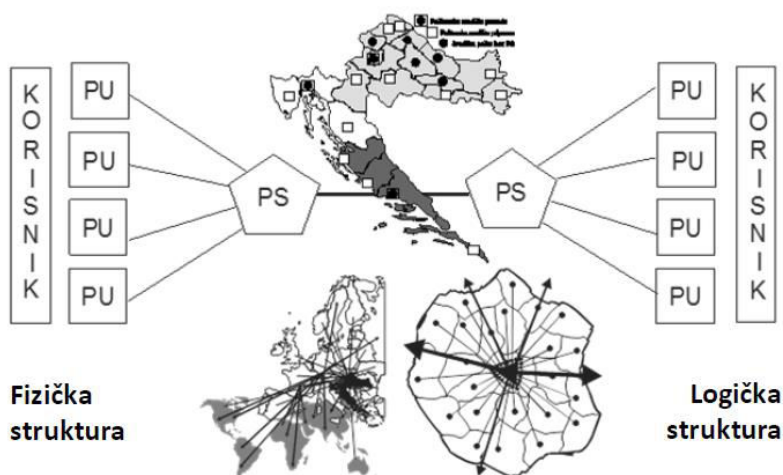
Upotrebom statistike prijma moguće je dokazati da se količine pošiljaka svake godine u određeno vrijeme (primjerice broj pošiljaka u siječnju 2014. i u siječnju 2015.) ne mijenjaju značajno u dostavnim područjima, premda to treba razlikovati od činjenice da postoji veći broj pošiljaka u vrijeme novogodišnjih blagdana nego u svibnju utjecajem sezonalnosti. Također, određeni dani u mjesecu imaju povećanu potražnju za dostavom, primjerice datumi dospelja računa. Statističke metode analize također predviđaju buduću potražnju upravo na temelju istih podataka.

Tri su osnovna načina rješavanja problema troškova uručenja: inovativnost, reinženjering i restrukturiranje. Inovativnost je rijetka i najteži način. Restrukturiranje je najlakši i najviše primjenjiv način optimizacije zatvaranjem poštanskih ureda i/ili

otpuštanjem radnika. Informacija poznata u prijmu daje dovoljno vremena za uštede reinženjeringom dostavnih rajona, pristupom koji predstavlja ravnotežu između inovativnosti i restrukturiranja te je ujedno pristupačan većem broju utjecajno-interesnih skupina poštanskog prometa.

Modeliranje čini međudnos četiri elementa: stvarna situacija, problem, model i metoda. Stvarna situacija dostave postavlja se kao prometni problem. Tehnolozi pokušavaju izraditi model koji predstavlja problem kao presliku stvarne situacije korištenjem različitih metoda. Prema cilju modeliranja modeli mogu biti deskriptivni i normativni. Deskriptivni su su usmjereni na opis, analizu i sintezu odnosa elemenata problema s ciljem boljeg razumijevanja kako sustav funkcionira. Normativni, kao što je model rajona, definiraju normu koju žele postići i koriste se za projektiranje i optimizaciju prometnih i logističkih sustava.

Model treba biti razmatrati kao reprezent definiranog problema i ne može biti bolji od ulaznih podataka definiranih prethodno. Već sama izrada modela donosi korist i ako je moguće napraviti jednostavan model koji će poslužiti svrsi nepotrebno je raditi složeni. Model treba provjeriti prije implementacije, ne može rješavati probleme za koje nije dizajniran, te izuzetno važno: ne može zamijeniti donositelja završne odluke – tehnologa. Poštanska mreža na svjetskoj razini pa sve do rajona je projektirana prema *hub and spoke* modelu, prikazanom slijedećom slikom. U kontekstu dostave, svaki sustav dostave i pripadajući rajoni imaju početno-završnu točku kao *hub* – dostavni poštanski ured (PU).



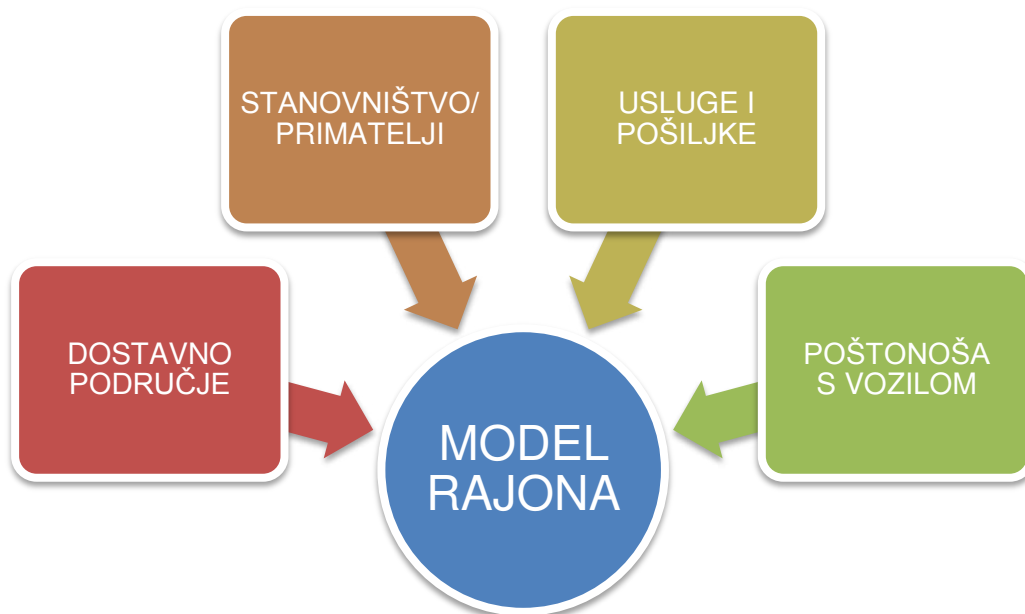
Slika 20. Hub and spoke model uz fizičku i logičku strukturu poštanske mreže

Izvor: [16]

Datum preuzimanja: 04.06.2015.

6.1. UTJECAJNI ELEMENTI MODELIRANJA

Dostavni rajoni se primarno definiraju za univerzalnu poštansku uslugu/obvezu. Ako se svi tipovi usluga unutar obveze razmatraju te analogno tome i dostavljaju zajednički radi se o kombinacijskim dostavnim rajonima. Četiri osnovna elementa koja definiraju nadležnost poštanskog ureda s dostavnim područjem te postavljaju temelj modeliranja rajona prikazani su slikom 21. Međuodnos značajki tri elementa dodatno utječe na odabir prijevoznog sredstva poštonoše, a preporuke bazirane na dosadašnjim iskustvima su prikazane tablicom 6.



Slika 21. Utjecajni elementi modeliranja dostavnih rajona

Izvor: izradio autor

Tablica 6. Odabir prijevoznog sredstva poštonoše za itinerar dostavnog rajona

DP	UiP	PsV
Dužina itinerara (km)	Masa i dimenzije ukupne količine pošiljaka za dostavu	Odabir prijevoznog sredstva
0-7	15 kg	X (pješice)
7-15	Ovisno o nosivosti i dimenzijama teretnog prostora.	Teretni bicikl
15-40		Moped
40 - ...		Kombi/furgon vozilo

Izvor: izradio autor uz prilagodbu iz izvora [15]

6.2. MODEL STATIČKOG KOMBINACIJSKOG RAJONA

Statički modeli promatraju stanja sustava bez analize dinamike, odnosno promjene stanja u vremenu.²³ Statički model obuhvaća mjesečne podatke godišnjeg razdoblja pri čemu se razmatraju očekivana, planirana ravnotežna stanja prometa u mreži uz uračunata pozitivna (vršna) i negativna (manjak prometa) odstupanja. Moguće je ista stanja prometa prilagoditi i dnevnoj razini prometa pošiljaka. Kombinacijski rajon predstavlja zajedničku dostavu svih pošiljaka unutar univerzalne poštanske usluge, pojednostavljeno poštunoša dostavlja pošiljke koje se ne prate zajedno sa pošiljkama o kojima se vodi evidencija tijekom cijelog tehnološkog procesa. Izbor itinerara i prijevoznog sredstva kod statičkih modela se temelje na relativno fiksnoj potražnji za poštanskim uslugama te kriterijima koji se ne mijenjaju tijekom vremena promatranja prometa u mreži.

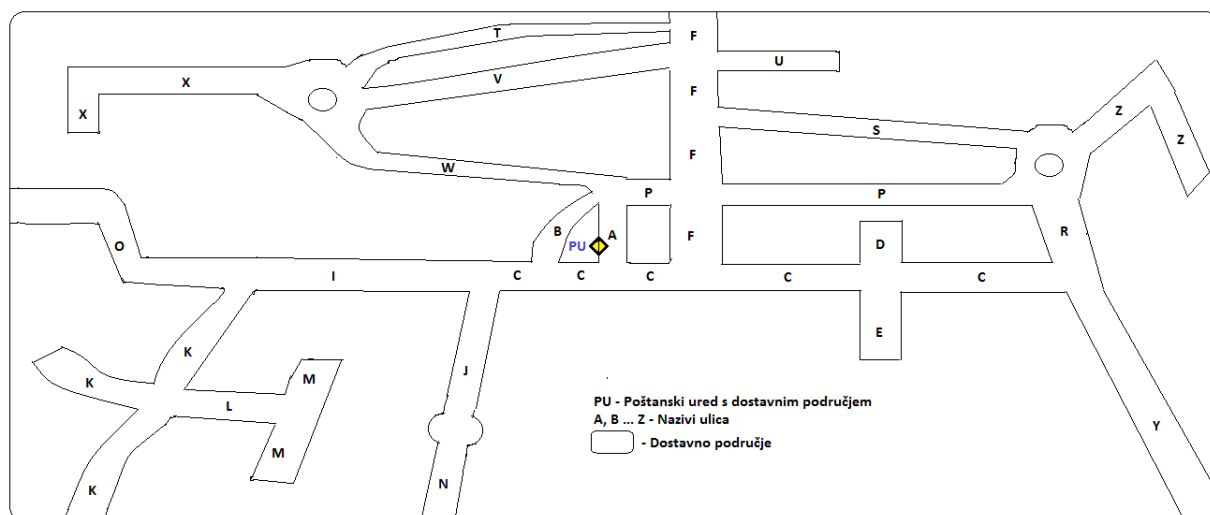
Statički model se sastoji od osam koraka. Prikazati će se na primjeru fiktivnog dostavnog područja i pridruženih podataka jer podaci o stvarnim dostavnim rajonima, pripadajućim itinerarima, količini pošiljaka, broju dostavljača i slično nisu javno dostupni. Preduvjeti modela su:

- ✓ Poznate su granice dostavnog područja
(najčešće upravno-teritorijalne granice gradova, općina i slično)
- ✓ Definiran je broj poštunoša za određeno dostavno područje
- ✓ Broj poštunoša određuje broj dostavnih rajona
- ✓ Dostavni rajoni se ne isprepliću zbog poteškoća faze pripreme za dostavu – sortiranja pošiljaka po rajonima
- ✓ Do svakog primatelja je moguće doći „ulicom“, jer to može biti bilo kakav put, bitno da se radi o prohodnom geografskom području

Korak 1. Dostavno područje prikazati vektorskim zemljovidom sa prometnim slojem

Vektorski zemljovid uz uključanje prometnog sloja pojednostavljuje tehnologu prostorni smještaj ulica i pripadajućih raskrižja. U prvom koraku potrebno je detektirati ulice i poštanski ured.

²³ Bošnjak, I., Badanjak, D.: Osnove prometnog inženjerstva, Sveučilište u Zagrebu, 2005., str. 96

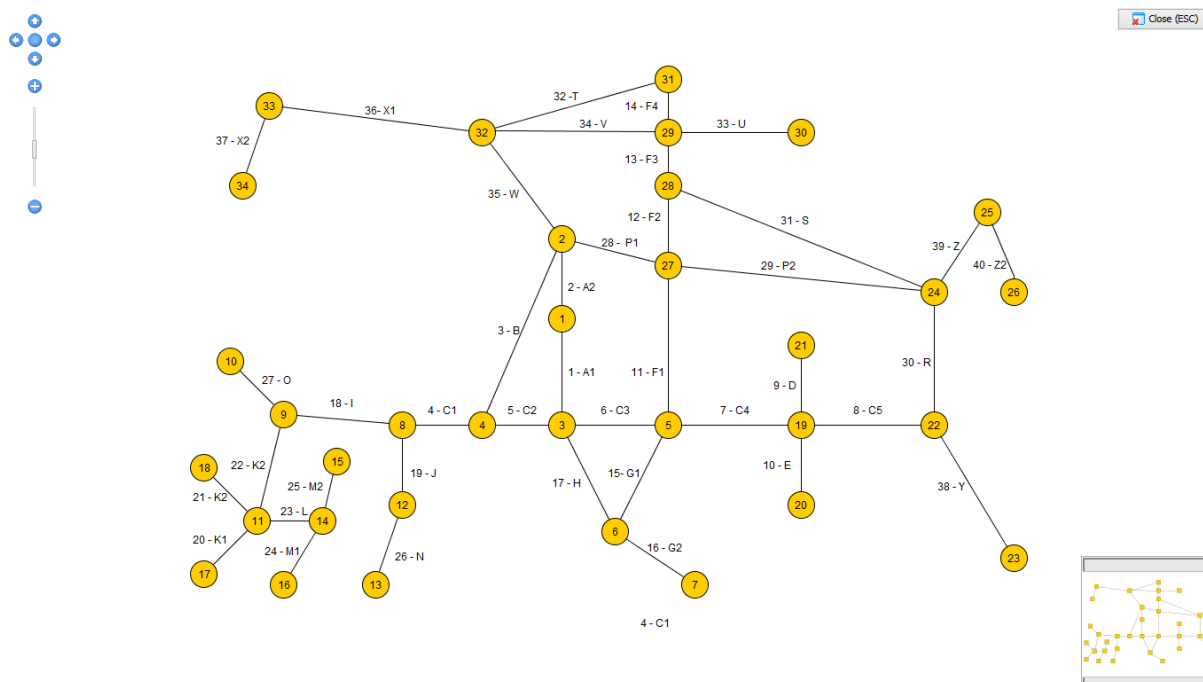


Slika 22. Vektorski zemljovid sa prometnim slojem fiktivnog dostavnog područja

Izvor: izradio autor

Korak 2. Dostavno područje pretvoriti u težinski graf

U drugom koraku dostavno područje postaje težinski graf pretvaranjem raskrižja u čvorove i vezanih ulica u linije. Ako pojedina ulica ima više dijelova koji povezuju različite čvorove, dio ulice označiti nazivom i brojem, primjerice C3. Svaku liniju je potrebno označiti brojem linije i nazivom (dijela) ulice – primjer 2- A2. Ulica u kojoj se nalazi poštanski ured se dijeli na dvije linije, a poštanski ured postaje početno-završni čvor 1 za algoritam u slijedećim koracima, prikazano slikom 23. Premda je realna prometna situacija da put između A i B nije uvijek jednak ovisno o smjeru kretanja (digraf), u ovom primjeru pretpostaviti će se da je između svakog čvora put jednak u oba smjera te se radi o neusmjerenom grafu.



Slika 23. Neusmjereni težinski graf fiktivnog dostavnog područja

Izvor: izradio autor

Korak 3. Tablica sa ulaznim podacima

Za modeliranje su navedena četiri utjecajna elementa. U statičkom dostavnom modelu podaci o stanovnicima/primateljima nisu primarni jer je jedan od preduvjeta prohodnost linijom – ulicom, što znači da su svi potencijalni primatelji smješteni na linijama grafa. Gustoća stanovnika/kućanstava također nije relevantan podatak jer obuhvaća kompletnu površinu područja, što znači da uključuje i površinu gdje ulice ne postoje i nema primatelja. Potrebni podaci po elementima su:

DP – Naziv, udaljenost pripadajućih (dijelova) ulica te broj linije koje označavaju na grafu

P/U – Količina pošiljaka na pripadajućoj liniji – s obzirom da se radi o kombiniranim rajonima, traži se ukupna količina svih pošiljaka uz izračunato mjesečno ravnotežno stanje prometa u mreži, uključujući pozitivna (vršna) i negativna (manjak prometa) odstupanja

PsV – Broj poštunoša i struktura raspoloživog voznog parka

Podaci dostavnog područja i pošiljaka/usluga se unose u tablicu. Podaci o poštunoši i voznom parku će biti potrebni u naknadnim koracima.

Tablica 7. Ulazni podaci dostavnog područja na ravnotežnoj mjesečnoj razini

Naziv ulice	Pripadajući dijelovi	USLUGA						Ukupno pošiljaka	Dužina ulice (m)
		Broj linije grafa	Obično pismo	Tisak	Preporučene pošiljke	Paketi	Vrijednosne pošiljke		
A	A1 (PART I)	1	6500	4100	150	270	70	11090	750
	A2	2	2250	500	250	140	30	3170	900
B	B	3	2500	850	320	330	110	4110	625
C	C1	4	1500	1000	480	260	90	3330	300
	C2	5	1250	450	440	380	50	2570	50
	C3	6	3500	1150	320	110	30	5110	525
	C4	7	1000	500	20	30	20	1570	765
	C5	8	3000	450	250	120	100	3920	250
D	D	9	5000	800	50	90	30	5970	800
E	E	10	4500	2000	200	130	50	6880	200
F	F1	11	1500	850	20	120	90	2580	100
	F2	12	4500	900	150	310	10	5870	950
	F3	13	1500	1050	280	50	130	3010	200
	F4	14	500	500	450	160	20	1630	400
G	G1	15	750	600	140	70	80	1640	675
	G2	16	500	250	130	20	40	940	375
H	H	17	1500	500	220	370	100	2690	450
I	I	18	1250	250	60	110	70	1740	100
J	J	19	7500	700	50	300	185	8735	1300
K	K1	20	3500	1200	180	290	120	5290	400
	K2	21	1250	500	480	190	100	2520	75
	K3	22	4750	700	70	50	70	5640	1375
L	L	23	2500	1350	180	280	10	4320	250
M	M1	24	1250	150	70	140	70	1680	425
	M2	25	1750	1000	270	200	20	3240	450
N	N	26	1000	1000	360	200	80	2640	400
O	O	27	5000	1250	220	200	10	6680	225
P	P1	28	3750	2750	500	350	60	7410	875
	P2	29	1500	1350	230	280	20	3380	425
R	R	30	1250	1050	250	310	120	2980	475
S	S	31	1200	900	450	70	50	2670	575
T	T	32	1000	600	430	130	70	2230	2000
U	U	33	500	3500	370	180	50	4600	975
V	V	34	1000	750	280	100	80	2210	1375
W	W	35	1500	250	400	350	40	2540	1200
X	X1	36	2000	1150	250	130	90	3620	1000
	X2	37	1500	2000	250	110	10	3870	1525
Y	Y	38	2050	1000	430	270	75	3825	435
Z	Z1	39	1250	150	350	300	50	2100	825
	Z2	40	0	0	0	0	0	0	500
Σ			90000	40000	10000	7500	2500	150000	25000

Izvor: izradio autor

Korak 4. Potencijalna eliminacija linija i indeksiranje

Iz prethodne tablice vidljivo je da na liniji Z2 nema primatelja, stoga ju je potrebno eliminirati iz grafa kako se na taj dio ne bi trošili resursi. Linije je potrebno sortirati prema dva kriterija: dužini ulice i ukupnoj količini pošiljaka. Prema svakom kriteriju indeksiraju se linije tako da najveća vrijednost donosi najveći indeks – u ovom slučaju 39 (broj linija – Z2 eliminirano). Na taj način se kompenziraju dva osnovna problema podjele posla poštovoša: određeni poštovoše prelaze velike udaljenosti dostavljajući mali broj pošiljaka, dok drugi dostavljaju velik broj pošiljaka na maloj udaljenosti. Naravno, postoje i linije malih udaljenosti i malih količina kao i obrnuto.

Tablica 8. Indeksiranje linija

Naziv ulice	Pripadajući dijelovi	Broj linije grafa	USLUGA					Ukupno pošiljaka	Dužina ulice (m)	Rangirano po pošiljkama	Rangirano po kilometrima
			Obično pismo	Tisak	Preporučene pošiljke	Paketi	Vrijednosne pošiljke				
A	A1 (PART I)	1	6500	4100	150	270	70	11090	750	39	25
	A2	2	2250	500	250	140	30	3170	900	19	30
B	B	3	2500	850	320	330	110	4110	625	27	23
	C1	4	1500	1000	480	260	90	3330	300	21	10
C	C2	5	1250	450	440	380	50	2570	50	12	1
	C3	6	3500	1150	320	110	30	5110	525	30	21
	C4	7	1000	500	20	30	20	1570	765	2	26
	C5	8	3000	450	250	120	100	3920	250	26	8
D	D	9	5000	800	50	90	30	5970	800	34	27
E	E	10	4500	2000	200	130	50	6880	200	36	6
F	F1	11	1500	850	20	120	90	2580	100	13	4
	F2	12	4500	900	150	310	10	5870	950	33	31
	F3	13	1500	1050	280	50	130	3010	200	18	5
	F4	14	500	500	450	160	20	1630	400	3	12
G	G1	15	750	600	140	70	80	1640	675	4	24
	G2	16	500	250	130	20	40	940	375	1	11
H	H	17	1500	500	220	370	100	2690	450	16	18
I	I	18	1250	250	60	110	70	1740	100	6	3
J	J	19	7500	700	50	300	185	8735	1300	38	35
	K1	20	3500	1200	180	290	120	5290	400	31	14
K	K2	21	1250	500	480	190	100	2520	75	10	2
	K3	22	4750	700	70	50	70	5640	1375	32	37
L	L	23	2500	1350	180	280	10	4320	250	28	9
M	M1	24	1250	150	70	140	70	1680	425	5	15
	M2	25	1750	1000	270	200	20	3240	450	20	19
N	N	26	1000	1000	360	200	80	2640	400	14	13
O	O	27	5000	1250	220	200	10	6680	225	35	7
P	P1	28	3750	2750	500	350	60	7410	875	37	29
	P2	29	1500	1350	230	280	20	3380	425	22	16
R	R	30	1250	1050	250	310	120	2980	475	17	20
S	S	31	1200	900	450	70	50	2670	575	15	22
T	T	32	1000	600	430	130	70	2230	2000	9	39
U	U	33	500	3500	370	180	50	4600	975	29	32
V	V	34	1000	750	280	100	80	2210	1375	8	36
W	W	35	1500	250	400	350	40	2540	1200	11	34
	X1	36	2000	1150	250	130	90	3620	1000	23	33
X	X2	37	1500	2000	250	110	10	3870	1525	25	38
	Y	38	2050	1000	430	270	75	3825	435	24	17
Z	Z1	39	1250	150	350	300	50	2100	825	7	28
	Z2	40	0	0	0	0	0	0	500	XX	XX
Σ			90000	40000	10000	7500	2500	150000	25000		

Izvor: izradio autor

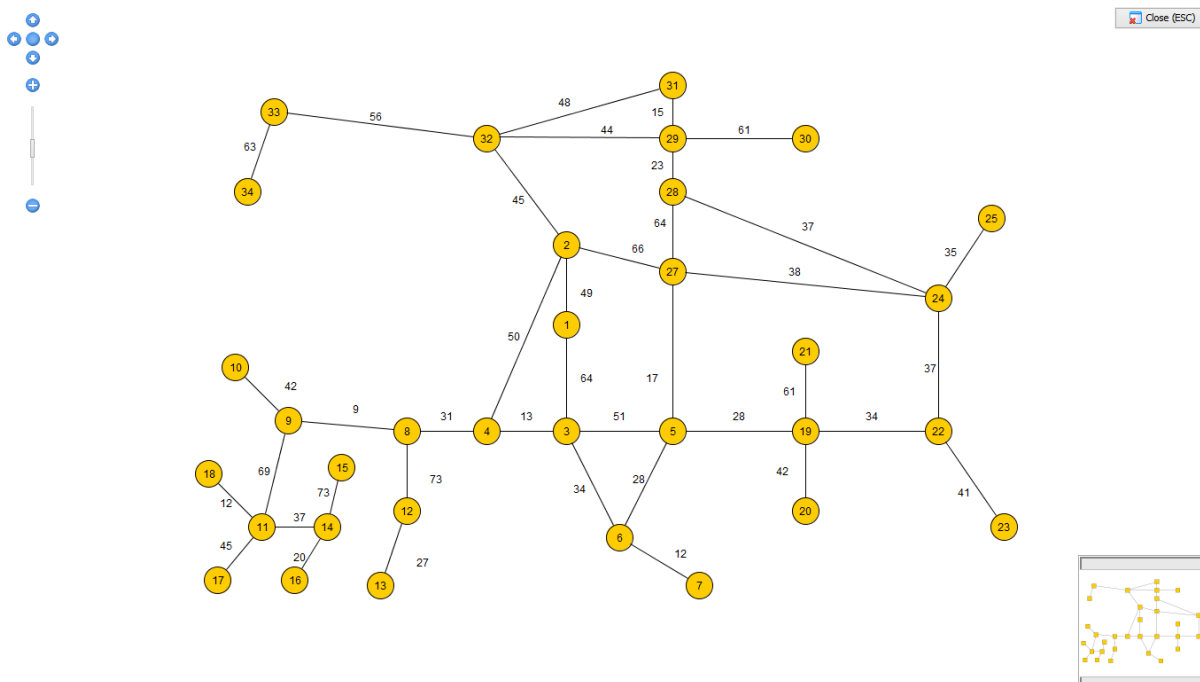
Korak 5. Suma indeksa i novi težinski graf

Izjednačavanje kriterija se vrši sumiranjem dobivenih indeksa. Dobivena vrijednost čini težinsku vrijednost – opterećenje svake linije grafa. Potrebno je izraditi novi težinski graf sa dobivenim vrijednostima.

Tablica 9. Suma indeksa linija

Naziv ulice	Pripadajući dijelovi	Broj linije grafa	Rangirano po pošiljkama	Rangirano po kilometrima	Suma indeksa
A	A1 (PART I)	1	39	25	64
	A2	2	19	30	49
B	B	3	27	23	50
C	C1	4	21	10	31
	C2	5	12	1	13
	C3	6	30	21	51
	C4	7	2	26	28
	C5	8	26	8	34
D	D	9	34	27	61
E	E	10	36	6	42
F	F1	11	13	4	17
	F2	12	33	31	64
	F3	13	18	5	23
	F4	14	3	12	15
G	G1	15	4	24	28
	G2	16	1	11	12
H	H	17	16	18	34
I	I	18	6	3	9
J	J	19	38	35	73
K	K1	20	31	14	45
	K2	21	10	2	12
	K3	22	32	37	69
L	L	23	28	9	37
M	M1	24	5	15	20
	M2	25	20	19	39
N	N	26	14	13	27
O	O	27	35	7	42
P	P1	28	37	29	66
	P2	29	22	16	38
R	R	30	17	20	37
S	S	31	15	22	37
T	T	32	9	39	48
U	U	33	29	32	61
V	V	34	8	36	44
W	W	35	11	34	45
X	X1	36	23	33	56
	X2	37	25	38	63
Y	Y	38	24	17	41
Z	Z1	39	7	28	35
	Z2	40	XX	XX	
Σ					1560

Izvor: izradio autor



Slika 24. Novi neusmjereni težinski graf

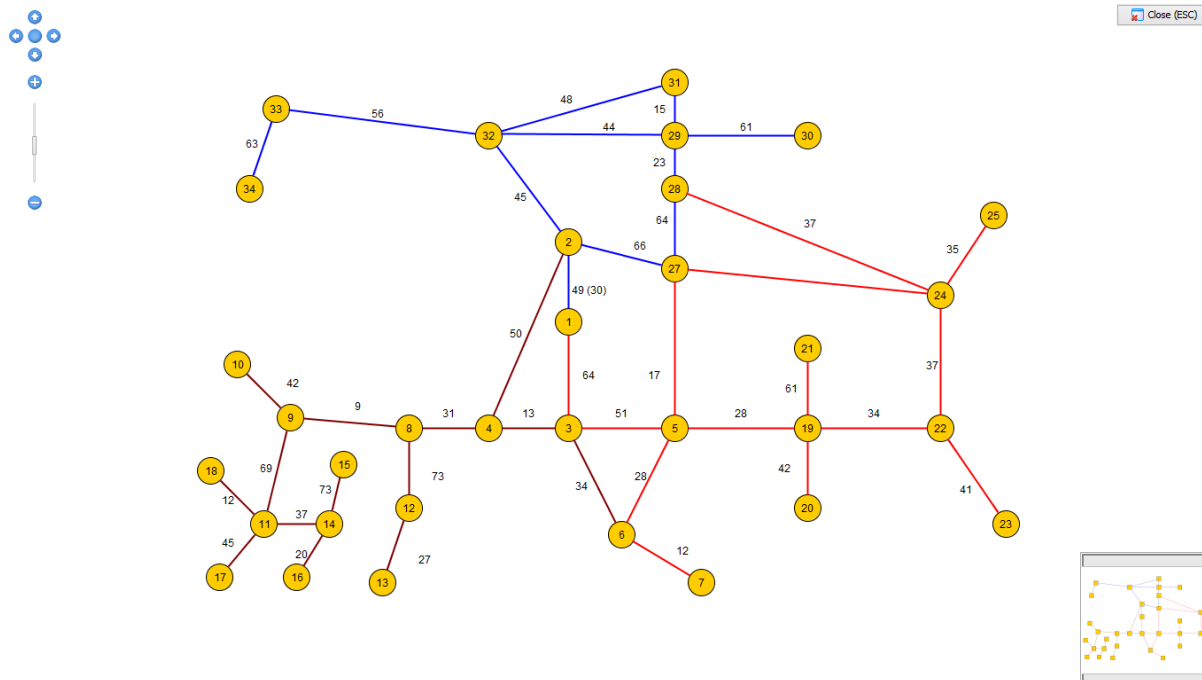
Izvor: izradio autor

Korak 6. Definiranje broja dostavnih rajona i grafička metoda podjele grafa

Poštanski ured zapošljava, primjerice, trojicu poštonoša. Težinski graf prikazan prethodnom slikom imaju ukupnu težinsku vrijednost 1560 - $\sum$ sume indeksa. Podijeljeno na trojicu iznosi 520 po poštonoši. To znači da je graf potrebno podijeliti na tri subgrafa (dostavna rajona) sa jednakom ili približno jednakom težinskom vrijednosti linija sa jednim zajedničkim čvorom 1 koji predstavlja poštanski ured. Podjela na slijedećoj slici je napravljena grafičkom, intuitivnom metodom. Bolje rješenje bi predstavljala izrada algoritma koji graf dijeli na traženi x subgrafova koji se ne isprepliću i imaju zajednički početni čvor. U slučaju da prvu liniju također imaju zajedničku, kada više poštonoša izlazi na istu stranu prve ulice prema daljnjim ulicama, prvom poštonoši koji „obilazi“ ulicu dodjeljuje sumu indeksa, a ostalima umjesto sume samo indeks udaljenosti, jer ostali poštonoše moraju proći tu udaljenost kao put dalje prema svom rajonu.

Takva pojava je također vidljiva na slijedećoj slici. Prvi i treći poštonoša prolaze linijom A2, no A2 je linija prvog rajona, a put prema trećem rajonu. Tako je za potrebe trećeg rajona liniji A2 umjesto indeksa 49 dodijeljen indeks 30 – prema kilometrima vidljivo iz tablice 9. Prvi rajon ima puni indeks 49 jer taj poštonoša obilazi liniju i dostavlja pošiljke. Povezano s teorijom grafova, ako početni čvor (PU) nema

broj incidentnih linija jednak ili dvostruko veći od broja poštunoša/rajona, mora se tražiti aproksimativno rješenje sume indeksa koje je veće od početno dobivenog.



Slika 25. Podjela dostavnih rajona grafičkom metodom

Izvor: izradio autor

Tablica 10. Rješenja grafičke metode podjele rajona

Naziv ulice	Pripadajući dijelovi	Broj linije grafa	Rangirano po pošiljkama	Rangirano po kilometrima	Suma indeksa	Broj dostavljača	Σ/ Broj dostavljača	
A	A1 (PART I)	1	39	25	64	3	520	
A	A2	2	19	30	49			
B	B	3	27	23	50	Rješenja grafičke metode podjele rajona		
C	C1	4	21	10	31	Rajon 1	Rajon 2	Rajon 3
	C2	5	12	1	13	534	525	531
	C3	6	30	21	51			
	C4	7	2	26	28	Σ Opterećenja rajona	Dodane vrijednosti	Σ Rajona - D.V. = Σ
	C5	8	26	8	34	1590	30	1560
D	D	9	34	27	61			
E	E	10	36	6	42	Pripadajuće ulice		
F	F1	11	13	4	17	A2	A1	A2 (Put prema rajonu)
	F2	12	33	31	64	F2	C3	B
	F3	13	18	5	23	F3	C4	C1
	F4	14	3	12	15	F4	C5	C2
G	G1	15	4	24	28	P1	D	H
	G2	16	1	11	12	T	E	I
H	H	17	16	18	34	U	F1	J
I	I	18	6	3	9	V	G1	K1
J	J	19	38	35	73	W	G2	K2
K	K1	20	31	14	45	X1	P2	K3
	K2	21	10	2	12	X2	R	L
	K3	22	32	37	69		S	M1
L	L	23	28	9	37		Y	M2
M	M1	24	5	15	20		Z1	N
	M2	25	20	19	39			O
N	N	26	14	13	27			
O	O	27	35	7	42		Ukupna veličina rajona (m)	Ukupna količina pošiljaka
P	P1	28	37	29	66	Rajon 1	11400	40160
	P2	29	22	16	38	Rajon 2	7175	54655
R	R	30	17	20	37	Rajon 3	7325	55185
S	S	31	15	22	37		(podaci izračunati iz tablice 7.)	
T	T	32	9	39	48			
U	U	33	29	32	61			
V	V	34	8	36	44			
W	W	35	11	34	45			
X	X1	36	23	33	56			
	X2	37	25	38	63			
Y	Y	38	24	17	41			
Z	Z1	39	7	28	35			
Σ	Z2	40	XX	XX				
Σ					1560			

Izvor: izradio autor

Korak 7. Odabir prijevoznog sredstva i problem kineskog poštara

U sljedećem koraku potrebno je procijeniti na dnevnoj razini količinu pošiljaka, s obzirom da određeni dani u mjesecu kao i sami mjeseci su vršni, uravnoteženi i sa manjkom prometa. Na temelju toga i ukupne veličine rajona uz pomoć tablice 6. odabire se prijevozno sredstvo.

Poštonošama dostava predstavlja dio radnih obveza. Stoga je važno vrijeme obilaska svih ulica i povratak u ured radi daljnjih aktivnosti (engl. *Delivery window*) Optimalno rješenje rajona se dobije rješavanjem postavljanjem posebnog grafa za svaki rajon i korištenjem algoritma za problem kineskog poštara. Težinsku vrijednost grafa predstavlja suma vremena prolaska kroz ulicu i vremena posluživanja korisnika. Vrijeme prolaska kroz ulicu se generalizira prosječnom brzinom kretanja kroz ulicu i dužinom iste. Vrijeme posluživanja korisnika je određeno normama.

Algoritam provjerava stupanj parnosti incidentnih linija svakog čvora, u slučaju da postoje čvorovi neparnog stupnja pobrojava takve i traži optimalno rješenje broja spajanja (navedenih tablicom 3.) te prikazuje itinerar poštonoše.

Korak 8. Provjera realnosti rješenja i unos itinerara u putni list poštonoše

Matematičke metode često se mogu razlikovati od stvarne prometne situacije. Nužno je provjeriti realnost rješenja u praktičnoj primjeni te napraviti po potrebi preinake. Rješenje se predaje poštonoši kao dio Putnog lista i čini njegov, sa inženjerskog aspekta, najvažniji dio.

Ovaj model ne uzima u obzir poštanske kovčežiće i *pick up/drop off* terminale. Poštonoše tijekom prolaska dostavnog rajona obavljaju i prijam, tako da je dodatno potrebno uzeti u obzir da prijevozno sredstvo ima dovoljan kapacitet za ukrcaj takvih pošiljaka i otpremu prema poštanskom uredu.

Već je spomenuto da je reinženjering statičkih dostavnih rajona nužan svakih dvije do pet godina. Potrebno je na barem polugodišnjoj razini provjeravati:

- Migracije stanovništva
- Izgradnja i ukidanje objekata i prometnica
- Promjene u količini i strukturi poštanskih usluga i pošiljaka
- Eventualne promjene zemljopisno – topografskih značajke terena

Tvrtke koje se bave prijevozom, distribucijom, nabavom, špedicijom, lancem opskrbe i općenito logističkim uslugama često geografska područja dostave dijele na tzv. poligone. Istovjetna je svrha poligona i dostavnih rajona te je statički kombinacijski model rajona praktično primjenjiv i u tim djelatnostima.

6.3. MODEL DINAMIČKOG KOMBINACIJSKOG RAJONA

Kod statičkog modela poštunoše svakodnevno imaju isti itinerar kojim se relativno zanemaruju posebni dani u mjesecu i mjeseci manjka prometa i vršnih opterećenja, što nadoknađuju statističke metode.

Dinamički kombinacijski rajoni bi potencijalno također pokrivali cjelokupno dostavno područje poštanskog ureda, ali itinerar poštunoše bi se svakodnevno razlikovao. Preduvjeti takvog modela su slični statičkom modelu:

- Poznate su granice dostavnog područja
- Dostavni rajoni se ne isprepliću
- Do svakog primatelja je moguće doći „ulicom“ - prohodno geografsko područje

Model uvodi i novi kriterij. I dalje poštunošama dostava predstavlja dio svakodnevnog posla, no tehnolog je svakodnevno dužan obaviti izračune planiranja itinerara. Za to je maksimalno dozvoljeno pola sata kako dostava ne bi kasnila u polasku, a itinerari moraju biti u traženom vremenskom prozoru dostave (*Delivery window*).

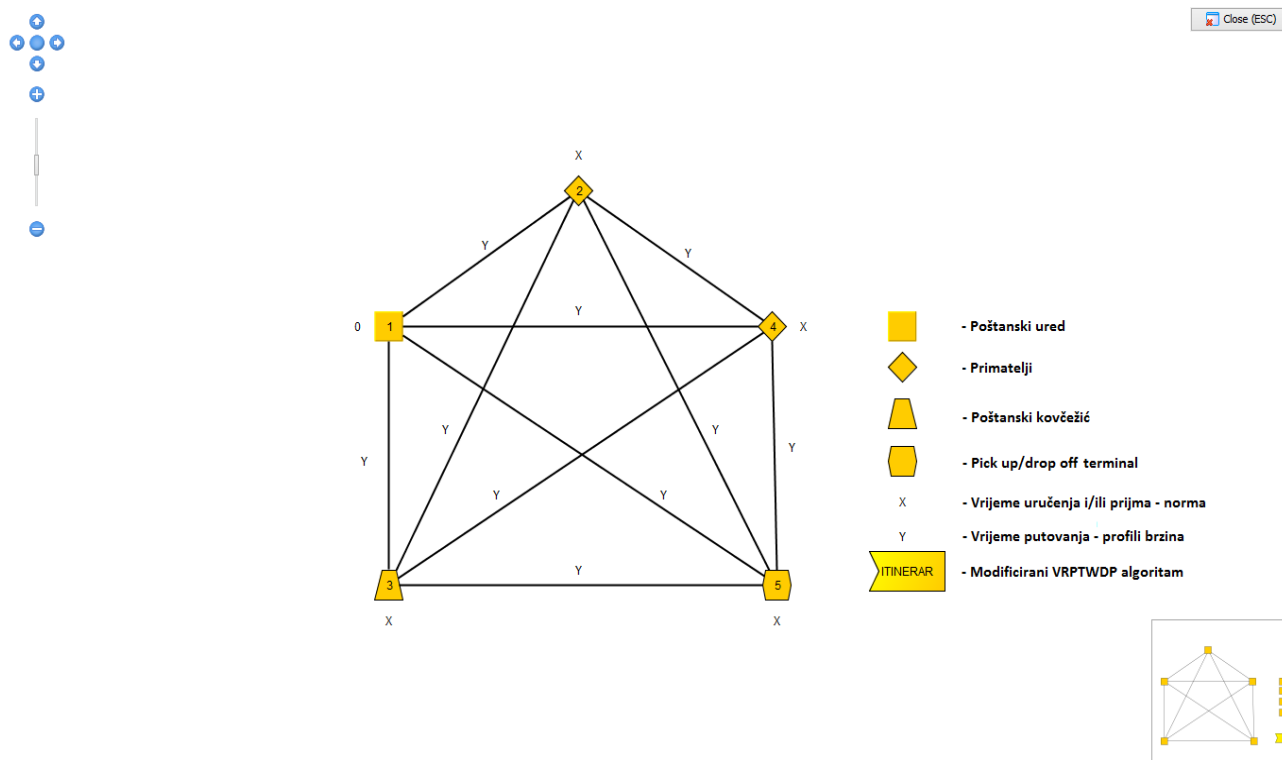
I ovaj model se bazira na teoriji grafova. Sada se uključuje i četvrti element modeliranja – krajnji primatelji. Statički rajoni čvorovima predstavljaju raskrižja, linijama ulice. Dinamički rajoni čvorovima predstavljaju primatelje, poštanske kovčežiće i *pick up/drop off* terminale, a linije vezu između čvorova. Svaki primatelj/kovčežić/terminal je povezan sa svakim, i s obzirom da se važnost ovaj put okreće primarno obilasku svakog čvora, radi se o problemu trgovačkog putnika. Ako više poštunoša sudjeluje u obilasku primatelja, radi se o više vozila i problem trgovačkog putnika postaje VRP (engl. *Vehicle Routing Problem*).

Poseban tip VRP-a detaljnije istražuje i rješava problem takvih preferencija.²⁴ Kako bi se adekvatno obuhvatili dinamički dostavni rajoni i prilagodili potrebama u pošti potrebno je proširiti priču. I dalje je obilazak čvorova primaran, prema tome svaki pojedinačno ima težinsku vrijednost. Vrijeme dostave je i dalje prvi faktor težinske vrijednosti, norme dostave se mogu iskoristiti na način da vrijednost iznosi vrijeme uručenja, vrijeme praznjenja kovčežića ili suma oba vremena ako se radi o terminalima.

Međutim, vrijeme obilaska čvora svakodnevno se razlikuje. Dinamičko modeliranje će dovesti do različitih rezultata kroz dva dana u tjednu čak i ako se radi

²⁴ Vehicle routing problem with time windows and simultaneous delivery/pickup demands – VRPTWDP

Trenutno se na Fakultetu prometnih znanosti istražuju profili brzina.²⁵ Profili brzina su prikazi promjene brzina na određenoj prometnici tijekom dana. Služe kako bi odredili vrijeme putovanja prometnicom bilo kojeg dana u tjednu. Zaključno, vrijeme putovanja od početnog čvora – poštanskog ureda do bilo kojeg drugog čvora bi predstavljalo težinsku vrijednost linija na grafova. Na temelju dobivenih podataka modificirani VRPTWDP baziran na metaheuristikama (poglavlje 4.3.) može izvršiti podjelu dostavnih rajona i itinerar poštonoša. Slika 26 predstavlja neusmjereni težinski graf fiktivnog dostavnog područja sa pet čvorova, a od svakog čvora prema svakom postoji prohodan put/linija. Čvor 1 predstavlja poštanski ured.



Izvor: izradio autor

²⁵ <https://www.youtube.com/playlist?list=PL8XEaOWotnNqSxXI69u3js7Hk01cT31Fe>

7. ZAKLJUČAK

Od otprilike sedam milijardi ljudi na svijetu samo 3-5% nema pristup javnoj univerzalnoj poštanskoj usluzi, a oko 85% ima dostavu na kućnu adresu. Ovi podaci stavljaju poštansku mrežu među najveće mrežne djelatnosti svijeta. Pojedina istraživanja pokazuju da broj pisama na državnoj razini je u relaciji sa razvijenosti i gospodarskim stanjem iste. Smatra se da poštanska djelatnost drži udio od aproksimativno 1% poslovnih aktivnosti kako na državnoj tako i međunarodnoj razini bez obzira govorimo li o broju zaposlenih, prihodima ili drugim ekonomskim pokazateljima.

Ankete koje se provode u smislu istraživanja poštanskih tržišta diljem Europske unije dokazuju da više od polovice ispitanika smatra da će uvijek nešto slati i primati putem pošte. Najveći broj korisnika preferira petodnevnu dostavu, a ne slažu se sa trodnevnom dostavom u ruralnim područjima bez obzira na skoro 40% povoljniju tarifu, što je dokaz da žele poštansku uslugu.

Premda je u okviru Europske unije poštanska djelatnost svrstana u sektor javnih usluga, oduvijek je bila inicijator i integrator svih ostalih prometnih grana. Korištenjem i razvojem drugih modova direktno se podiže kvaliteta usluga, a indirektno potiče razvoj modova i otvorenost korisnika prema drugim prometnim sektorima. Informacijsko-komunikacijska rješenja, premda nisu osnovna poštanska djelatnost, su nužna. U osnovi, e-usluge nisu poštanske usluge, jer poštanske usluge su od početka do kraja prijenosa u fizičkom obliku. Ali su sveprisutne radi diversifikacije poslovanja i privlačenja novih korisnika.

Poštanski promet ima tri vrijednosti: baza adresa, pokrivenost svjetskog teritorija i ljudski kontakt. Baza adresa predstavlja resurs koji nitko drugi na svijetu nema. Za usporedbu, popisi stanovništva se obavljaju svakih desetak godina, dok poštonoše pet dana u tjednu obilaze cjelokupni teritorij, naročito ako govorimo o barem srednje razvijenim zemljama. Poštonoše imaju mogućnost direktne komunikacije sa ljudima, a informacije kojima raspolažu su jedinstvene i izuzetno značajne.

Optimizacija uručjenja poštanskih pošiljaka ima tri cilja: smanjiti operative troškove, povećati efikasnost voznog parka i skratiti vrijeme planiranja dostave. Različiti algoritmi optimiziraju kurirsku, ekspresnu i univerzalnu poštansku uslugu. Osim navedenih metoda sustav može biti poboljšan i na druge načine. Redizajnom

poštanskih kovčežića koji su prilagođeni e-trgovini i sve većem rastu paketa, posebnim razmatranjem izdvojenih pošiljaka (vangabaritnih i opasnih), upotrebom simulacija, istraživanjem itinerara kretanja poštunoše ulicom – da li je bolje ići jednom stranom ulice pa drugom ili „cik-cak“, posebna tehnološka rješenja izrade teretnih prostora vozila, sustava razrade i rukovanja pošiljkama podiže se stručnost obrade problema i ukupna uspješnost poslovanja.

U svakom slučaju poštanski sustav je dinamičan, složen i trenutno usred tranzicijskog razdoblja prilagodbe novim tehnologijama i generacijama korisnika. Uručenje ima presudan utjecaj na kvalitetu jer kao uslužni podsustav direktno predstavlja cijelu tvrtku korisnicima. U europskom i međunarodnom prometu interoperabilnost operativne tehnologije i reprocitet davatelja uvjetuju razvoj e-trgovine kao trenda trenutne orijentacije poštanskog tržišta.

Poštanski uredi, naročito u ruralnom području, nose nepravilno financijsko opterećenje te su često pod ovlasti lokalnih samouprava. Rentabilnost ne smije biti osnova za zatvaranjem ureda. Komponente uručenja upravo u tim područjima nose posebnu važnost i slogan „svima pod istim uvjetima“ mora biti primjenjiv. Petodnevna dostava u ruralnim, planinskim i otočnim područjima jest troškovno zahtjevnija, ali i obveza koju je svaka država članica Svjetske poštanske unije dragovoljno prihvatila potpisivanjem Svjetske poštanske konvencije. Bolje rješenje je integracija više poslovnih subjekata na jednom mjestu, kao primjerice ustanova gdje će se moći, barem dio radnog vremena, obavljati više uslužnih djelatnosti.

Pošta ne nestaje, ali se mijenja. Papir ima svoju moć, a ljudi i dalje žele taj medij. Danas poštanski operatori diljem svijeta traže načine kako zamijeniti dostavu na kućnu adresu, ali korisnici i dalje to žele više od svih alternativnih metoda. Realno vrijeme prijenosa pošiljke u poštanskom prometu je D+1. Danas primljeno, sutra uručeno, uz uvaženju prostorno-vremensku fleksibilnost dostave.

Pretpostavlja se kako mladi i dalje žele te trebaju poštansku uslugu. Jedino treba više raditi na prilagođenosti njihovim korisničkim zahtjevima. Prema tome, budućnost pošte ne izgleda loše kao dijela komunikacijskog, prometnog, ali i ostalih sustava. Tijekom petogodišnjeg obrazovanja više puta je spomenuta rečenica koja će ostati kao anoniman citat: „Komunikacijski kanal ne poznaje supstituciju“. U smislu pošte autor bi dodao da prometni sustav, također, ne poznaje supstituciju.

LITERATURA

- 1) Bošnjak, I., Badanjak, D.: Osnove prometnog inženjerstva, Sveučilište u Zagrebu, 2005.
- 2) Bošnjak, I., Kavran, Z., Matijević, D. : Design of delivery areas of public postal operator by applying AHP model, Promet- Traffic- Traffico, Vol. 17, 2005
- 3) Bošnjak, I.: Inteligentni transportni sustavi I, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- 4) Bošnjak, I.: Tehnologija poštanskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
- 5) Carić, T: Optimizacija prometnih procesa, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.
- 6) Galić, A.: Metaheurističke metode problema usmjeravanja vozila s vremenskim prozorima, Master Thesis, Fakultet prometnih znanosti,
- 7) Hübler, A., Kletter, R., Werner G.: Shortest path algorithms for graphs of restricted In-Degree and Out-Degree, Journal of Information Processing and Cybernetics, Jena, 1982.
- 8) Kljak, T.: Tehnologija poštanskog prometa II, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 9) Kljak, T.: Automatizacija poštanskog prometa II, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 10) Pašagić, H.: Matematičke metode u prometu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2003.
- 11) Project team Universal Service of CEPT, Implementation Guide Universal Service, Bruxelles, 2009.
- 12) Skorin-Kapov, N.: Heurističke metode optimizacija, separati s predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2014.
- 13) Stanković, R.: Logistika i transportni modeli, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 14) Tabak, T.: Poštanski sustavi I, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 15) Tabak, T.: Poštanski sustavi II, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.

- 16) Tabak, T.: Tehnologija poštanskog prometa I, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 17) Tabak, T.: Tehnologija poštanskog prometa II, separati s predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- 18) Walsh, T.: The European Mail Manifesto - growth, partnership and innovation in a changing industry, Postal Users Group, 2006.
Zagreb, 2012.
- 19) http://en.wikipedia.org/wiki/Active_packaging (svibanj 2015.)
- 20) http://en.wikipedia.org/wiki/Shortest_path_problem (travanj 2015.)
- 21) <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/post/review-user-needs-2013/england.pdf> (travanj 2015.)
- 22) <http://w.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm> (svibanj 2015.)
- 23) <https://www.youtube.com/playlist?list=PL8XEaOWotnNqSxXI69u3js7Hk01cT31Fe> (srpanj 2015.)
- 24) www.iso.org (svibanj 2015.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Poopćeni input-output prikaz poštanskog sustava	3
Slika 2. Struktura troškova davatelja poštanskih usluga	6
Slika 3. Uručenje kao tehnološki proces	8
Slika 4. Poopćeni model sustava uručenja	11
Slika 5. Statički sustavi dostave.....	16
Slika 6. Primjer dinamičkog sustava dostave.....	16
Slika 7. Zapis dvosmjernog težinskog grafa	22
Slika 8. Tipovi grafova	23
Slika 9. Gibanje po grafu	24
Slika 10. Dijkstrin algoritam	25
Slika 11. Bellman-Fordova metoda.....	26
Slika 12. Određivanje Eulerovog grafa	28
Slika 13. Pseudokod algoritma simuliranog kaljenja	37
Slika 14. Pseudokod genetskog algoritma.....	38
Slika 15. Pseudokod Ant-cycle metode	41
Slika 16. Funkcionalna područja ITS-a prilagođena poštanskom prometu	43
Slika 17. Usluge funkcionalnog područja informiranje putnika/poštonoša	44
Slika 18. Prikaz adaptacije elemenata poštanskog sustava	47
Slika 19. Distribucija prometa u mreži	54
Slika 20. Hub and spoke model uz fizičku i logičku strukturu poštanske mreže	55
Slika 21. Utjecajni elementi modeliranja dostavnih rajona	56
Slika 22. Vektorski zemljovid sa prometnim slojem fiktivnog dostavnog područja	58
Slika 23. Neusmjereni težinski graf fiktivnog dostavnog područja	59
Slika 24. Novi neusmjereni težinski graf	63
Slika 25. Podjela dostavnih rajona grafičkom metodom	64
Slika 26. Težinski graf kao temelj modela dinamičkih kombinacijskih rajona.....	67

POPIS TABLICA

Tablica 1. Analiza korisničkih zahtjeva u Ujedinjenom Kraljevstvu	13
Tablica 2. Primjer klasičnog problema transporta	20
Tablica 3. Broj čvorova neparnog stupnja u odnosu na broj mogućih povezivanja... 28	
Tablica 4. Podjela metaheuristika	35
Tablica 5. Podjela aplikacija inteligentnih vozila i pripadajućih ITS usluga	46
Tablica 6. Odabir prijevoznog sredstva poštonoše za itinerar dostavnog rajona	56
Tablica 7. Ulazni podaci dostavnog područja na ravnotežnoj mjesečnoj razini	60
Tablica 8. Indeksiranje linija.....	61
Tablica 9. Suma indeksa linija	62
Tablica 10. Rješenja grafičke metode podjele rajona	64



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

METAPODACI

Naslov rada: Prometno-tehnološka optimizacije faze uručenja poštanskih pošiljaka

Autor: Igor Baltić, univ. bacc. ing. traff.

Mentor: prof. dr. sc. Zvonko Kavran

Naslov na drugom jeziku (engleski):

Postal parcels delivery phase optimization

Povjerenstvo za obranu:

- prof. dr. sc. Jasna Blašković Zavada, predsjednik
- prof. dr. sc. Zvonko Kavran, mentor
- dr. sc. Tomislav Kljak, član
- prof. dr. sc. Marinko Jurčević, zamjena

Ustanova koja je dodjelila akademski stupanj: Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

Zavod: Zavod za poštanski promet

Vrsta studija: diplomski

Naziv studijskog programa: Promet

Stupanj: magistar inženjer prometa

Akademski naziv: mag. ing. traff.

Datum obrane diplomskog rada:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada

pod naslovom Prometno-tehnološka optimizacije faze uručenja poštanskih pošiljaka

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, _____

(potpis)